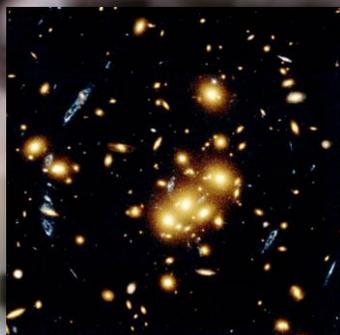
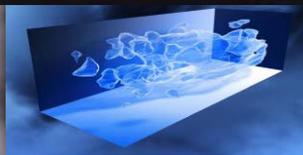


# XENON100, à la recherche de la matière noire

Jacob Lamblin, Subatech - Collaboration XENON100



Séminaire SPP  
14 juin 2010

# La collaboration XENON100

1



Etats-Unis, Suisse, Portugal, Italie,  
France, Allemagne, Chine, Pays-Bas.



COLUMBIA



RICE



UCLA



ZURICH



COIMBRA



LNGS



MPIK



BOLOGNA



SHANGHAI



MUENSTER

WESTFÄLISCHE  
WILHELMS-UNIVERSITÄT  
MÜNSTER

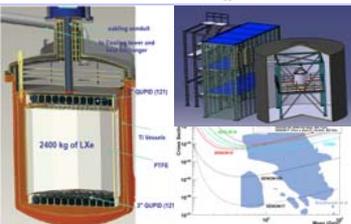
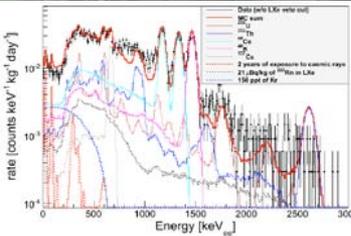
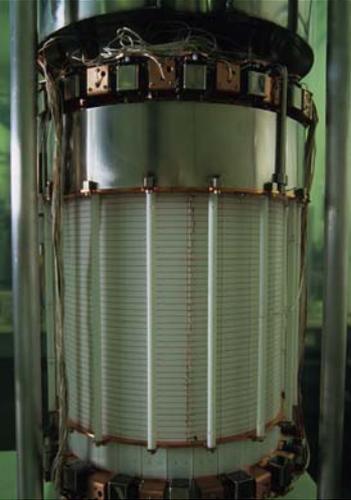


SUBATECH



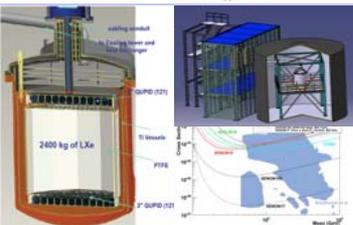
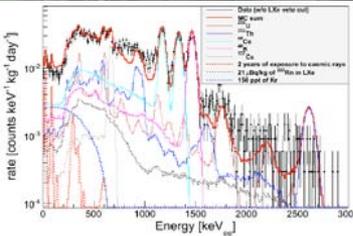
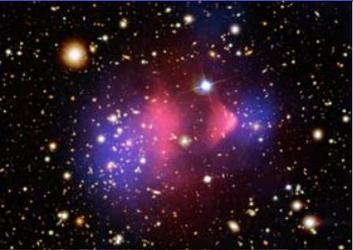
NIKHEF

# Plan



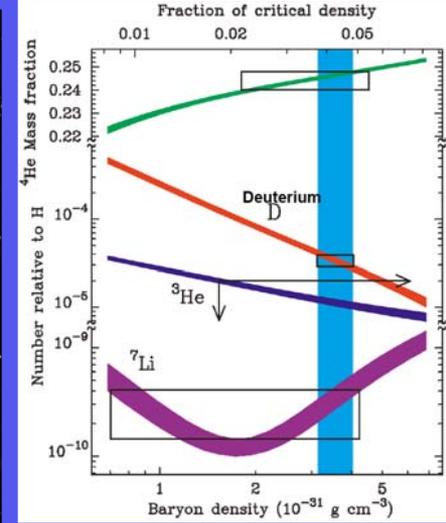
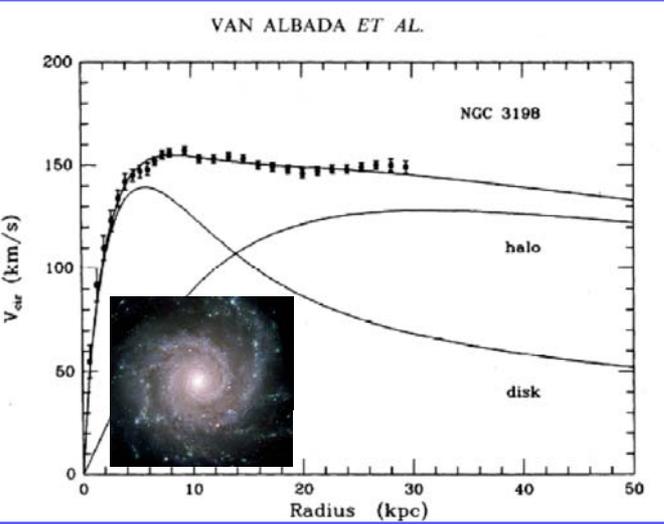
- Le WIMP : un candidat pour la matière noire
- Le détecteur XENON100
  - du xénon liquide comme cible de détection
  - une localisation tridimensionnelle
  - une mesure de l'énergie de recul
  - un très bas bruit de fond
- Des premiers résultats prometteurs
- La prochaine étape : XENONIT

# Plan

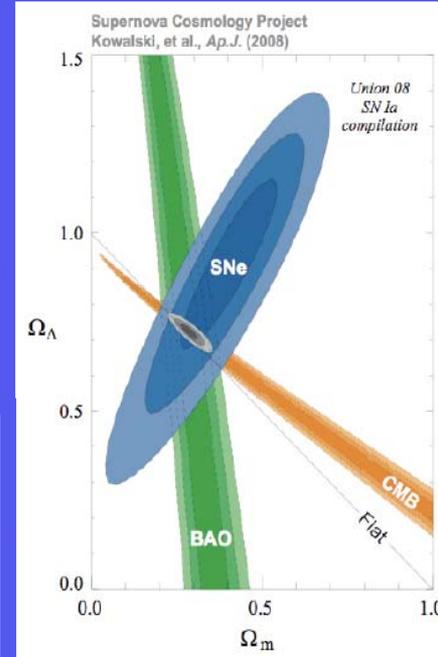


- Le WIMP : un candidat pour la matière noire
- Le détecteur XENON100
  - du xénon liquide comme cible de détection
  - une localisation tridimensionnelle
  - une mesure de l'énergie
  - un très bas bruit de fond
- Des premiers résultats prometteurs
- La prochaine étape : XENONIT

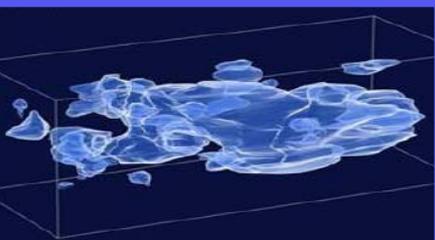
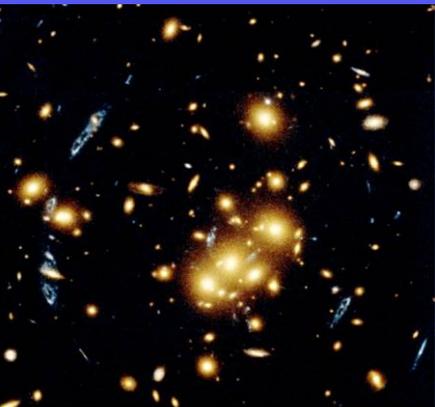
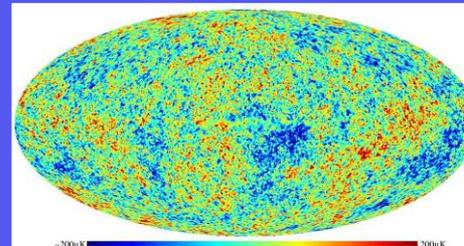
# La matière noire est parmi nous



De nombreuses observables indiquent la présence de matière noire



$$\begin{aligned} \Omega_\Lambda &= 0.742 \\ \Omega_M &= 0.258 \\ \Omega_B &= 0.044 \end{aligned}$$



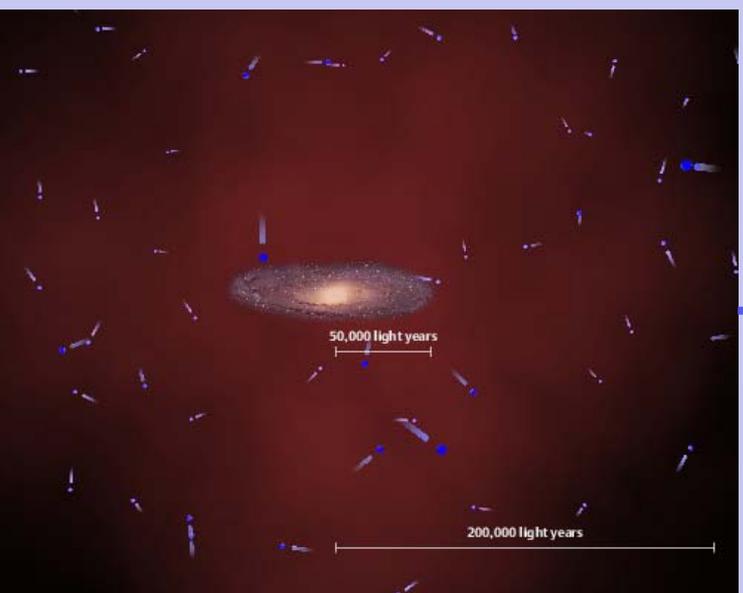
# Un WIMP qui n'a peur de rien

La matière noire doit être :  
non-baryonique, neutre, stable,  
massive (froide).

Un des scénarios favoris :

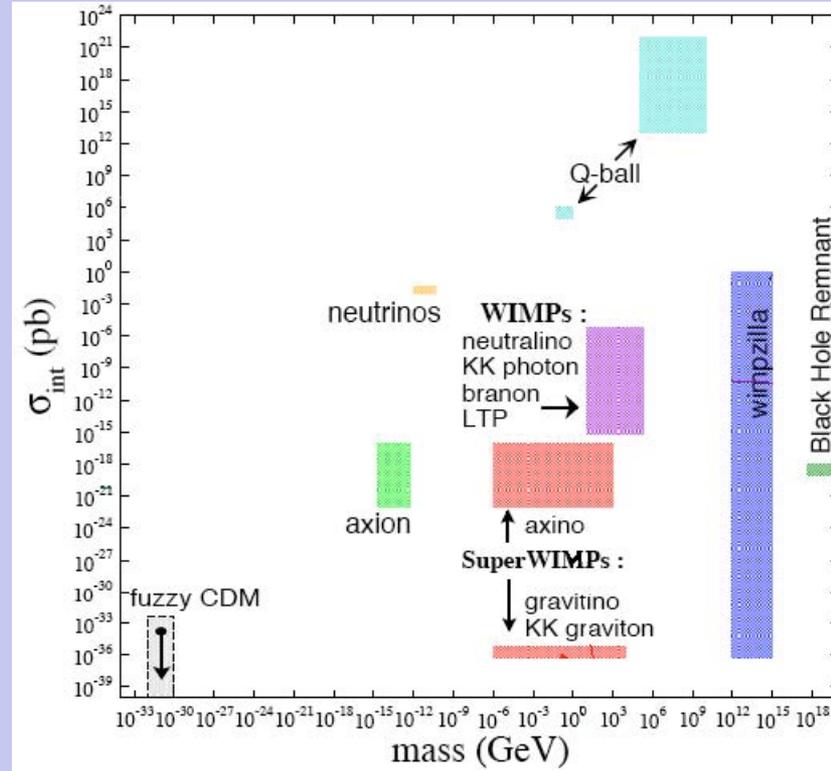
**Weakly Interacting Massive Particle**

Exemple : le neutralino

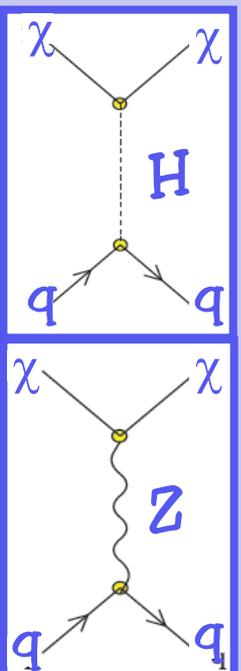
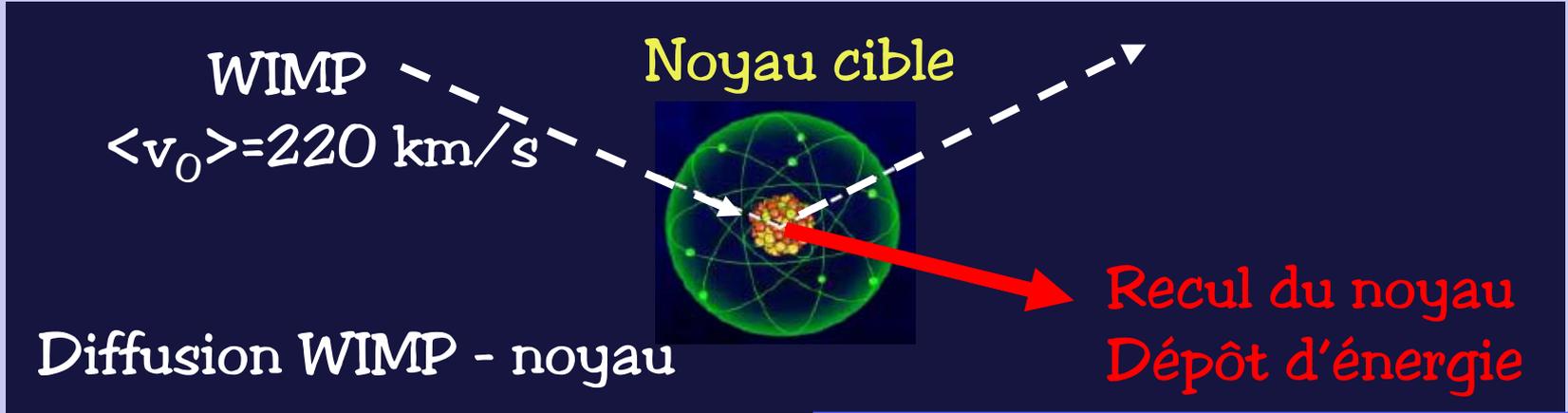


→ Répartis sous forme d'un halo uniforme autour de la galaxie

Densité :  $\rho_0 = 0.3 \text{ GeV}/\text{cm}^3$



# Principe de la détection directe

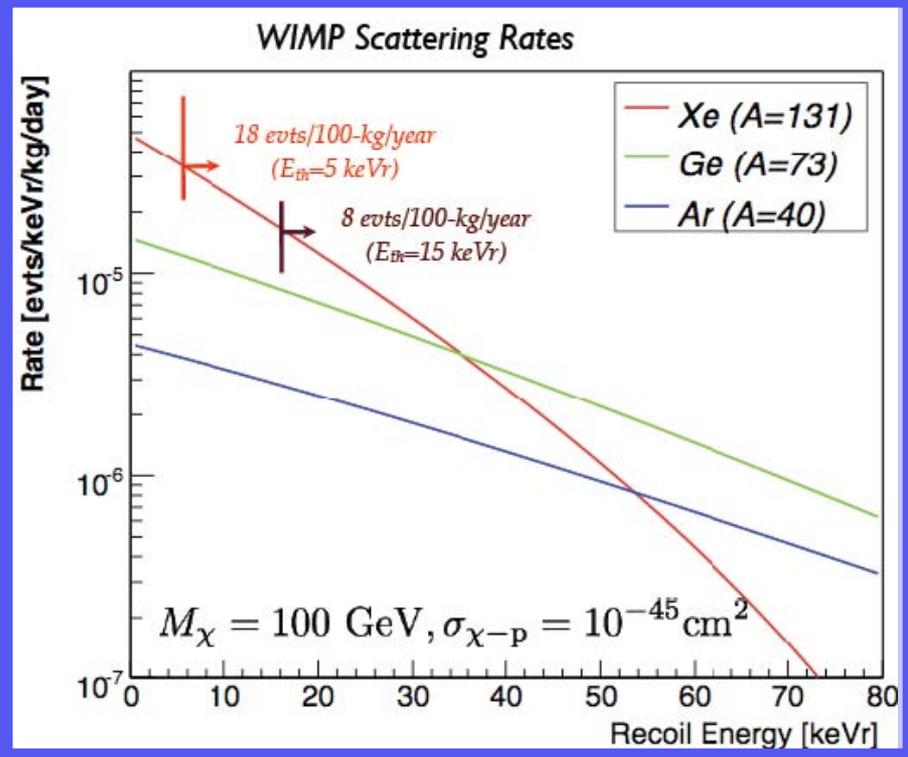


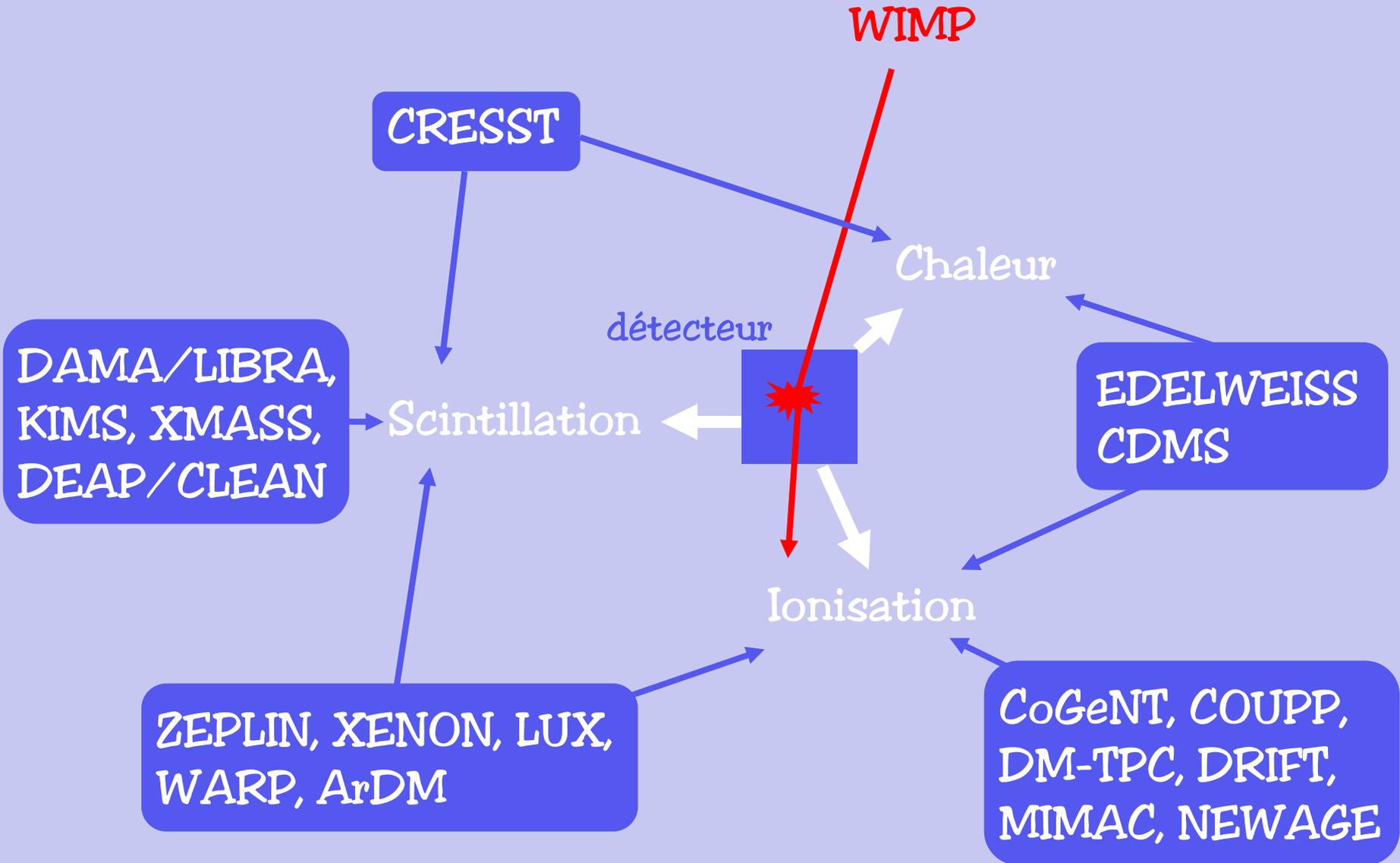
**indépendant du spin (SI)**

interaction possible avec tous les nucléons du noyau  
 → tous les noyaux concernés

**dépendant du spin (SD)**

interaction possible seulement avec les nucléons non appariés  
 → noyaux avec A impair

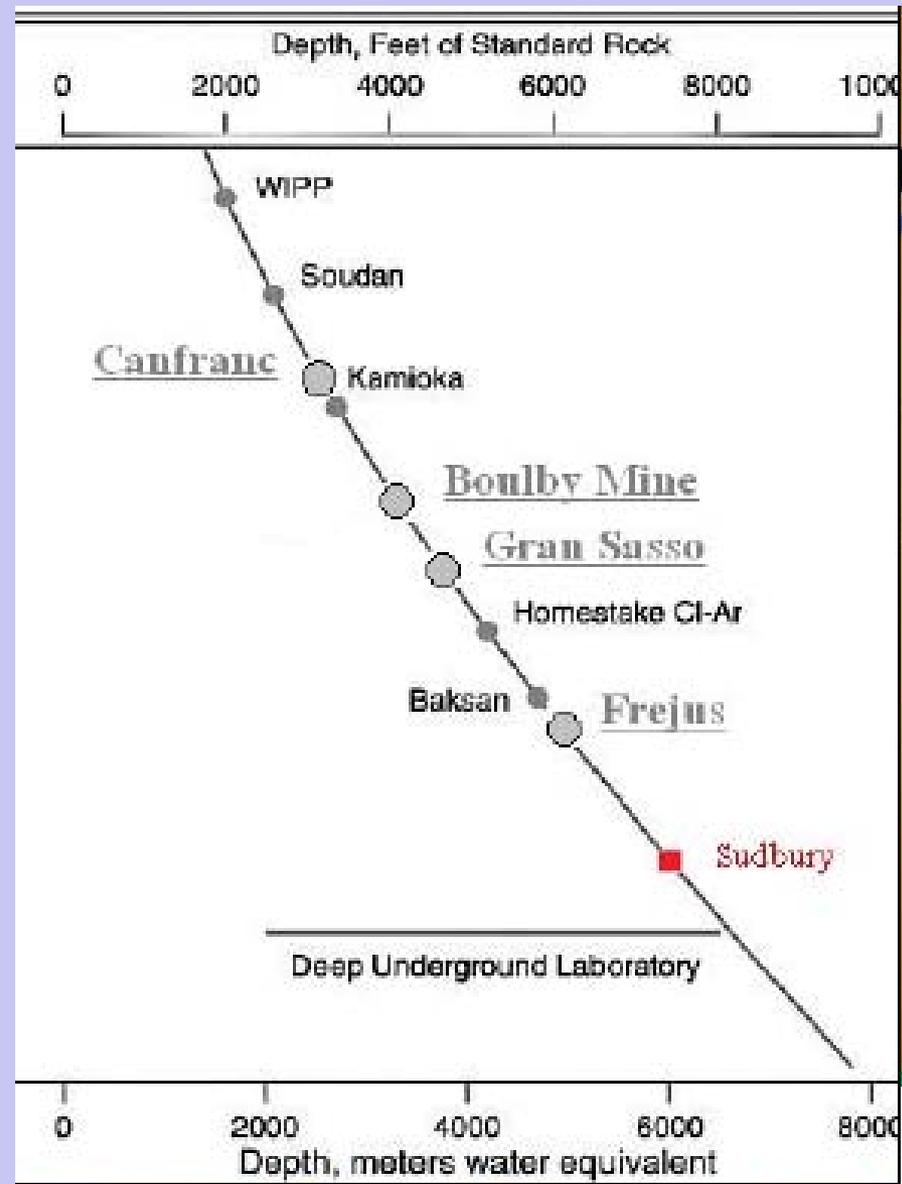




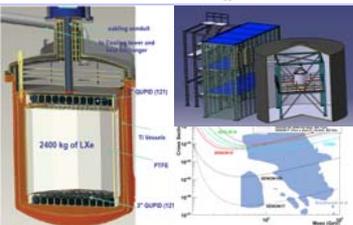
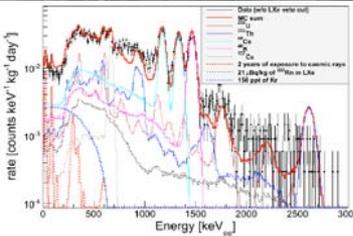


...mais rien dans l'hémisphère sud !

Laboratoire souterrain  
pour se protéger des  
rayons cosmiques



# Plan



- Le WIMP : un candidat pour la matière noire
- Le détecteur XENON100
  - du xénon liquide comme cible de détection
  - une localisation tridimensionnelle
  - une mesure de l'énergie
  - un très bas bruit de fond
- Des premiers résultats prometteurs
- La prochaine étape : XENONIT

## Bonne cible pour les WIMPs

- ✓ A élevé ( $\langle A \rangle \sim 131$ ) → favorable pour interaction indépendante du spin
- ✓ ~50% d'isotopes impairs → interaction dépendante du spin possible
- ✓ 2 signaux → **discrimination des reculs nucléaires/électroniques**

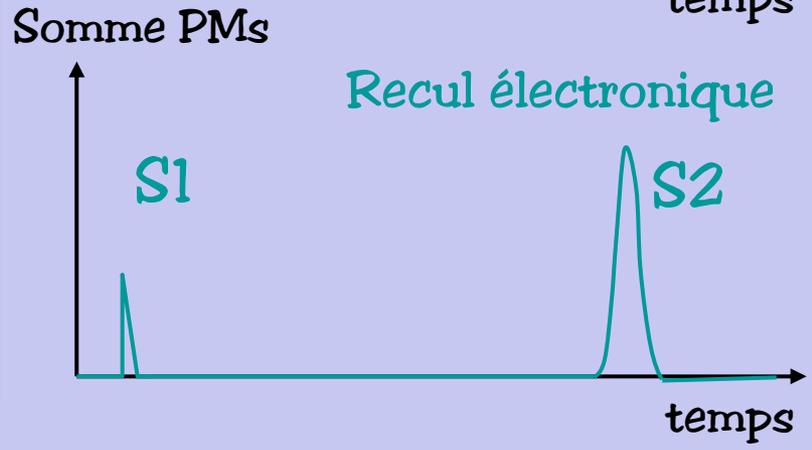
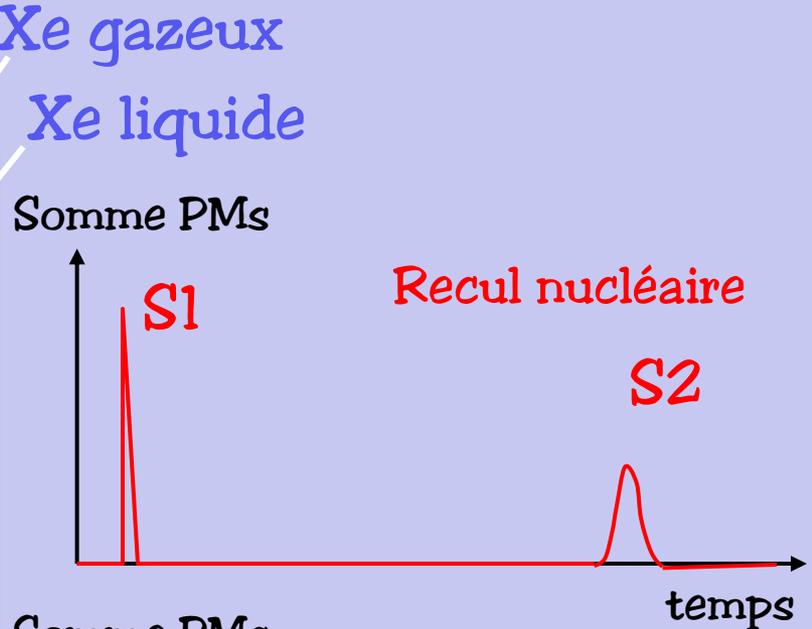
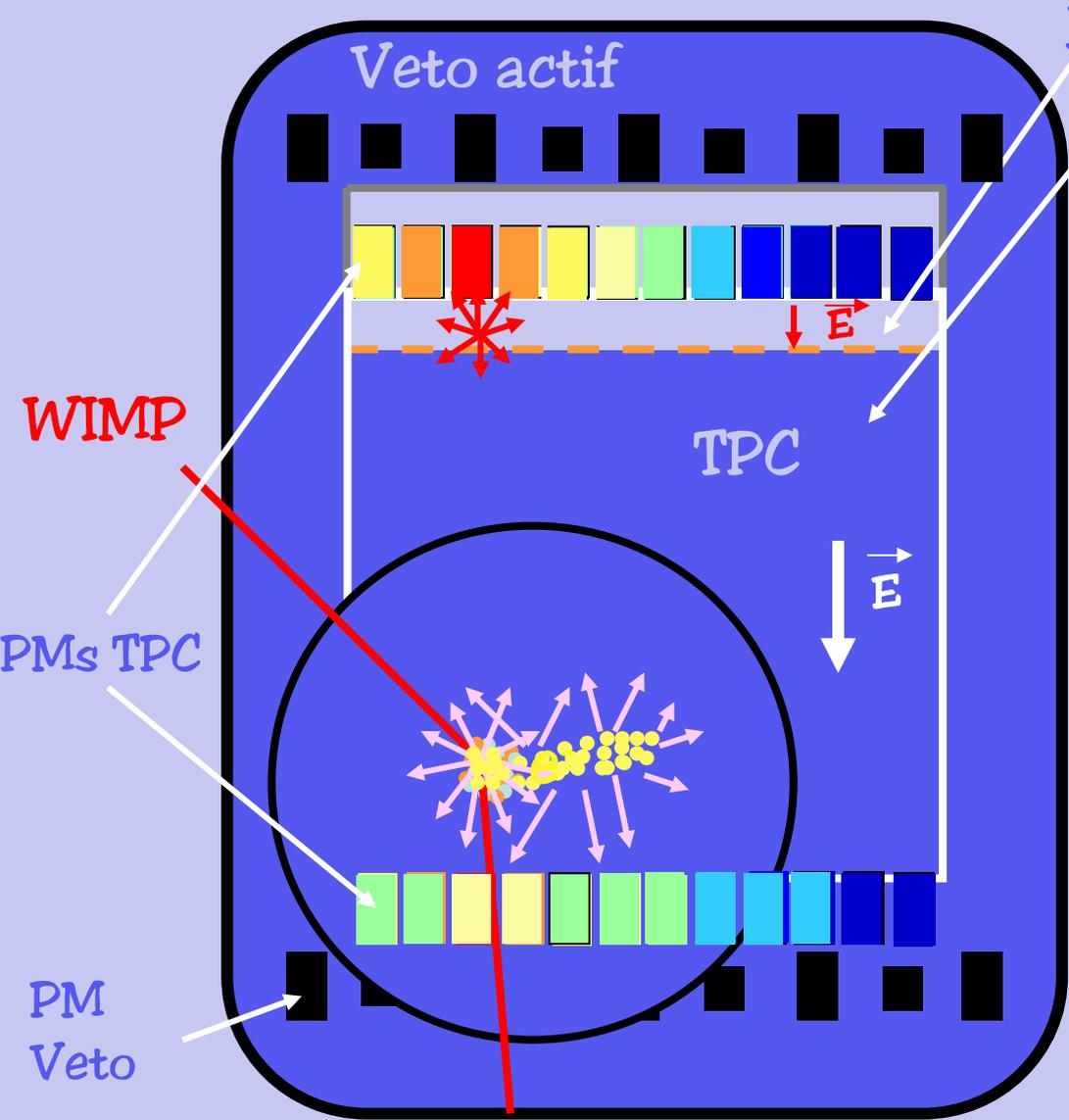
## Faible bruit de fond

- ✓ Intrinsèquement pur (pas d'isotope radioactif à vie longue)
- ✓ Purification en Krypton au niveau du ppt
- ✓ Dense ( $3 \text{ g/cm}^3$ ) et volume important → **auto-blindage**

## Excellent milieu de détection

- ✓ Hauts rendements de scintillation et d'ionisation
- ✓ Relativement peu cher → échelle multi-tonnes possible
- ✓ Cryogénie accessible ( $-100^\circ\text{C}$ )

# Une TPC double-phase

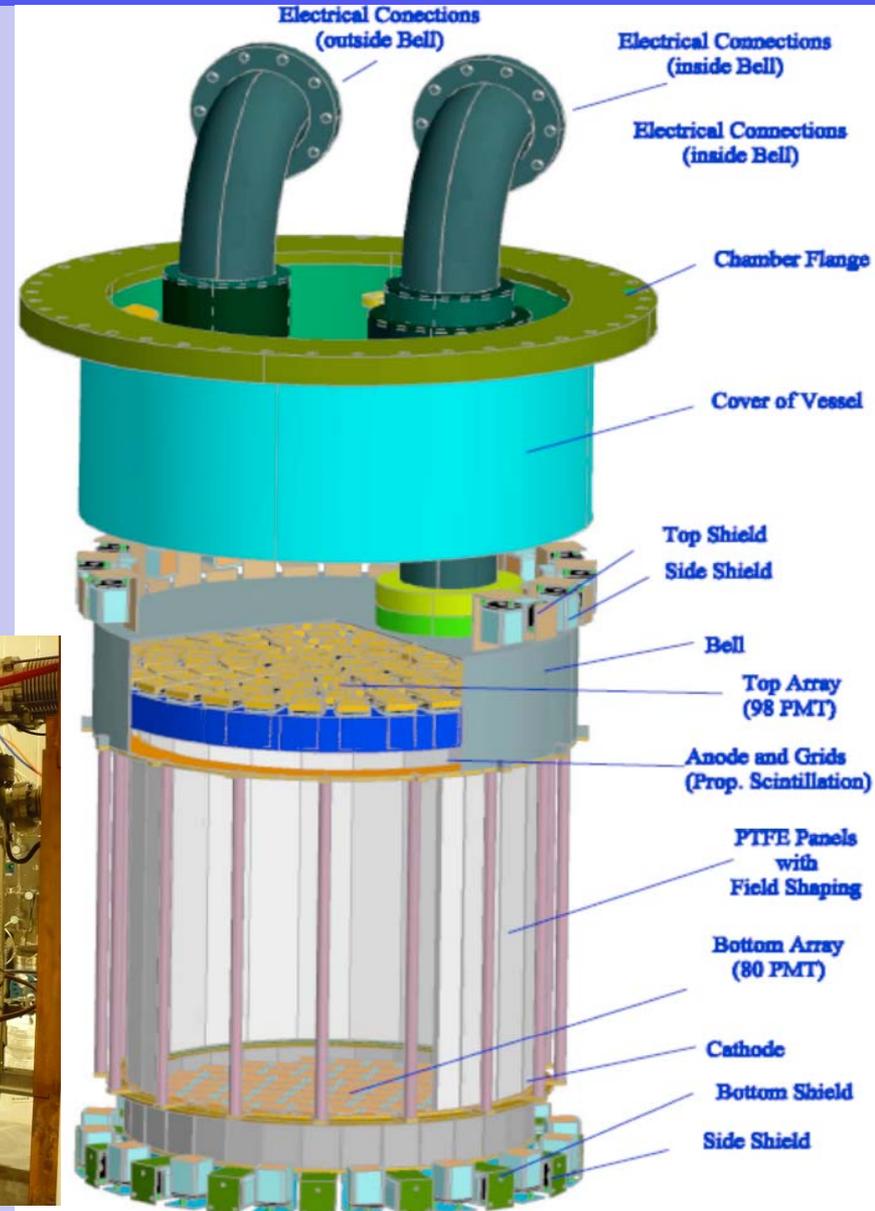


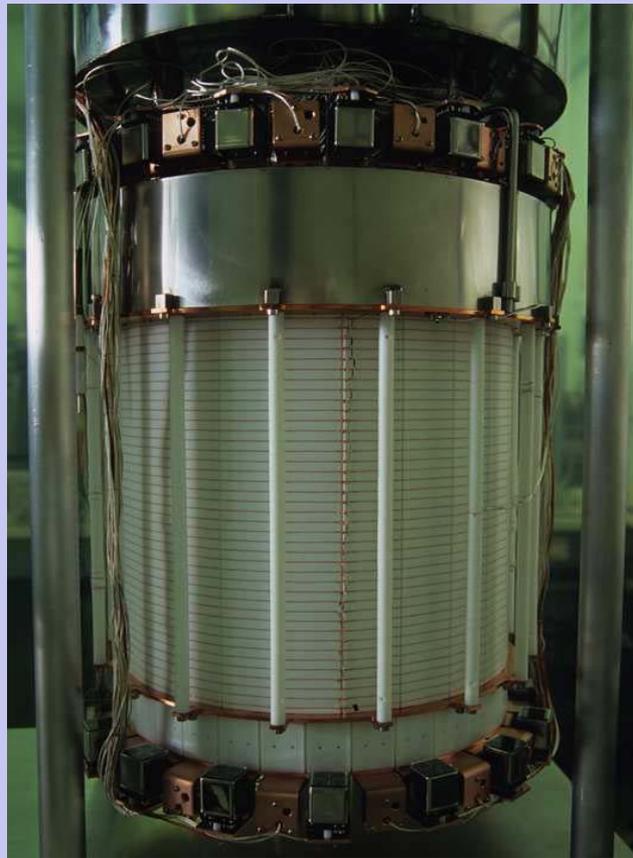
$$(S2/S1)_{WIMP} \ll (S2/S1)_{\gamma}$$

# Design du détecteur XENON100

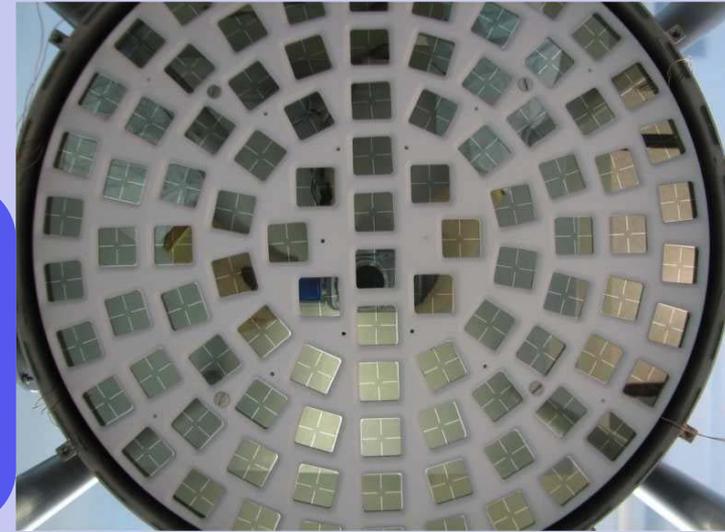
13

- ✓ 161 kg Xe au total, 62 kg dans la TPC
- ✓ TPC : 30 cm diamètre  
30 cm hauteur
- ✓ Champ de dérive : 530 V/cm
- ✓ Téflon autour de la TPC pour améliorer la collection de la lumière
- ✓ Cryogénie à l'extérieur du blindage  
→ Pulse Tube Refrigerator (160W)
- ✓ Constante circulation du xénon en phase gazeuse à travers un purificateur
- ✓ Blindage :
  - 20 cm plomb
  - 20 cm polyéthylène
  - 5 cm cuivre
  - + 20 cm eau sur 4 côtés





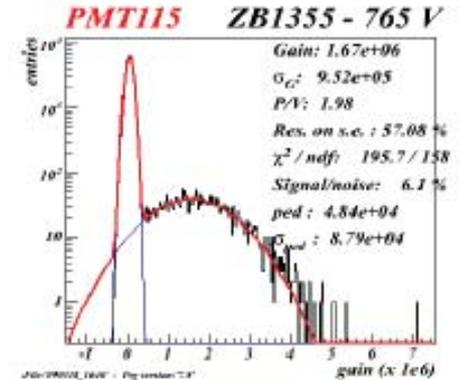
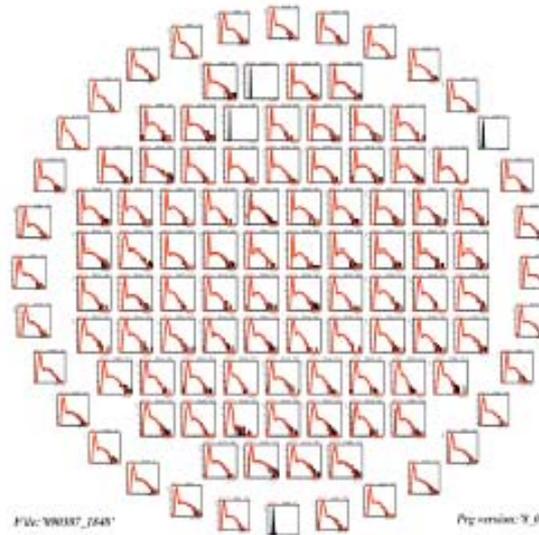
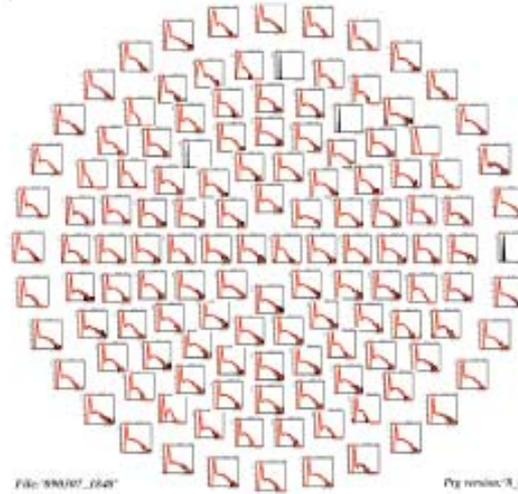
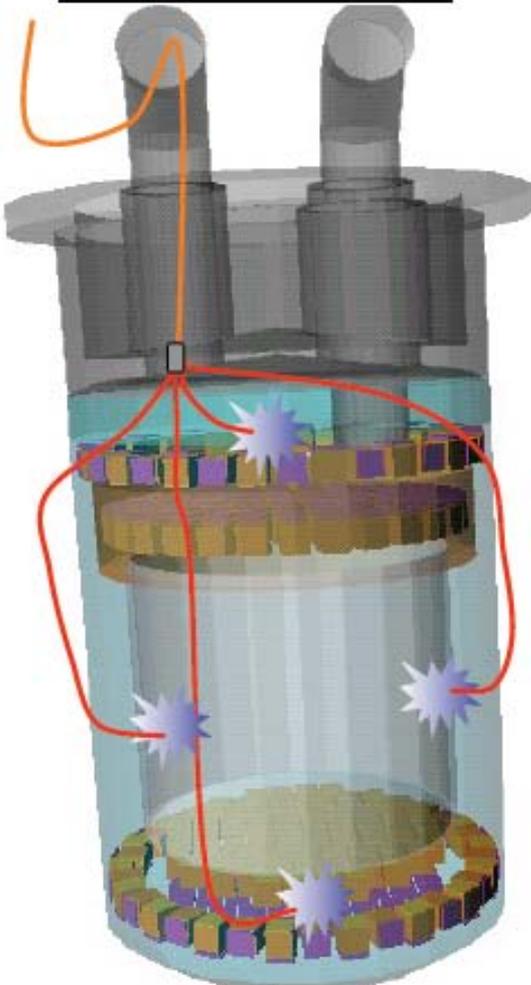
242 PMs 1"x1"  
basse activité  
(Hamamatsu R8520)  
QE >32% à 175nm



Signaux numérisés  
à 100 Ms/s  
pendant 400  $\mu$ s et  
codés sur 14 bits.

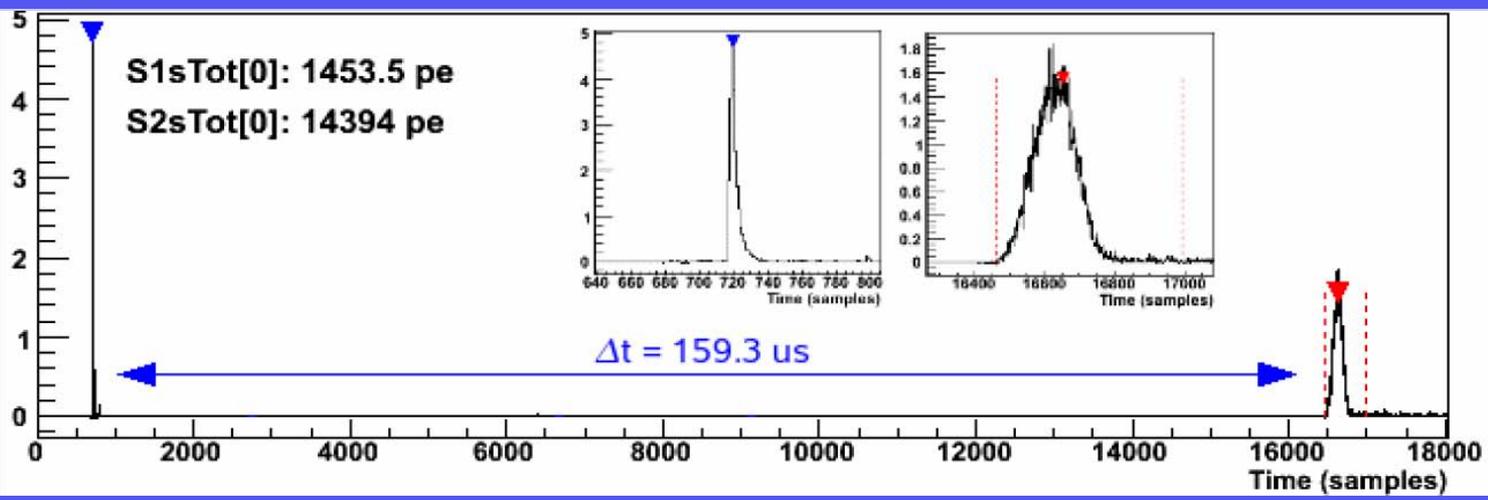


4 optical fibers

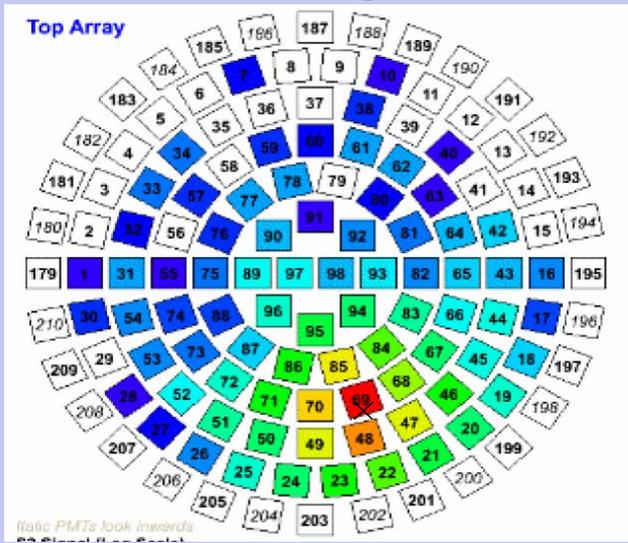


Coordonnée z donnée par  $\Delta t$

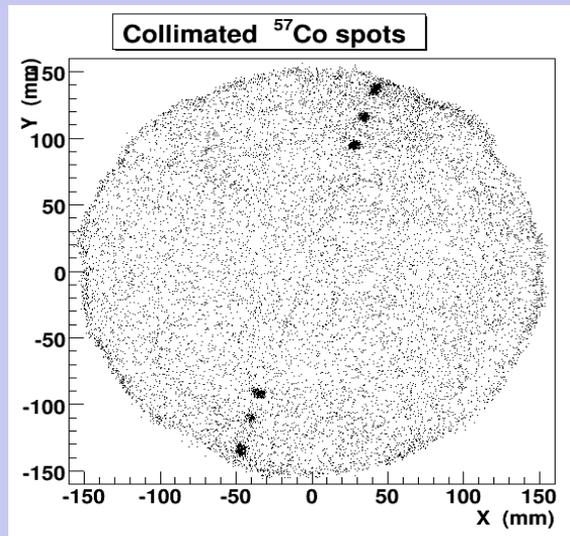
Résolution z < 2 mm



Coordonnées x, y données par la topologie du S2



Résolution déterminée par une source de  $^{57}\text{Co}$  collimatée



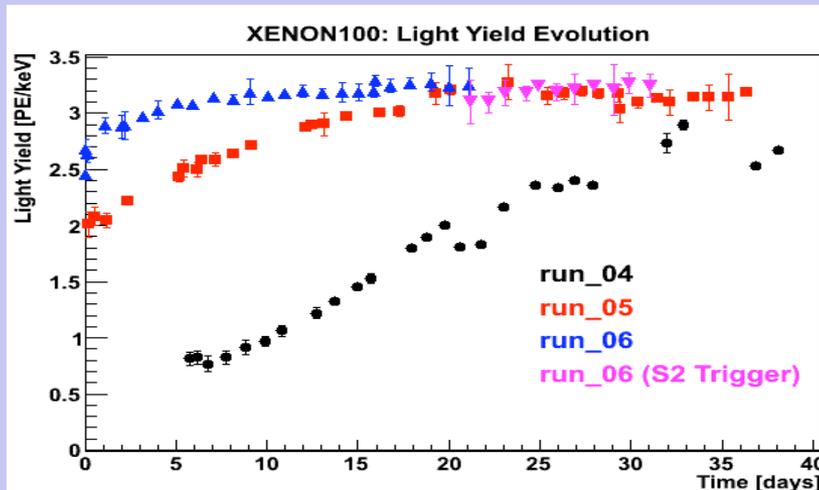
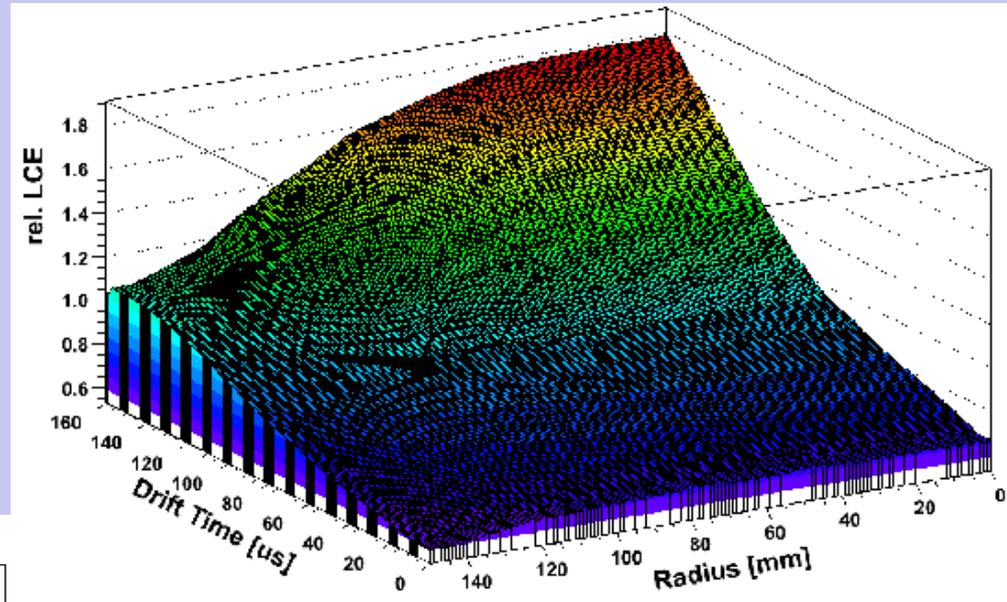
Résolution x,y < 3 mm

Accord avec la simulation MC

La collection du signal de scintillation primaire n'est pas uniforme (absorption, angle solide et réflectivité du téflon)

Étalonnage avec différentes sources à différentes énergies  
→ varie de 0.6 à 1.8 en relatif

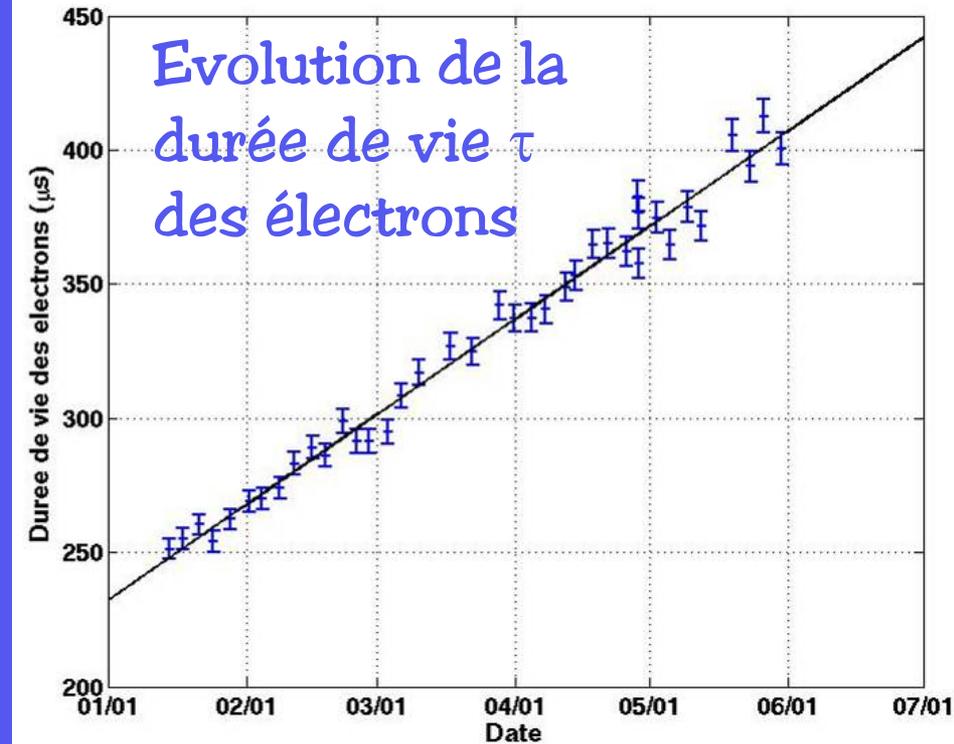
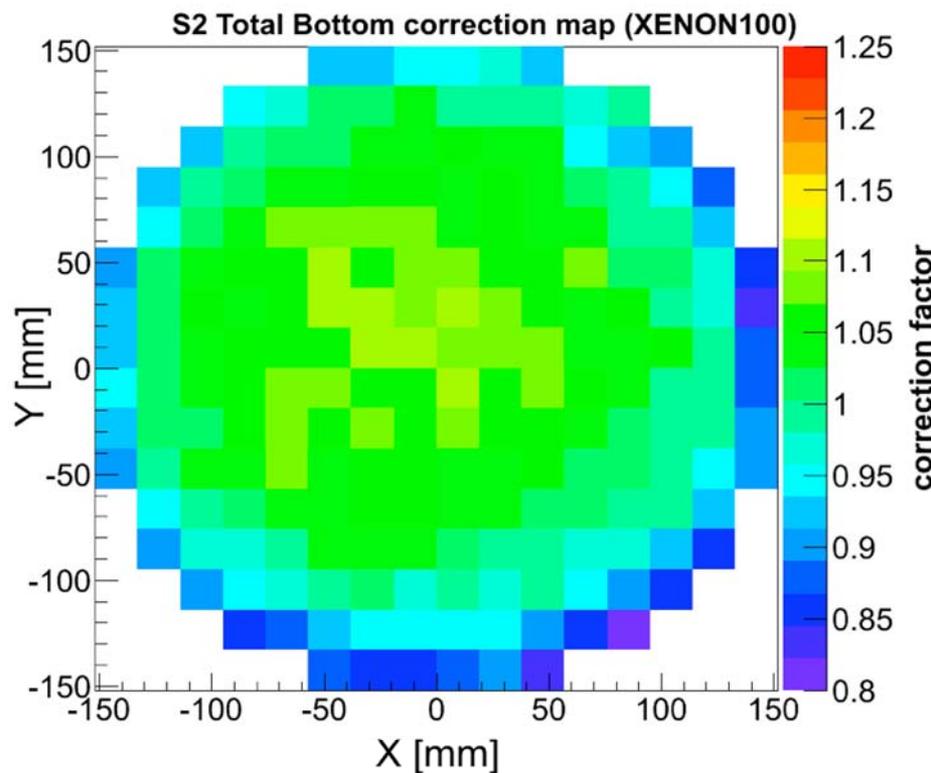
Rendement de scintillation  
(avec champ électrique)  
= 2.2 pe/keV à 122 keV



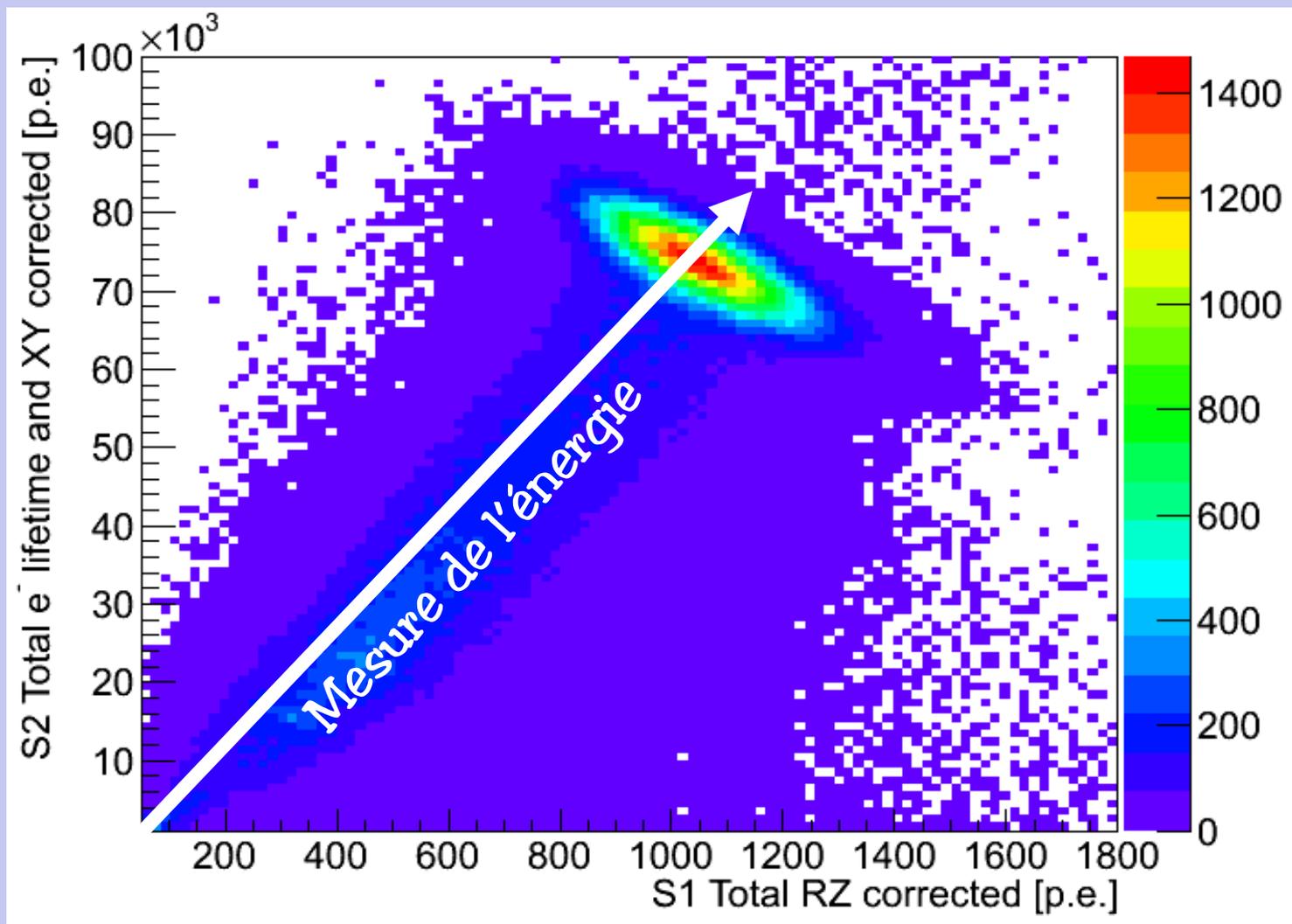
Absorption dépend de la quantité d'impureté  
→ maximum atteint après quelques jours de circulation

Le signal de scintillation secondaire est affecté par :

- une différence de collection de la lumière en fonction de x et y
- l'absorption des électrons lors de la dérive

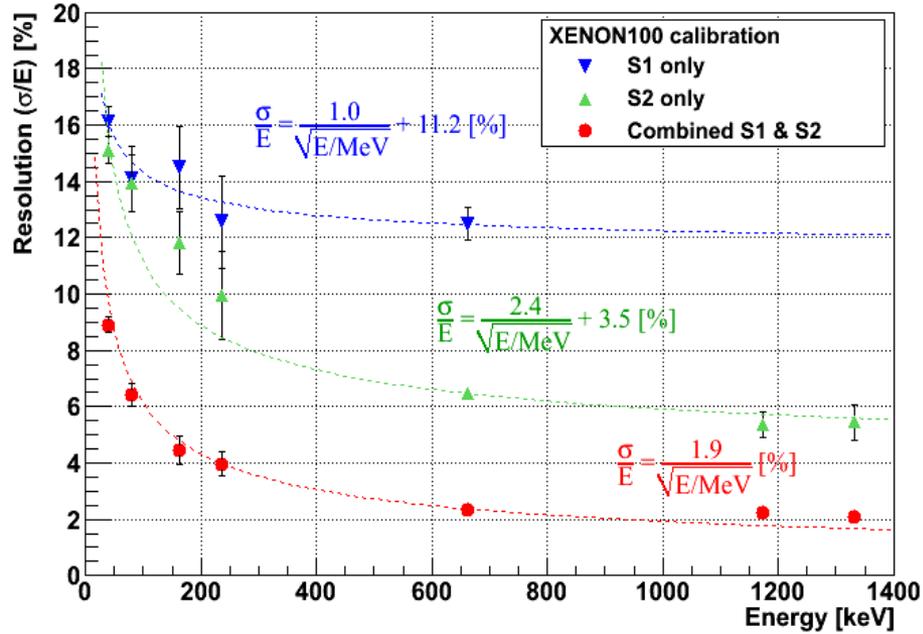
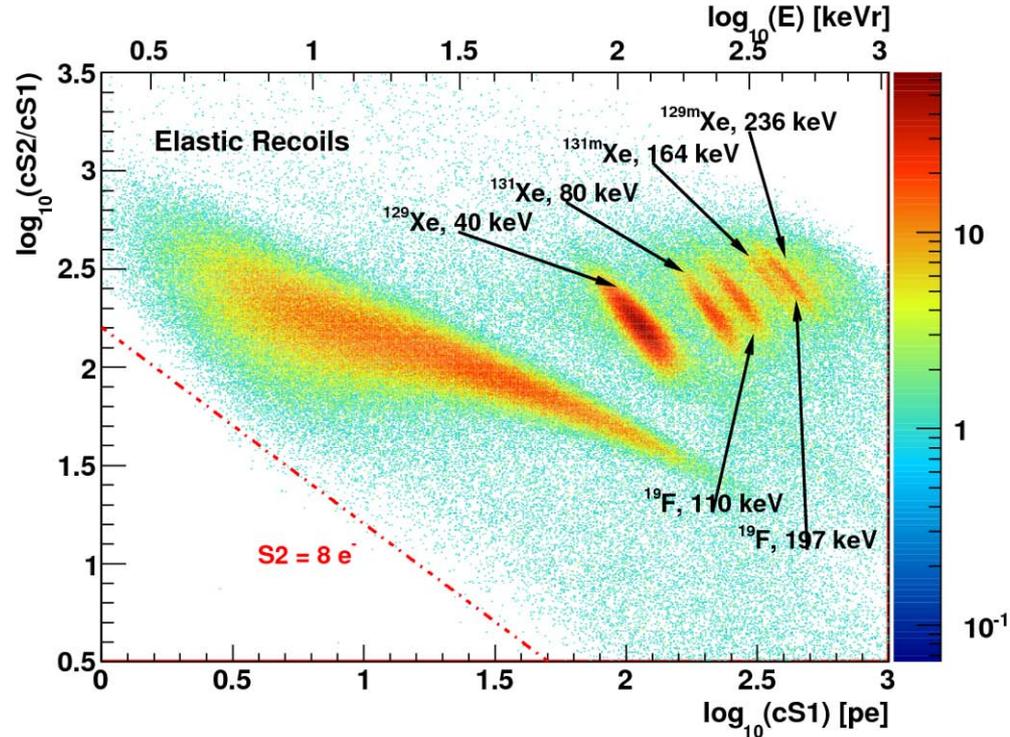


S1 corrigé S1 S2 corrigé S1 S2 corrigé de la S1 corrigé en XY



# La résolution en énergie

Etalonnage à l'aide de plusieurs sources :  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  et AmBe (neutrons)  
 →  $^{129\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  et diffusion inélastique (pics à 40 et 80 keV)

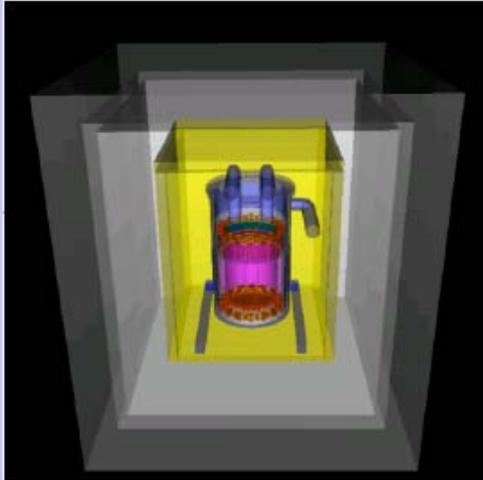


Résolution en combinant S1 et S2 = 2.2% à 662keV

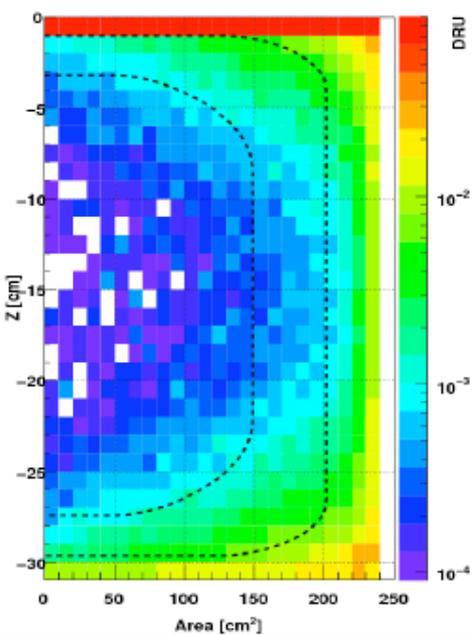
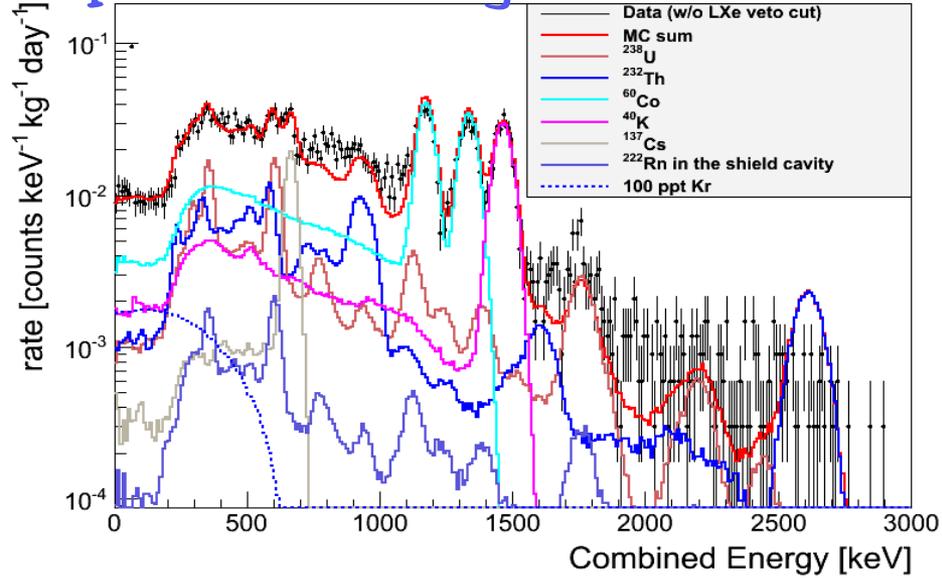
Tous les matériaux présents dans le détecteur ont été sélectionnés et mesurés avec un détecteur dédié au LNGS

| Stainless Steel                    |                               |                                |                               |                              |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Material                           | <sup>238</sup> U<br>[mBq/kg]  | <sup>232</sup> Th<br>[mBq/kg]  | <sup>60</sup> Co<br>[mBq/kg]  | <sup>40</sup> K<br>[mBq/kg]  |
| 25 mm SS Nironit (flange and bars) | < 1.3                         | 2.9 ± 0.7                      | 1.4 ± 0.3                     | < 7.1                        |
| 2.5 mm SS Nironit (bottom cryo)    | < 2.7                         | < 1.5                          | 13 ± 1                        | < 12                         |
| Inner detector materials           |                               |                                |                               |                              |
| PMT Bases (Cirlex)                 | 65 ± 8                        | 31 ± 10                        | < 3.6                         | < 66                         |
| Teflon (in use)                    | < 0.31                        | < 0.16                         | < 0.11                        | < 2.25                       |
| Copper (TPC inner structure)       | < 0.22                        | < 0.21                         | 0.21 ± 0.07                   | < 1.34                       |
| Small Screws (SS)                  | < 9.2                         | 16 ± 4                         | 9 ± 3                         | < 46.4                       |
| PMTs                               |                               |                                |                               |                              |
|                                    | <sup>238</sup> U<br>[mBq/PMT] | <sup>232</sup> Th<br>[mBq/PMT] | <sup>60</sup> Co<br>[mBq/PMT] | <sup>40</sup> K<br>[mBq/PMT] |
| 39 PMTs                            | 0.12 ± 0.01                   | 0.11 ± 0.01                    | 1.5 ± 0.1                     | 6.9 ± 0.7                    |
| 48 PMTs                            | 0.11 ± 0.01                   | 0.12 ± 0.01                    | 0.56 +/- 0.04                 | 7.7 +/- 0.8                  |
| 22 HQE PMTs                        | < 0.64                        | 0.18 ± 0.06                    | 0.6 ± 0.1                     | 12 ± 2                       |
| 23 HQE PMTs                        | 0.16 ± 0.05                   | 0.46 ± 0.16                    | 0.73 ± 0.07                   | 14 ± 2                       |

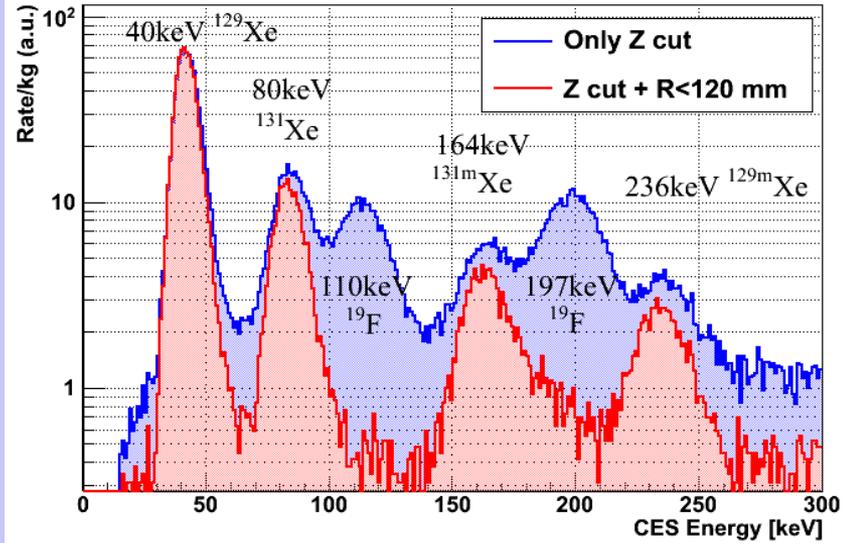
## Simulation GEANT4



## Spectre en énergie (sans le veto)

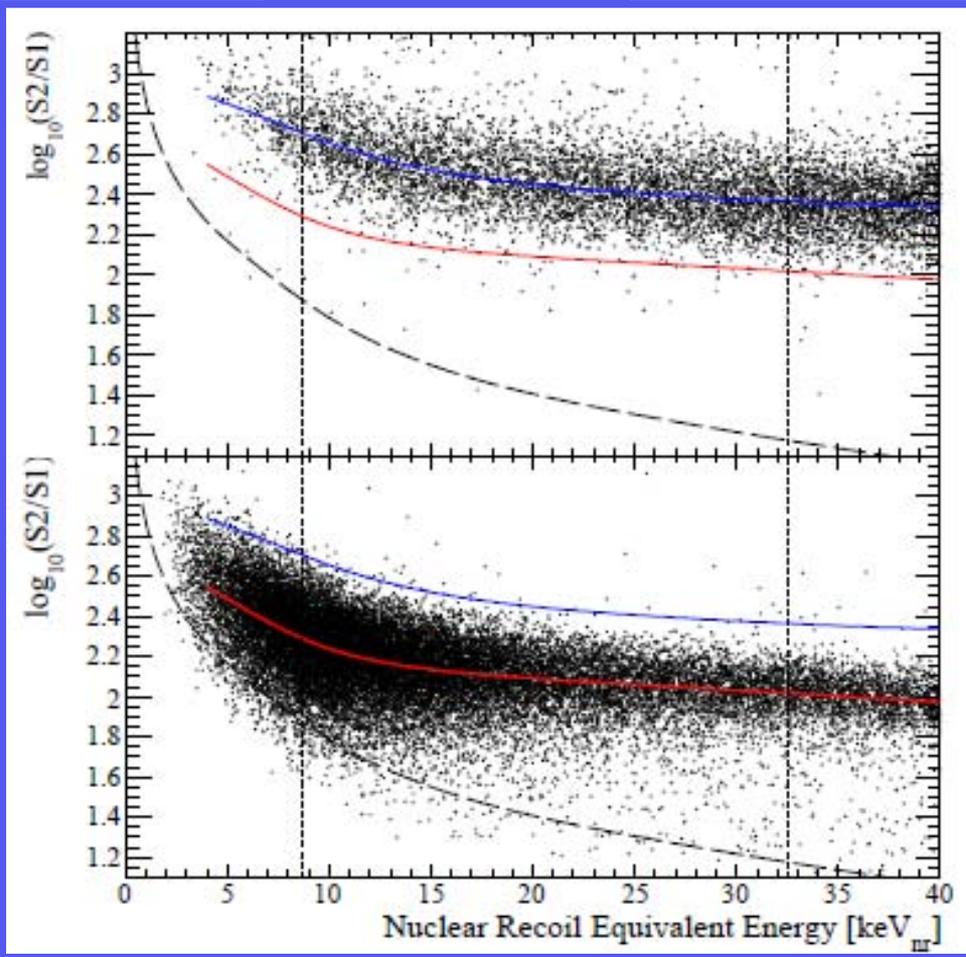


Bruit de fond situé principalement sur les bords  
 → utilité de définir un volume fiduciel



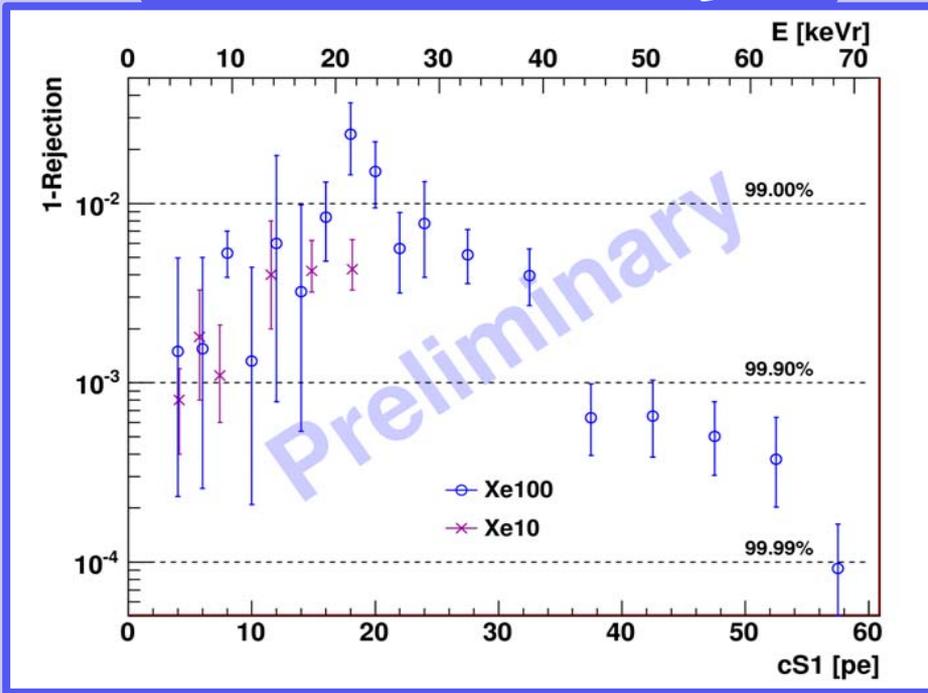


Source  $^{60}\text{Co}$



S2/S1 permet de distinguer entre reculs électroniques ( $\gamma, \beta$ ) et reculs nucléaires (WIMP, n)

Efficacité de la coupure



Source neutron AmBe

Energie de recul nucléaire

$$E_{nr} = \frac{S1}{LY_{nr}}$$

← Signal mesuré [pe]  
 ← Rendement de scintillation pour un recul nucléaire [pe/keV]

Quenching recul nucléaire à champ nul :

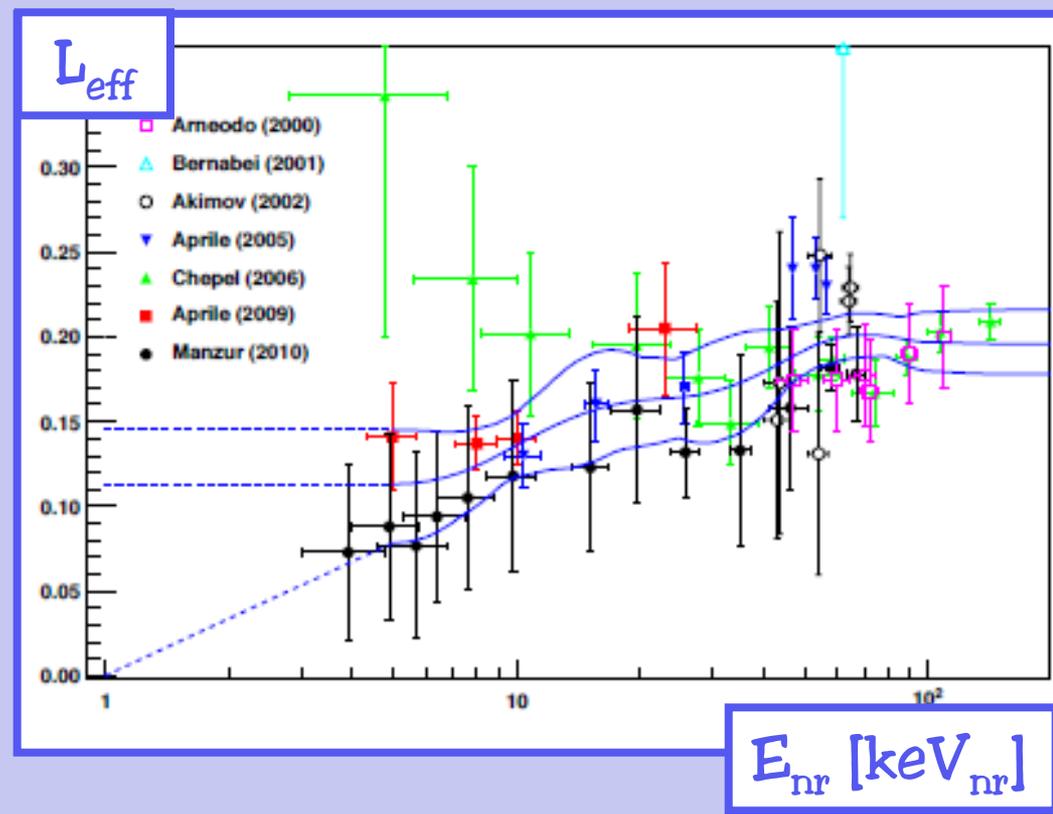
$$(LY_{nr})_{\vec{E}=\vec{0}} = L_{eff}(E_{nr}) \times (LY_e)_{\vec{E}=\vec{0}}$$

Quenching dû au champ électrique :

$$\begin{cases} LY_e = S_e \times (LY_e)_{\vec{E}=\vec{0}} \\ LY_{nr} = S_{nr} \times (LY_{nr})_{\vec{E}=\vec{0}} \end{cases}$$

$$E_{nr} = \frac{1}{L_{eff}(E_{nr})} \frac{S1}{LY_e} \frac{S_e}{S_{nr}}$$

LY<sub>e</sub> et S<sub>e</sub> mesurés à 122 keV



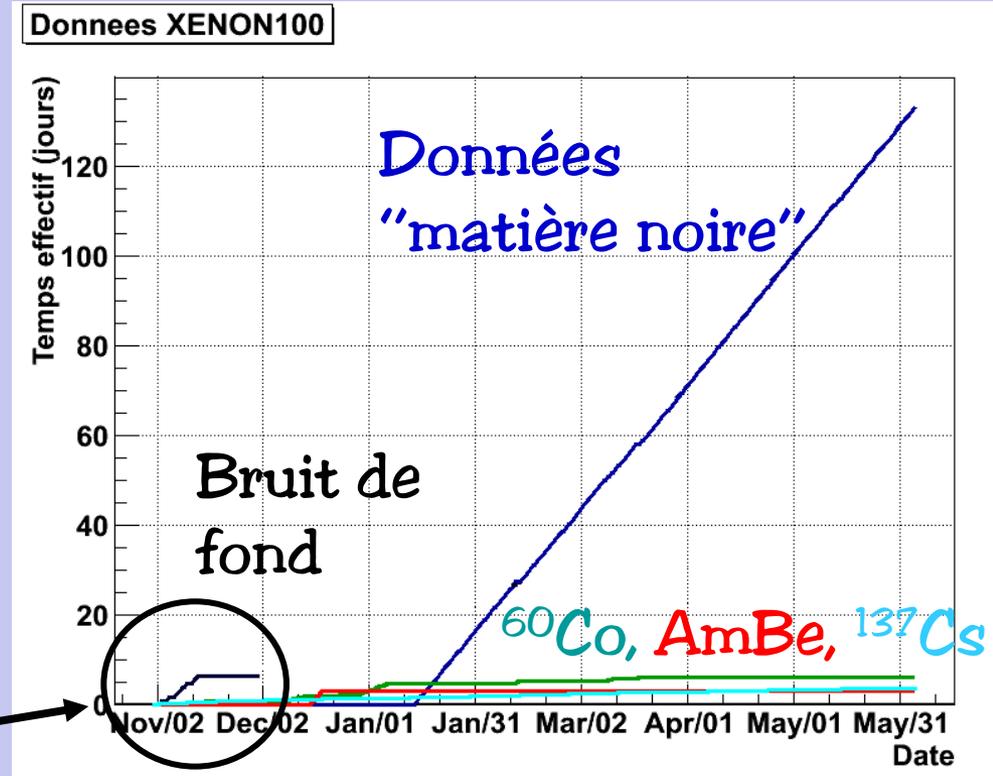


Recherche de la matière noire depuis janvier 2010 en mode "aveugle" : > 130 jours effectifs. Détecteur parfaitement stable.

Etalonnages réguliers avec les sources  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{60}\text{Co}$ .

Un étalonnage avec la source AmBe fin 2009.

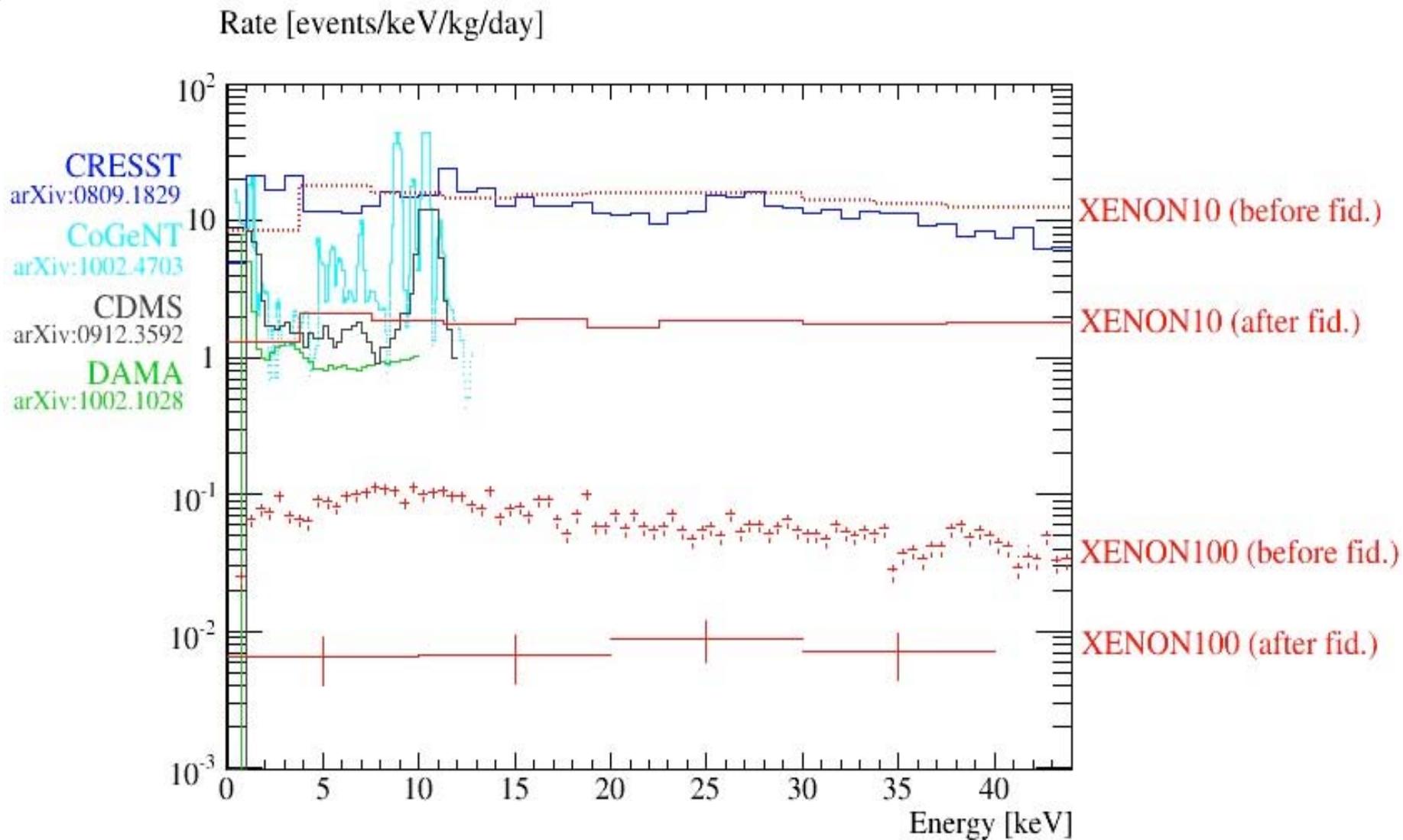
~11 jours de données en nov/dec 2009 pour étudier le bruit de fond

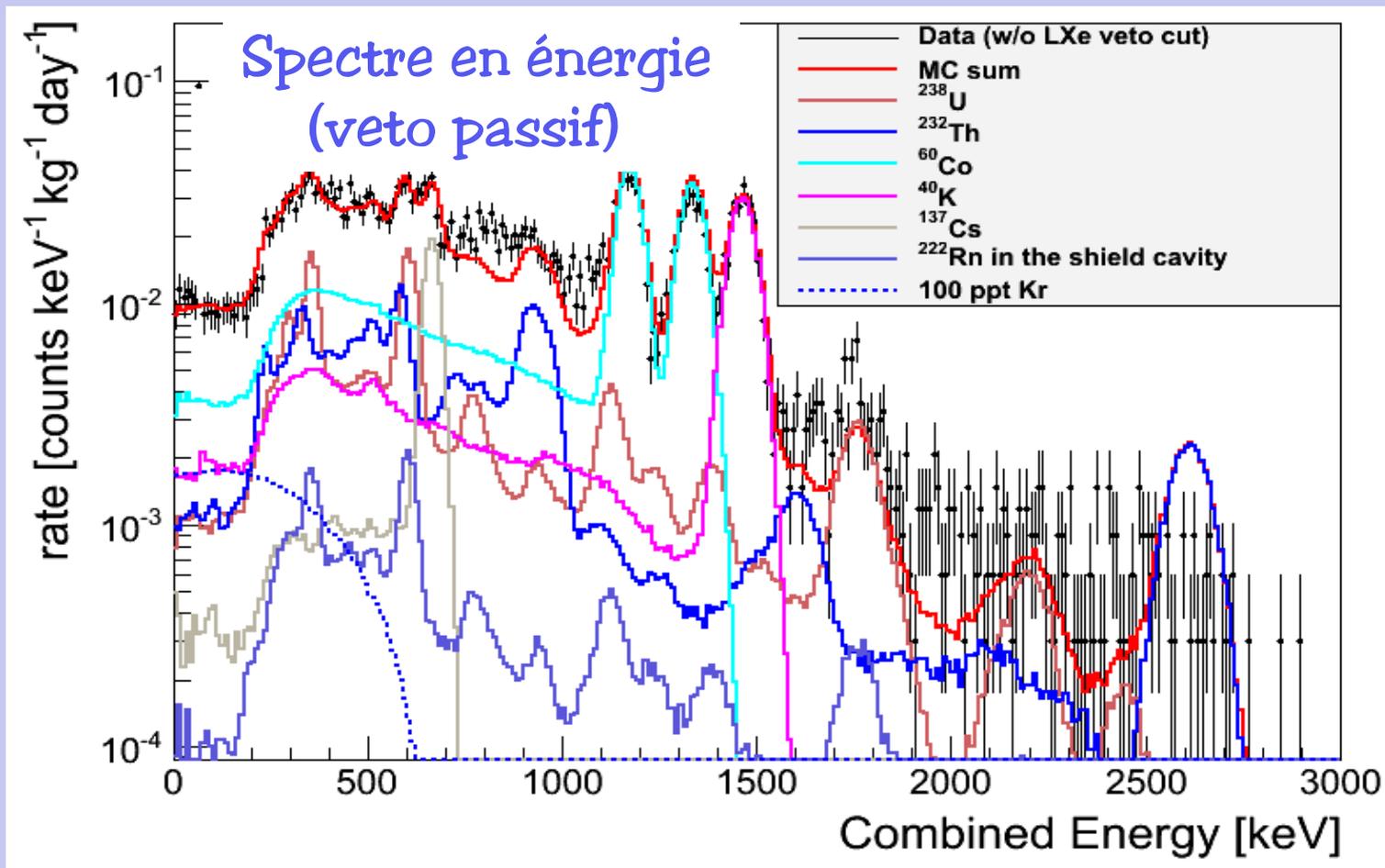


→ tous les résultats qui suivent sont obtenus avec ces données

Article soumis à publication (arXiv:1005.0380)

# Un très bas bruit de fond...



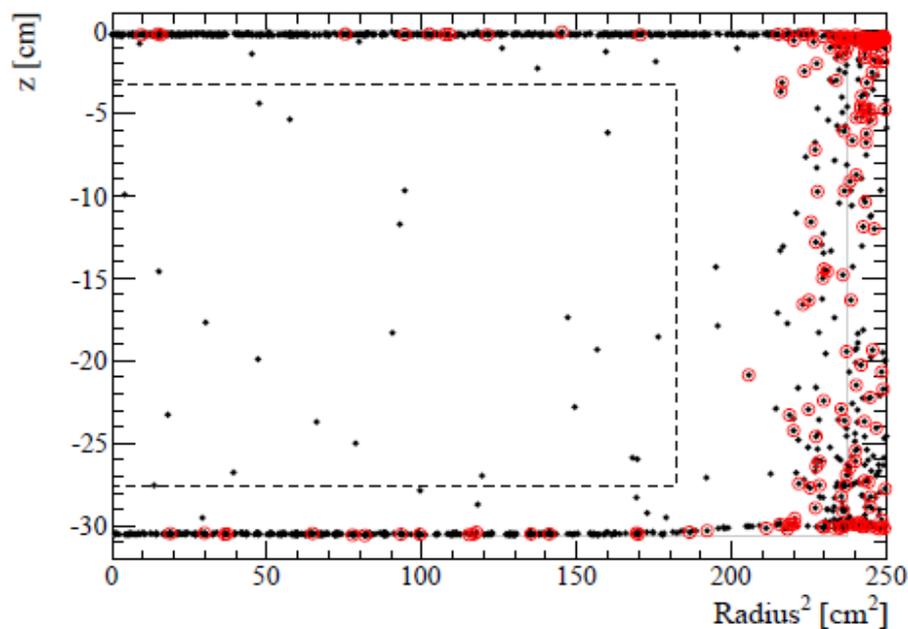


Pas d'ajustement entre MC et données

→ le bruit de fond est globalement compris

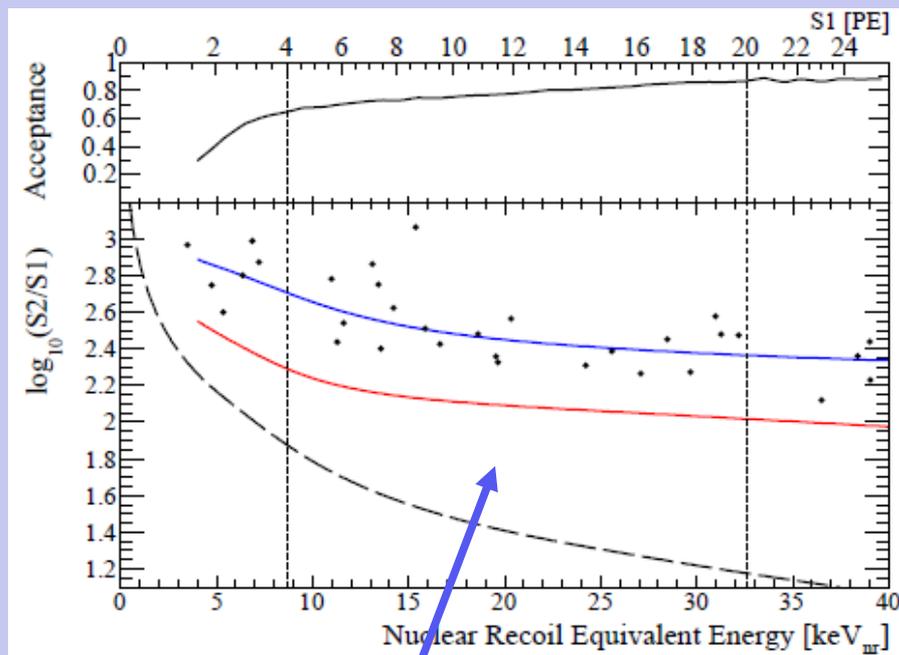
Analyses encore en cours...

Position des événements  
dans la TPC  
( $4 \text{ pe} < S1 < 20 \text{ pe}$ )



22 événements dans le  
volume fiduciel (40 kg)

Acceptance et rapport  $S2/S1$   
en fonction de l'énergie  
(volume fiduciel)



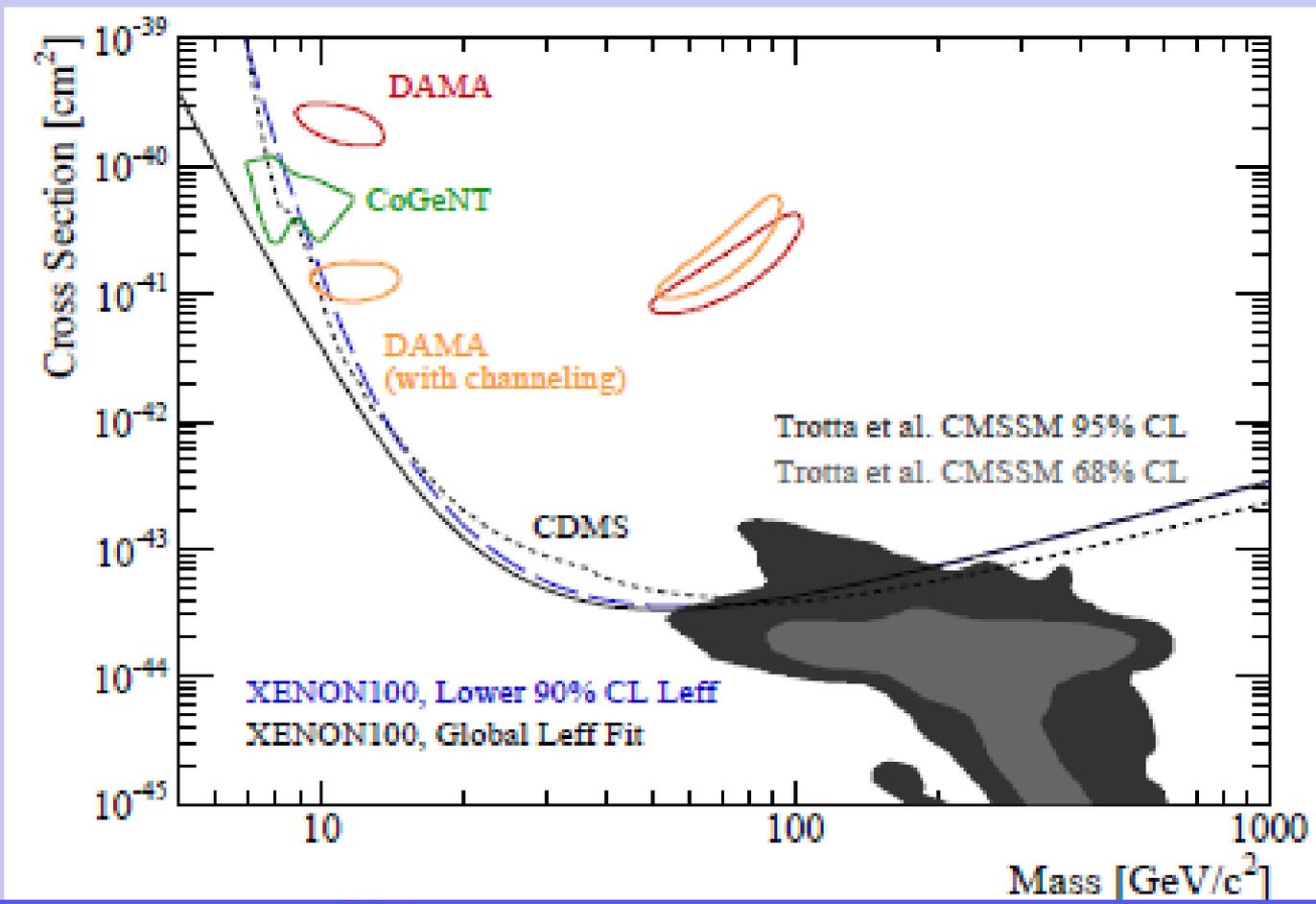
→ aucun candidat WIMP

# Nouvelle limite sur la section efficace

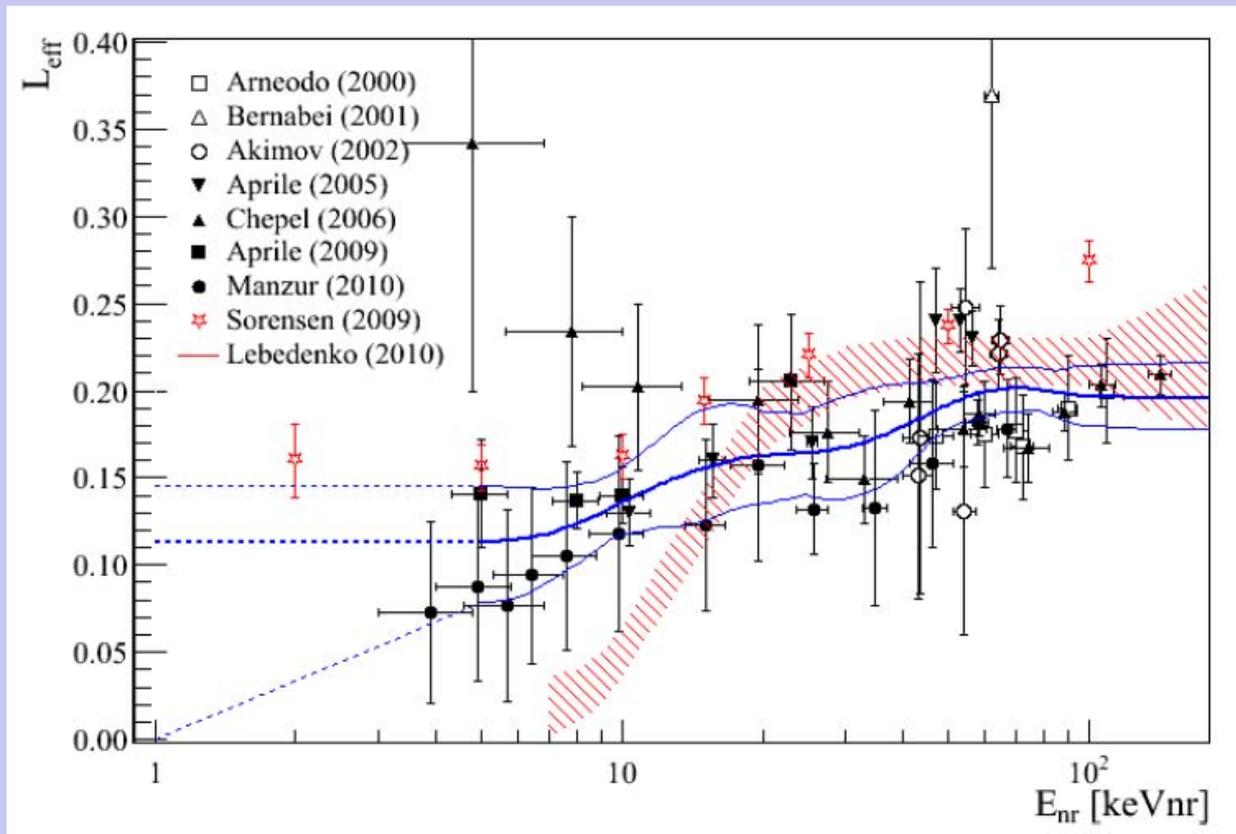
11.17 jours effectifs x 40 kg volume fiduciel

Exposition (en tenant compte de l'acceptance) : 170 kg.jours

0 événement observé (<0.2 événement de bruit de fond attendu)



Vitesse WIMP :  
 $v_0 = 220 \text{ km/s}$   
 $v_{\text{esc}} = 544 \text{ km/s}$



$4 \text{ pe} < S1 < 20 \text{ pe}$

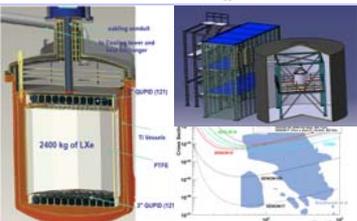
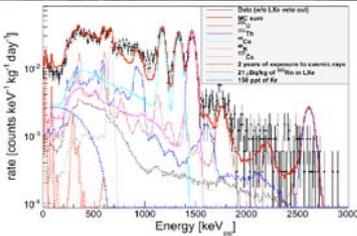
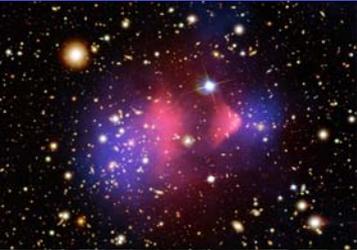
$= 8.7 - 32.6 \text{ keVnr}$

$= 9.6 - 37.4 \text{ keVnr}$

meilleur fit et  $L_{\text{eff}}$  constant en dessous de 5 keVnr

limite inférieure (90%CL) et linéairement décroissant en dessous de 5 keVnr

# Plan



- Le WIMP : un candidat pour la matière noire
- Le détecteur XENON100
  - du xénon liquide comme cible de détection
  - une localisation tridimensionnelle
  - une mesure de l'énergie
  - un très bas bruit de fond
- Des premiers résultats prometteurs
- La prochaine étape : XENONIT

# Un nouveau design...

34

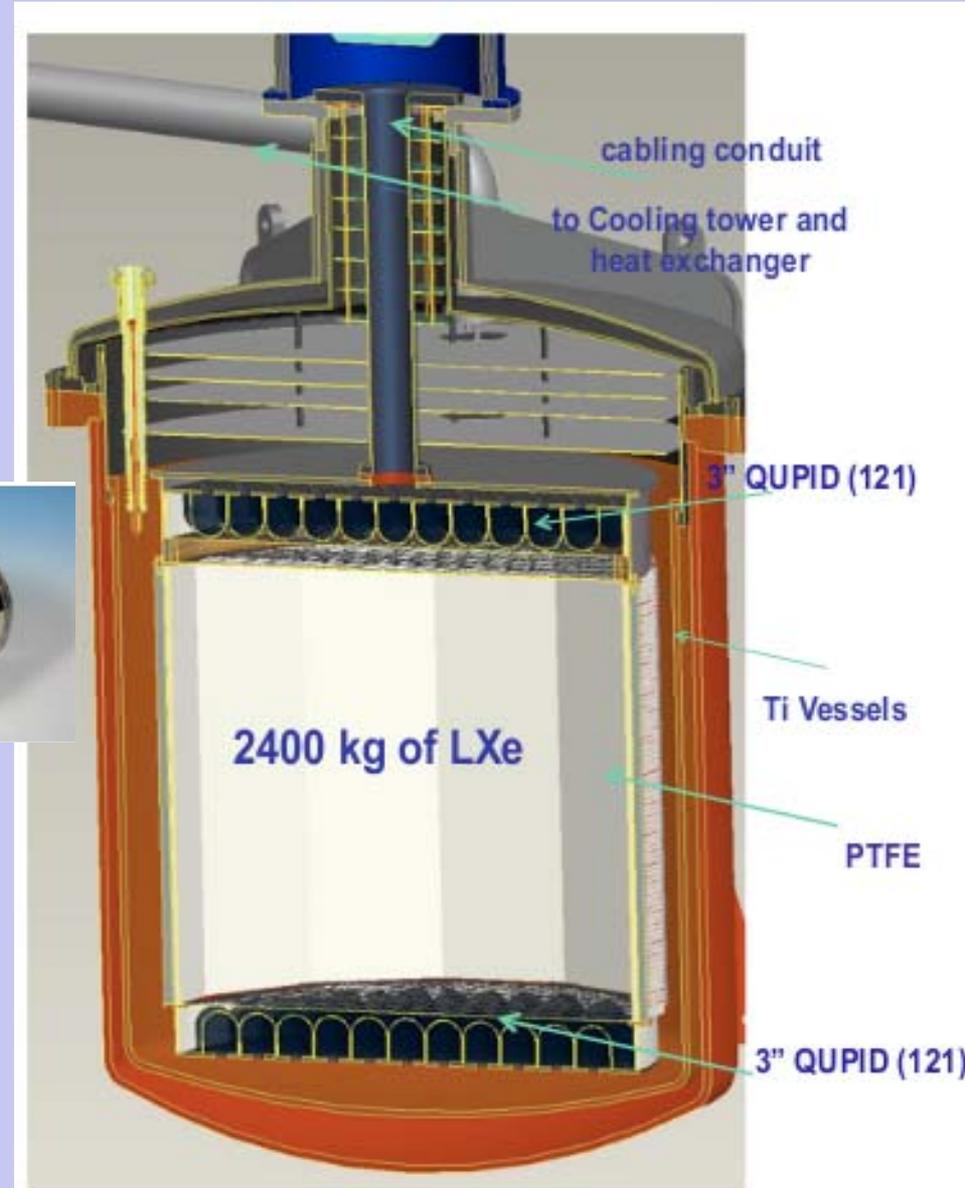
1 T de Xe dans le volume fiduciel,  
2,4 T au total.

Améliorations prévues :

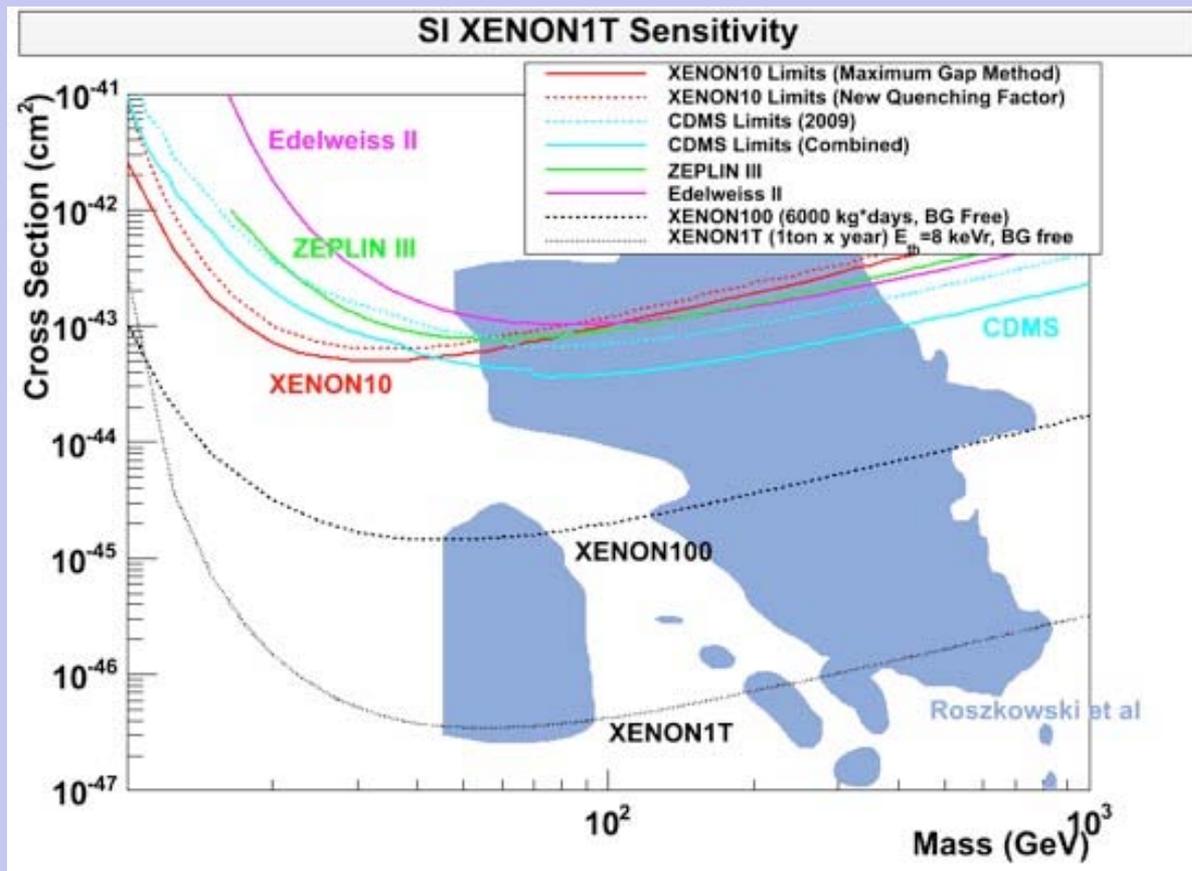
- ✓ Cryostat basse activité (Ti et Cu)
- ✓ Nouveaux PMs basse activité = QUPID
- ✓ Remplissage et récupération en phase liquide (responsabilité de Subatech)



→ Coût total du projet ~8M\$

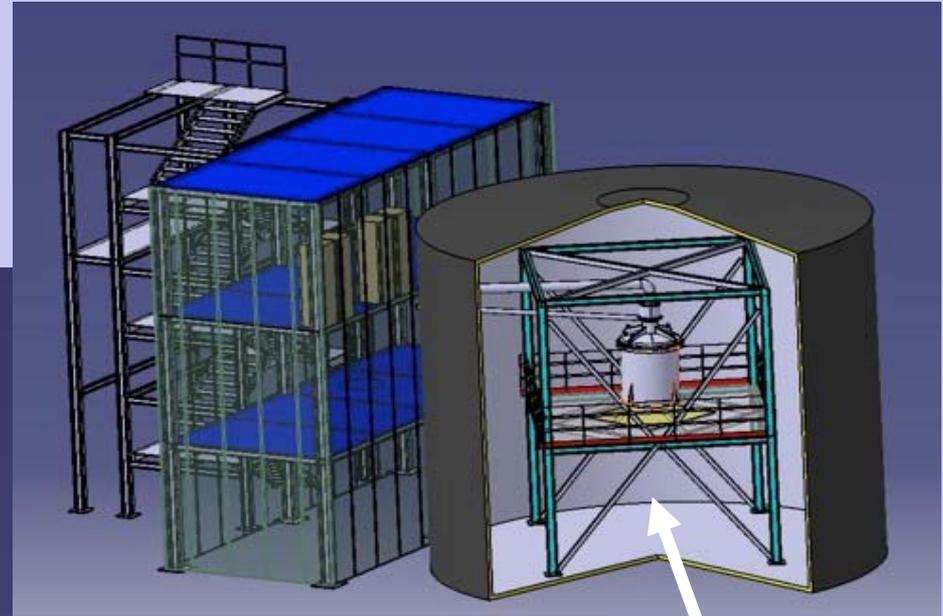


Objectif : moins de 0.1 événement de bruit de fond par an et par tonne dans le volume fiduciel

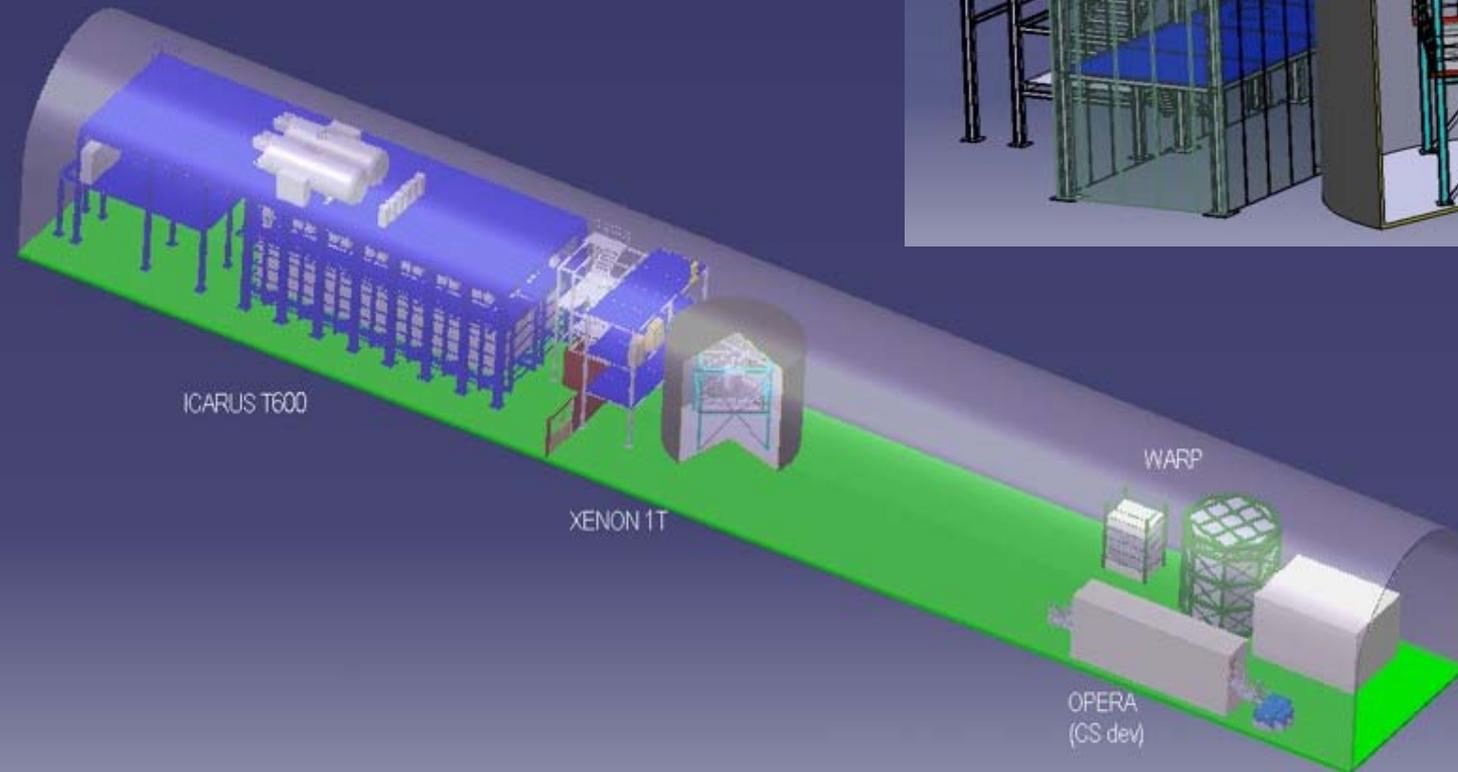


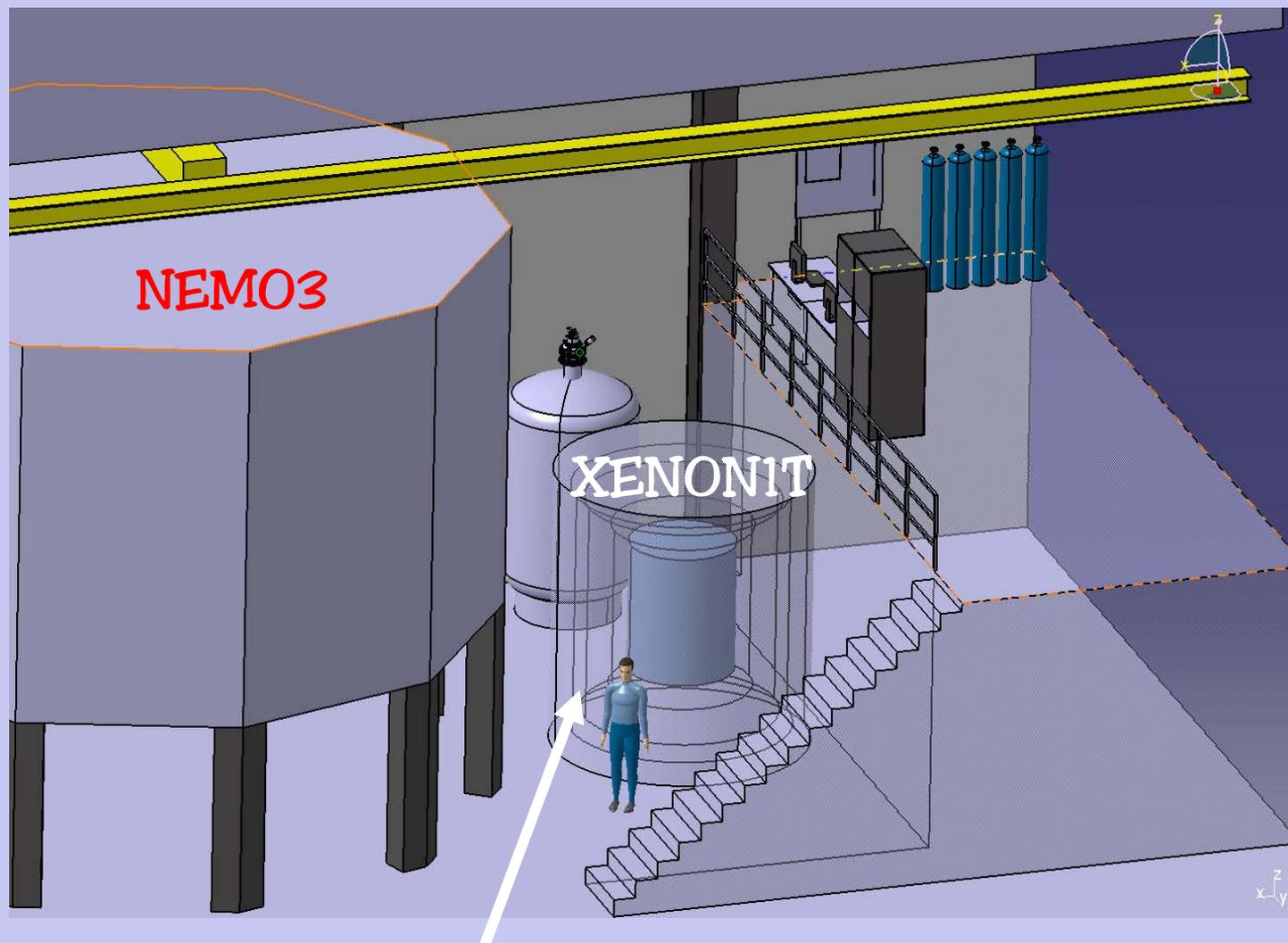
Après une année sans aucun événement de bruit de fond, XENON1T pourra atteindre une sensibilité de  $\sim 3 \cdot 10^{-47} \text{ cm}^2$

Site possible =  
Hall B du LNGS



Blindage eau





Blindage passif : Plomb et Polyéthylène

- ✓ le xénon liquide est un milieu de détection très performant
- ✓ les résolutions spatiale et en énergie de XENON100 sont conformes aux attentes
- ✓ l'analyse des 11 jours de données a montré un niveau exceptionnellement bas du bruit de fond
- ✓ XENON100 est en cours d'acquisition stable depuis 5 mois en mode "aveugle"
- ✓ de nouveaux résultats dans les prochains mois... avec peut-être pour la première fois la détection de WIMPs !

**Pour résumer :**

**pour l'instant, on ne voit rien... mais on le voit bien !**