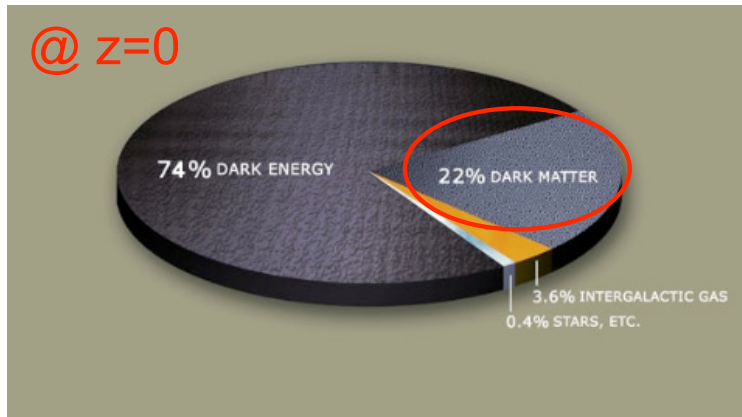

Les recherches de matière noire

Eric Armengaud - IRFU/SPP
Rencontre SPP-APC
14 avril 2010

Quelle matière noire pour Λ CDM ?



- Dynamique galactique / amas
- Formation des structures $\delta \sim 10^{-5} \rightarrow \delta \sim 1$

⇒ Masse froide, sans collision, stable

- $\Omega_M > \Omega_b$ (nucléosynthèse primordiale, CMB)

⇒ Masse non-baryonique et en fait « hors Modèle Standard » ($\sum m_\nu \leq eV$)

- Nouveau(x) champ(s) de nature « gravitationnelle » = gravité modifiée (MOND etc)
 - justifié par des obs. dynamique galactique + Λ + ...

- « SuperWIMPs » eg. gravitino, axino (SUSY)

- Reliques supermassives (M_{Pl})

- Axions : axions de Peccei-Quinn (QCD) ou ALPs

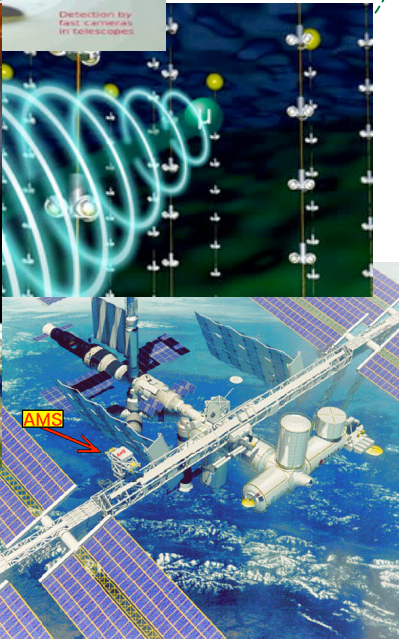
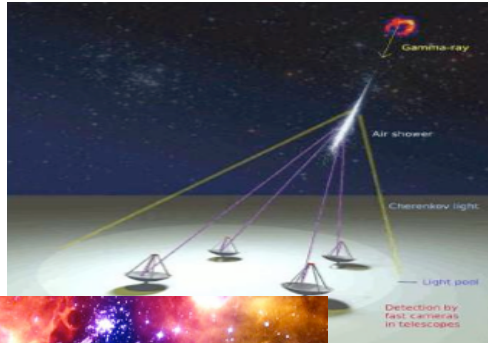
- Le « miracle WIMPs » : *hypothèse relique thermique* :

$\Omega_{\text{DM}} \sim 0.3 \Rightarrow \langle \sigma_{\text{ann}} v \rangle \sim 3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$
interactions faibles, $M \sim 100 \text{ GeV}$ (Weakly Interacting Massive Particles)

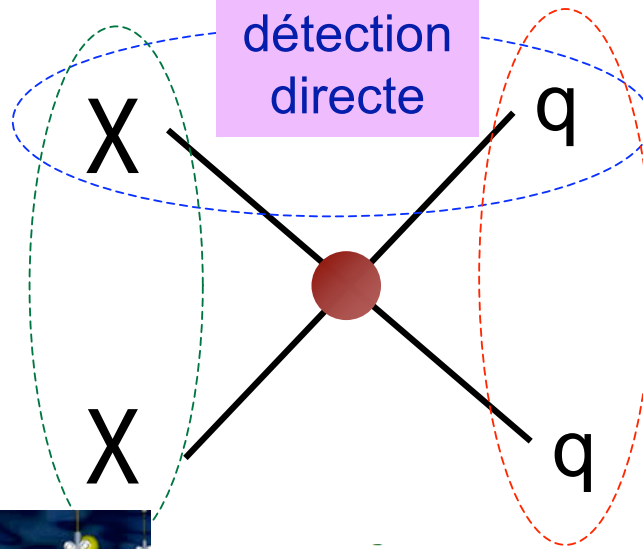
- neutralino [modèles SUSY]
- LKP [modèles UED]

Plusieurs voies de recherche des WIMPs

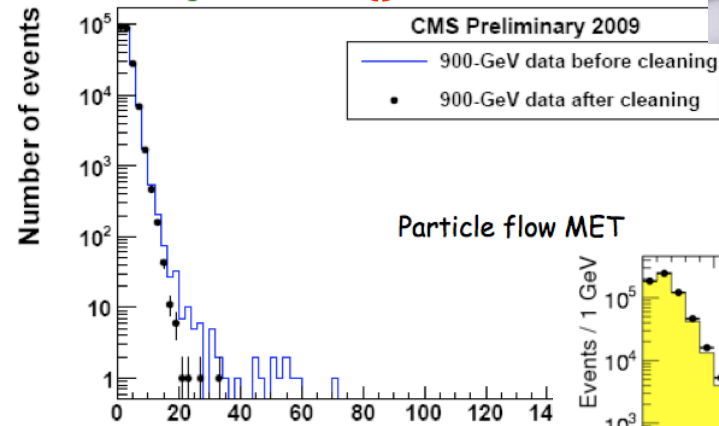
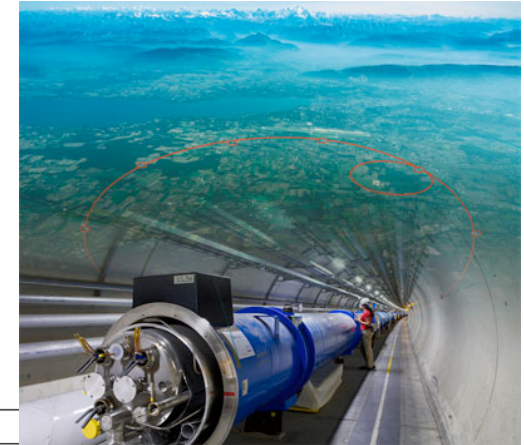
détection indirecte
nombreux observatoires
impliqués



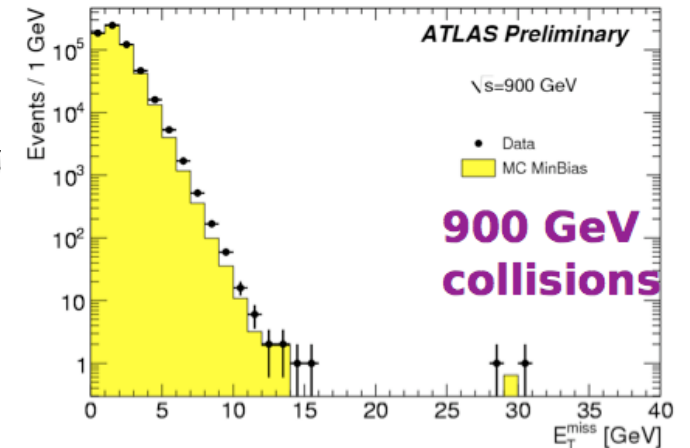
détection directe



collisionneurs
LHC en marche



Particle flow MET



Détection directe des WIMPs



WIMP galactique

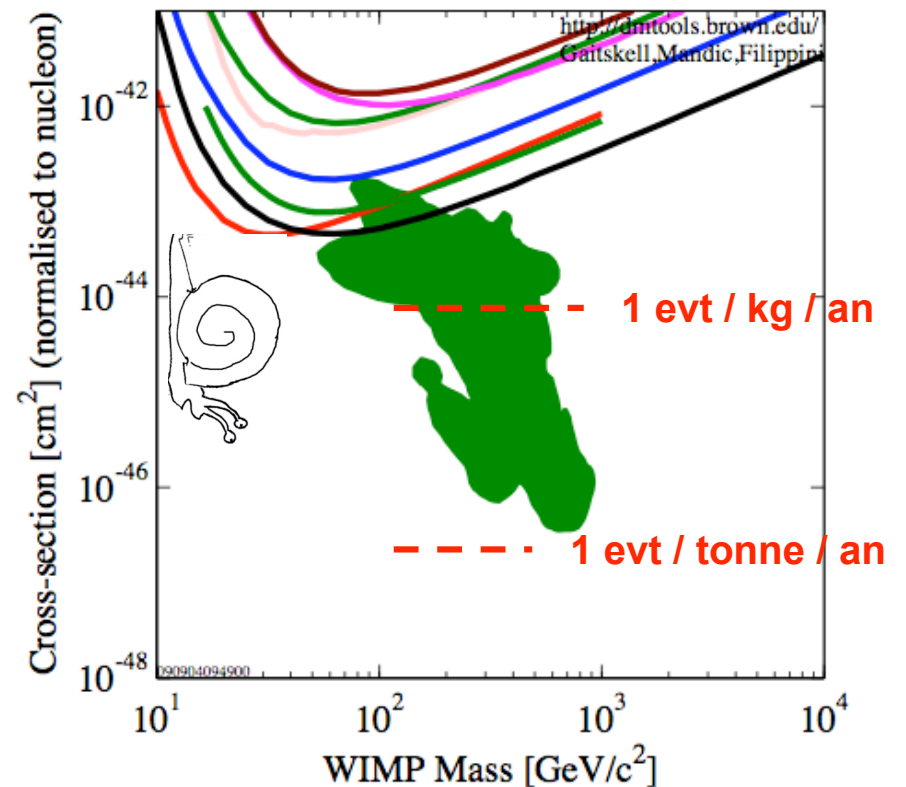
Interaction dans un détecteur terrestre

WIMP

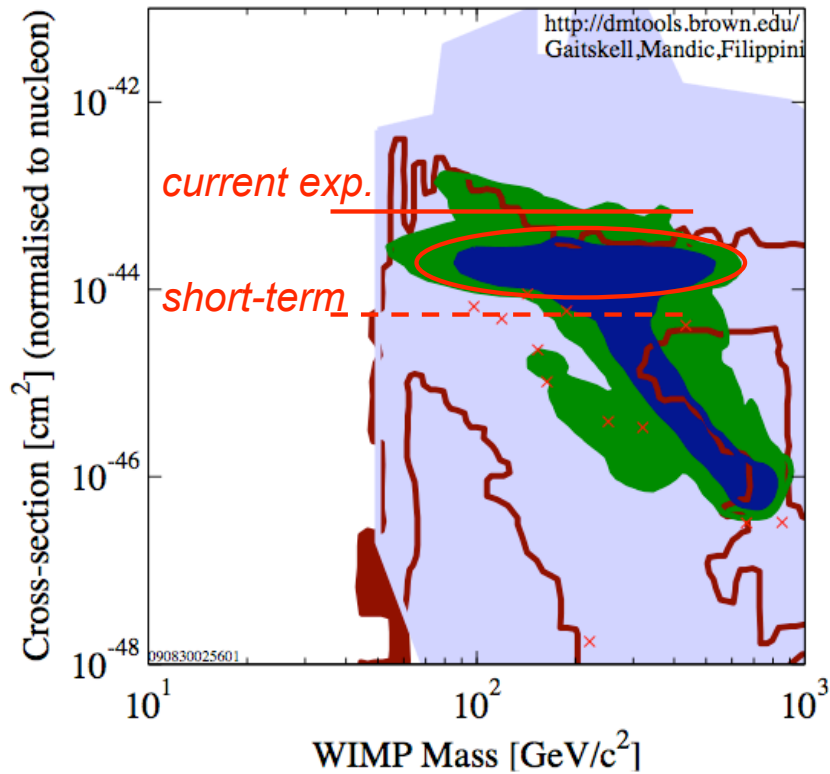
Dépôt d'énergie
Recul nucléaire

Taux d'interactions dans un détecteur, pouvant être aussi bas qu'un événement / tonne / an \Rightarrow très faible !

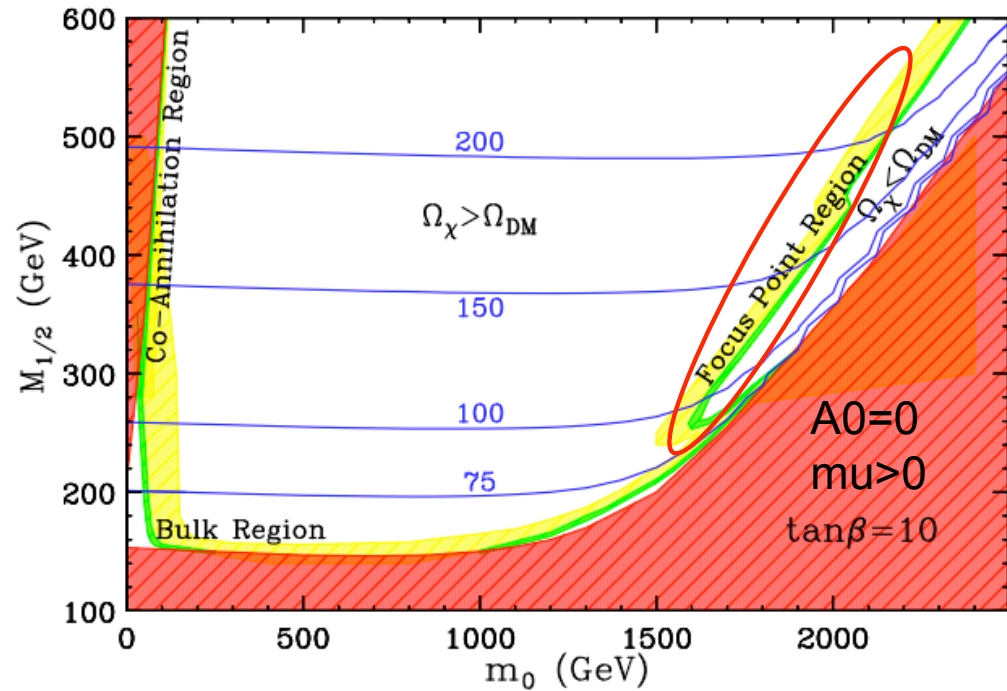
- Détecteurs dédiés, massifs (100g ... tonne[s])
- Bas seuil de détection (reculs \sim quelques keV, spectre exponentiel)
- **Réjection de tous les bruits de fond** jusqu'à la sensibilité désirée:
 - réjection passive (blindages)
 - réjection active : discrimination reculs de WIMPs (reculs nucléaires) / autres interactions (radioactivité gamma & beta = reculs électroniques)



Discovery potential for SUSY or UED



- Trotta et al 2008, CMSSM Bayesian: 68% contour
- Trotta et al 2008, CMSSM Bayesian: 95% contour
- Ellis et. al Theory region post-LEP benchmark points
- Baltz and Gondolo 2003
- Baltz and Gondolo, 2004, Markov Chain Monte Carlos



- SUSY Focus Point region to be fully tested soon (higgs exchange)
- SUSY Bulk region : may require larger masses for detection
- LKP models : cross-section $< 10^{-45} \text{ cm}^2$, require larger masses for detection

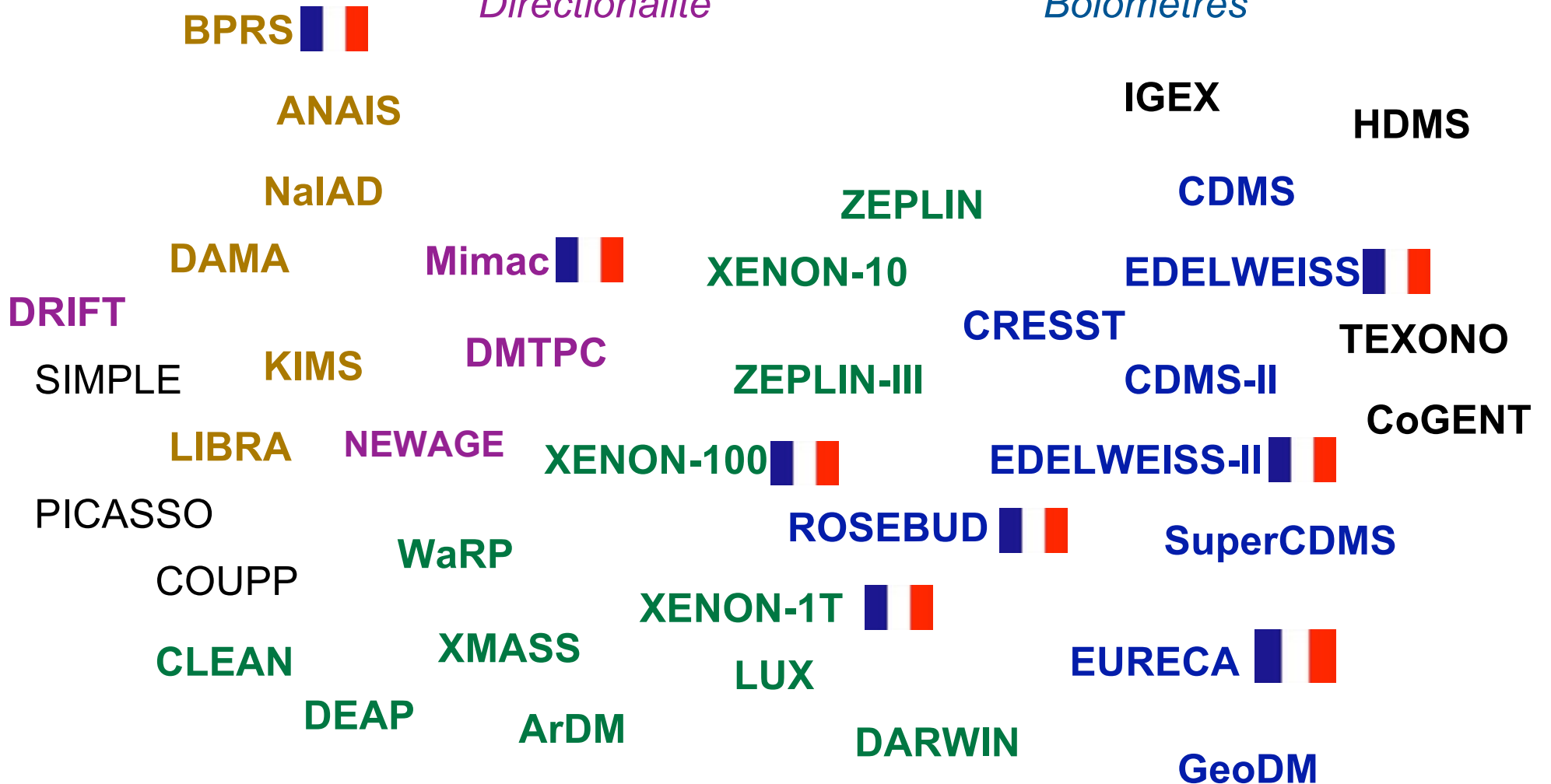
Un important effort expérimental

Scintillateurs solides

Liquides nobles

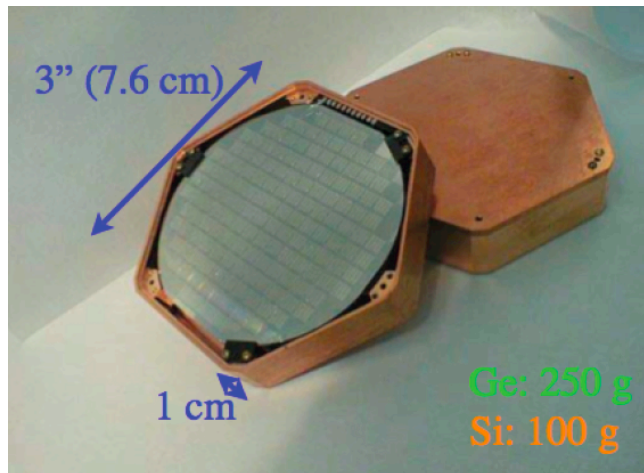
Bolomètres

Directionnalité



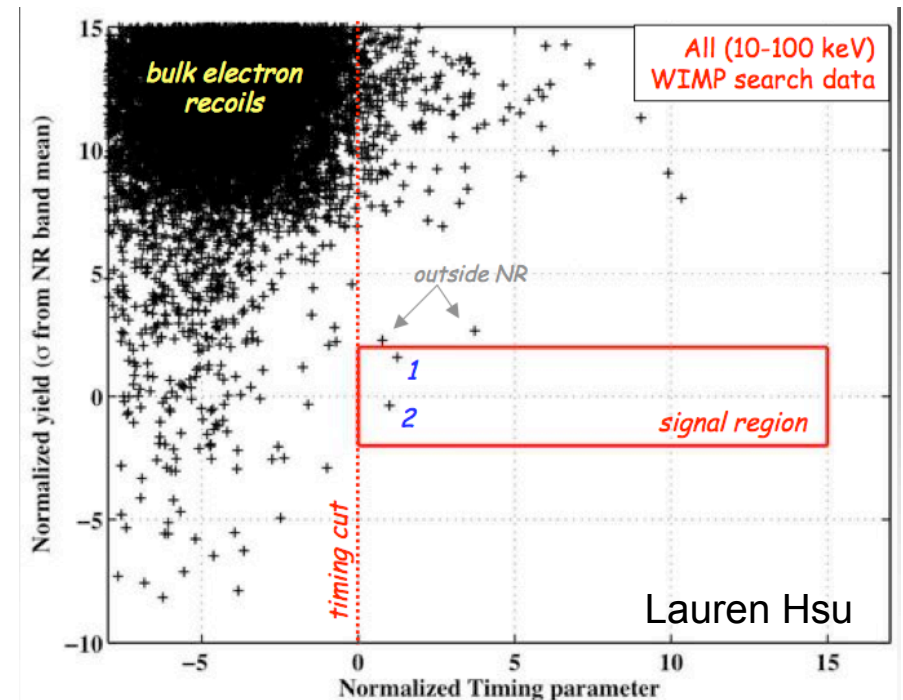
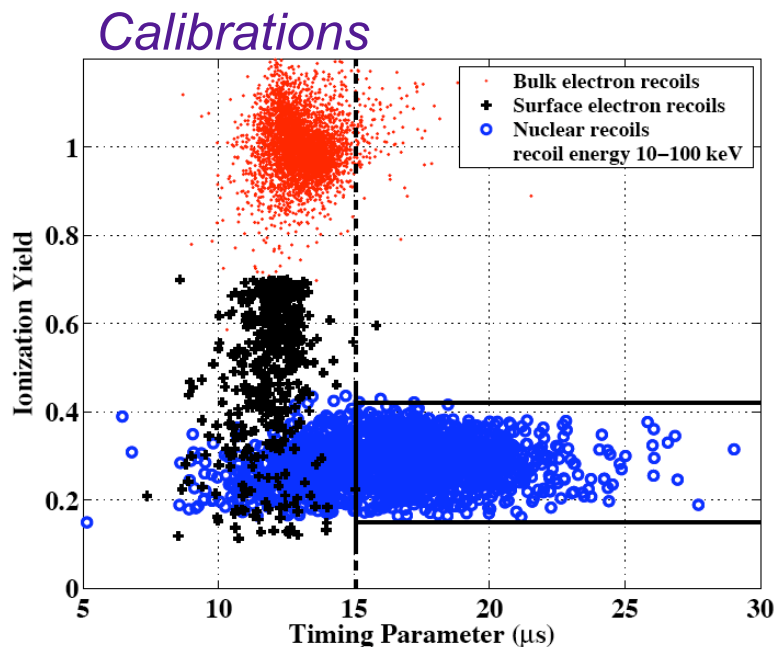
Le canal « bolomètres »

L'expérience CDMS-II



- Cristaux Germanium @ 40mK
- Pulses chaleur + ionisation \Rightarrow discrimine l'essentiel des reculs électroniques (γ s)
- Mesure du délai et temps de montée des phonons \Rightarrow **discrimine les événements de surface** (β s : charge mal collectée)

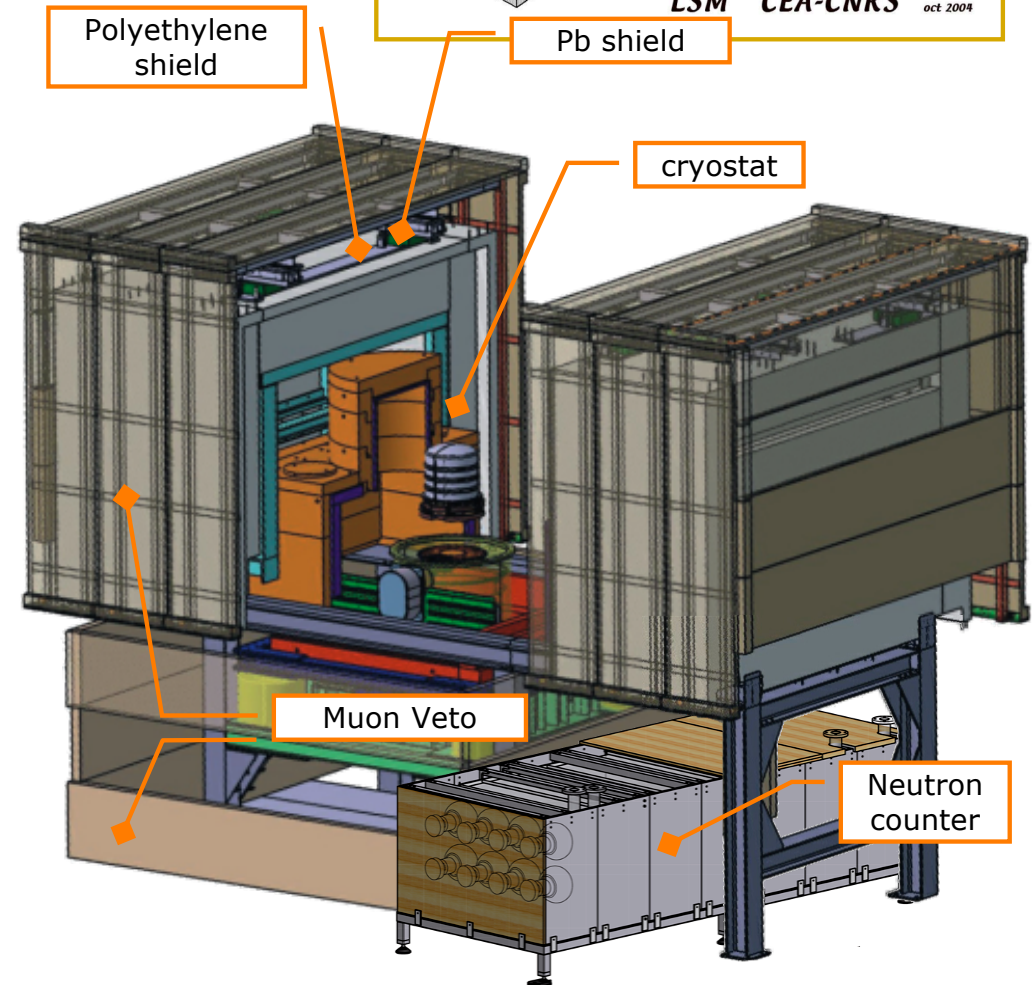
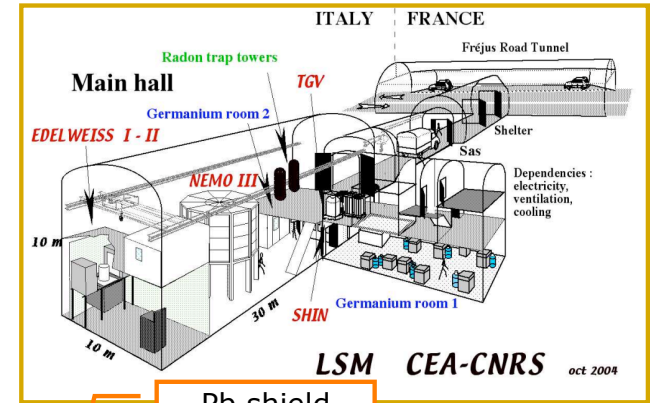
- 2008 : 654 kg.jours « bruts » analysés, 121 kg.jours post-coupures \Rightarrow 0 evt / 0.5 attendu
- 2009 : exposition $\times 2 \Rightarrow$ 2 evts / 0.8 attendu



La collaboration EDELWEISS-II

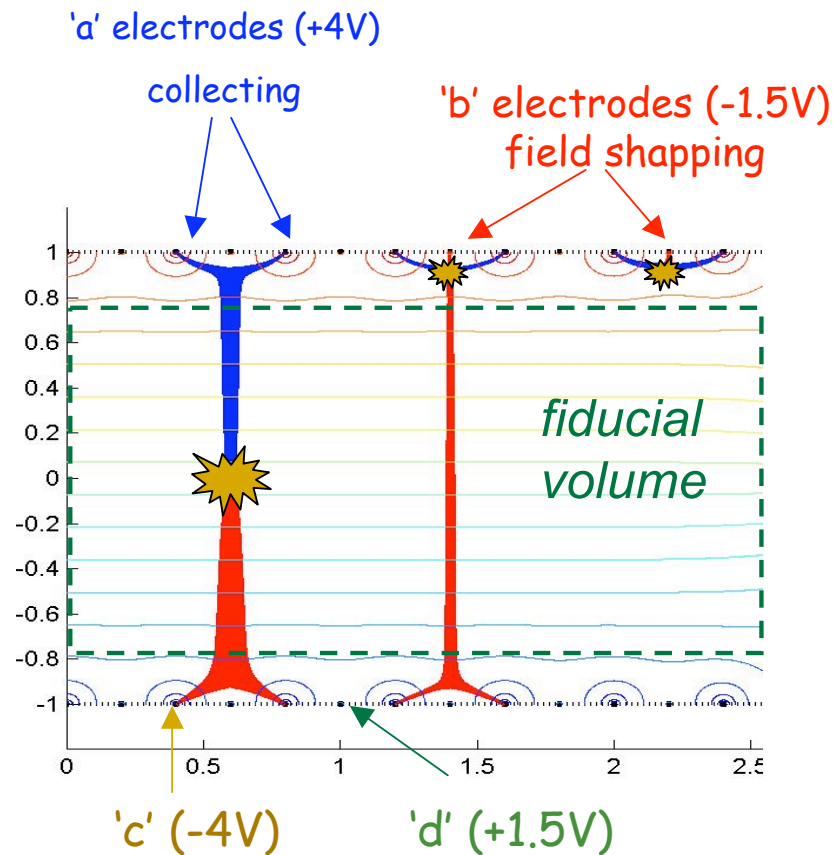


Karlsruhe - oct 09

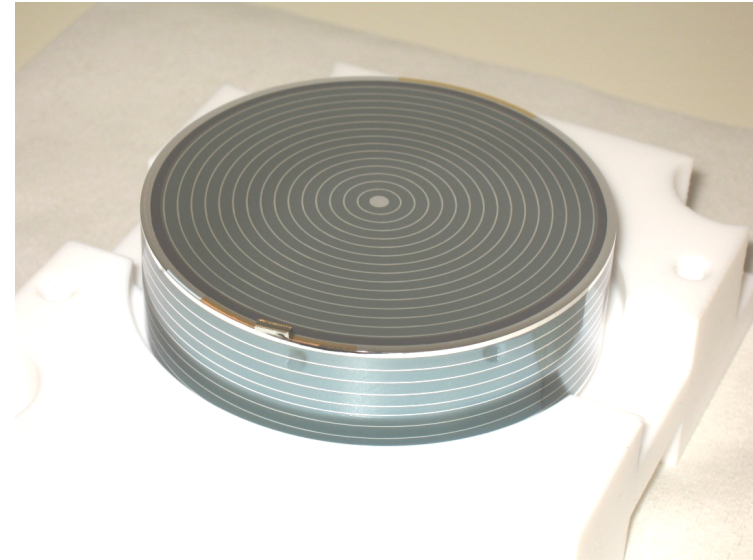


- CEA Saclay (IRFU et IRAMIS)
- CSNSM Orsay (CNRS/IN2P3 + Univ. Paris Sud)
- IPN Lyon (CNRS/IN2P3 + Univ. Lyon 1)
- Néel Grenoble (CNRS/INP)
- Karlsruhe Institute of Technology
- JINR Dubna
- Oxford University (*joined in 2009*)
- Sheffield (*joined in 2010*)

EDW-II : Réjection des événements de surface avec des électrodes interdigitées



Le détecteur « ID » (interdigit)

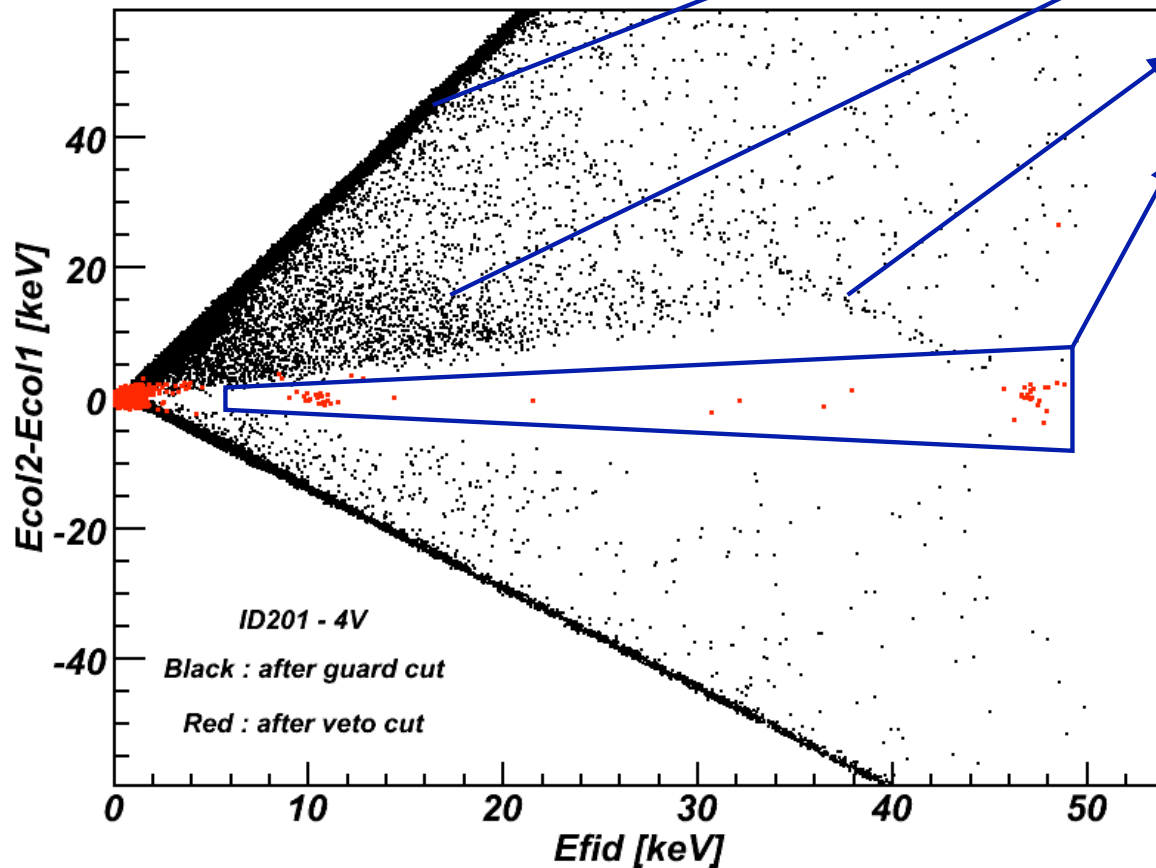


- Senseur thermique identique à EDW-I
- Modification du champ E près des surfaces grâce aux électrodes
- Utilise les signaux 'b' et 'd' comme veto => rejet evts de surface

Premier détecteur construit 2007
1x200g + 3x400g testés en 2008
10x400g en physique depuis printemps 2009
Et plus en 2010...

An outstanding surface event discrimination with IDs

Beta calibration
(^{210}Pb)
200g detector



« single-side » surface events : $E1=0$

« 3-electrode » surface events

46 keV gamma-ray line

fiducial volume events
(including the 10 keV doublet)

- « Veto + guard » cut (red points) + « $E2 = E1$ » criterium (blue box) : strong redundancy !

- Surface and volume events are completely separated

- Overall beta rejection $\sim 1/10^5$

$E1$ = energy of top collecting electrode

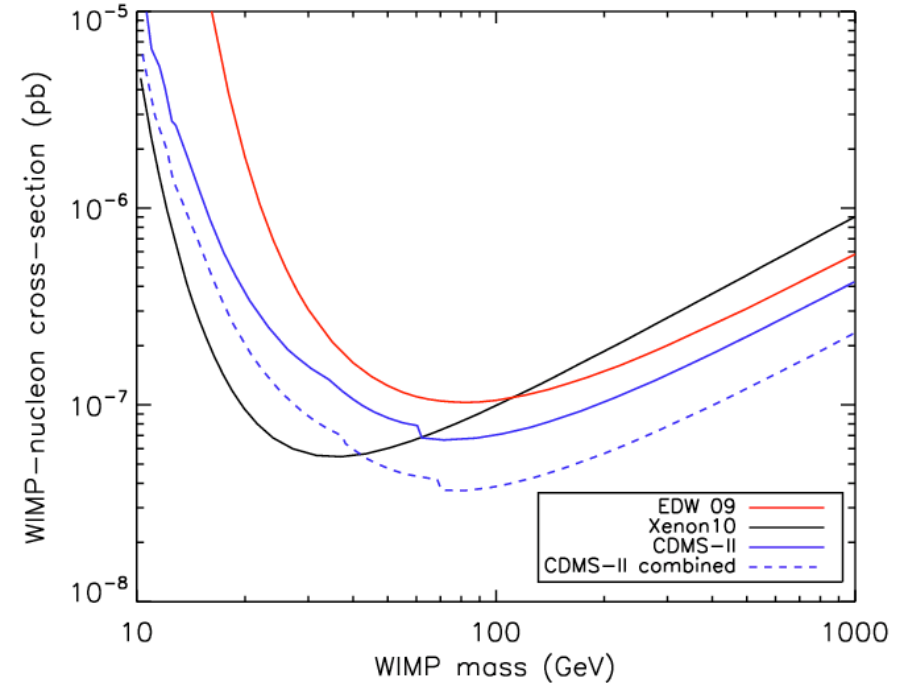
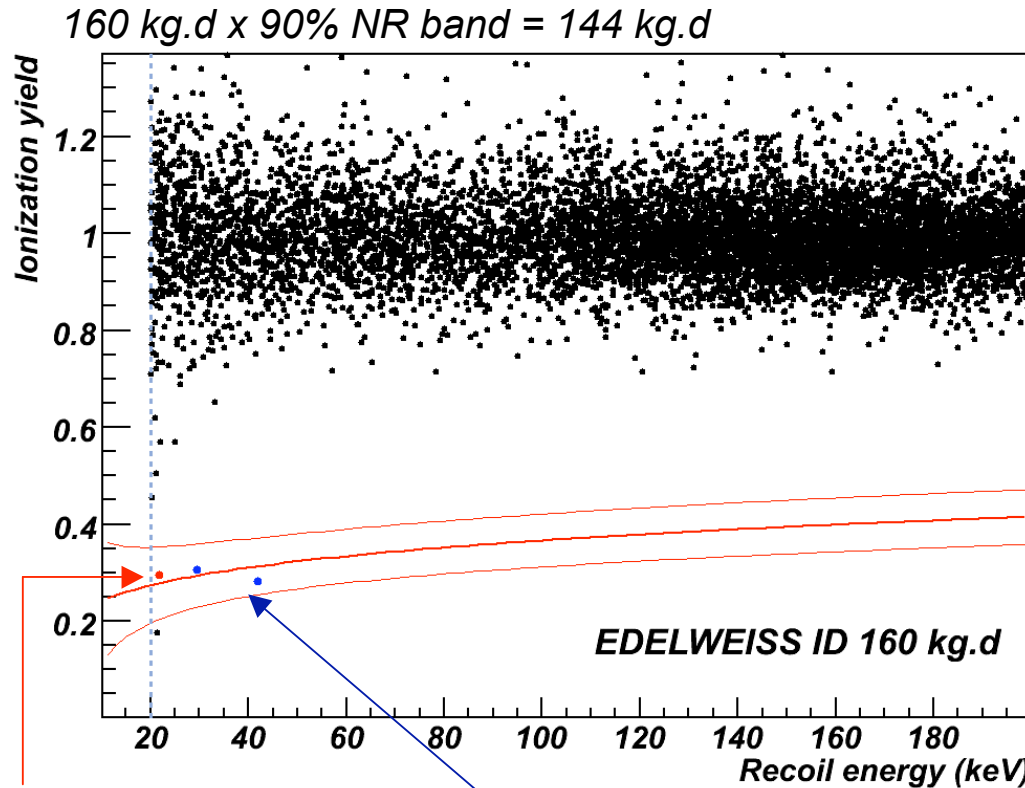
$E2$ = bottom collecting electrode

Recherche de WIMPs avec EDELWEISS-II

Phys Lett B 687 (2010), pp. 294-298

(arXiv:0912.0805)

End 2009



« candidat WIMP »
Er = 21 keV

coincidences bolo-bolo+veto
=> neutrons dans le volume
fiduciel

Actuellement
exposition ~ x2

Bruits de fond : travail en cours

Première estimation d'après des calibrations/simulations précédentes

- gamma < 0.01 evt (99.99% rejection)
 - beta ~ 0.06 evt (d'après calibration ID201 + obs. evts surf)
 - neutrons ^{238}U plomb < 0.1 evt
 - neutrons $^{238}\text{U}+(\alpha,n)$ roche ~ 0.03 evt
 - neutrons des muons < 0.04 evt
- } < 0.23 evt

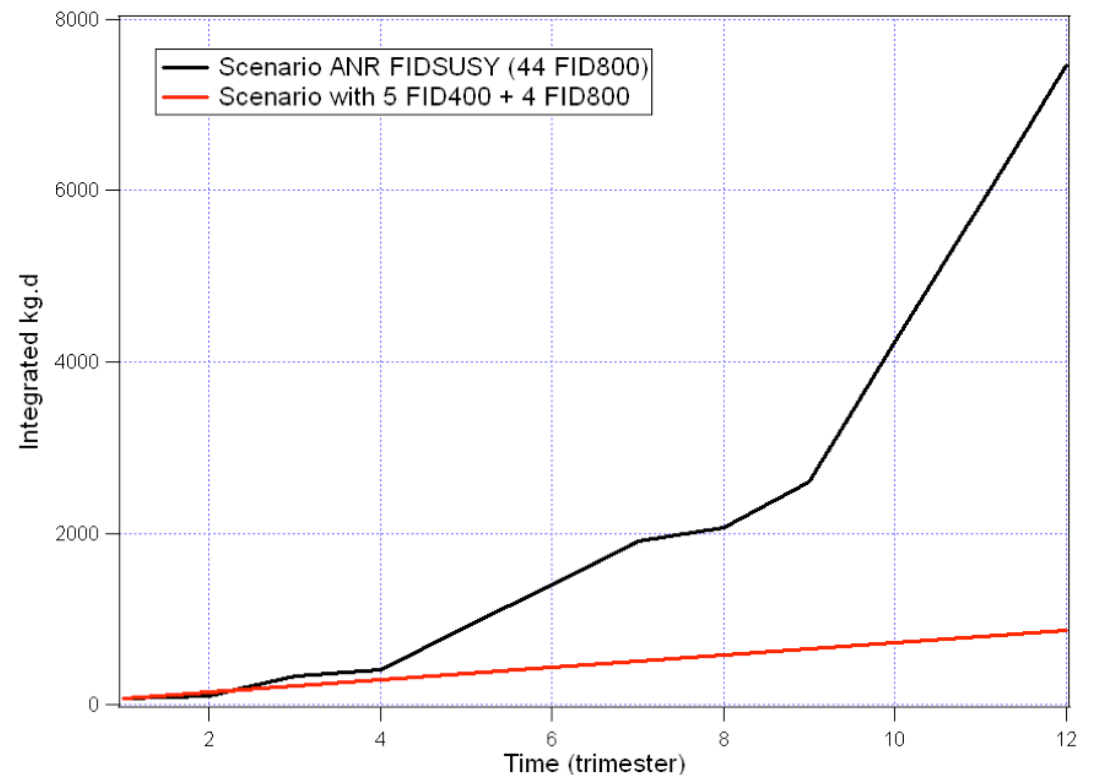
La suite à court terme : EDELWEISS-III

■ Buts :

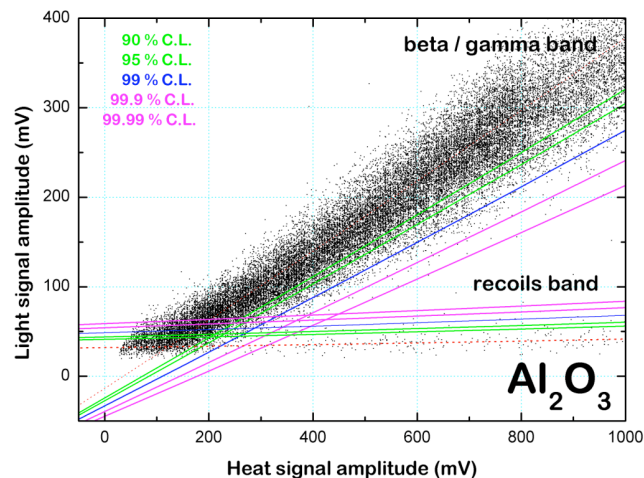
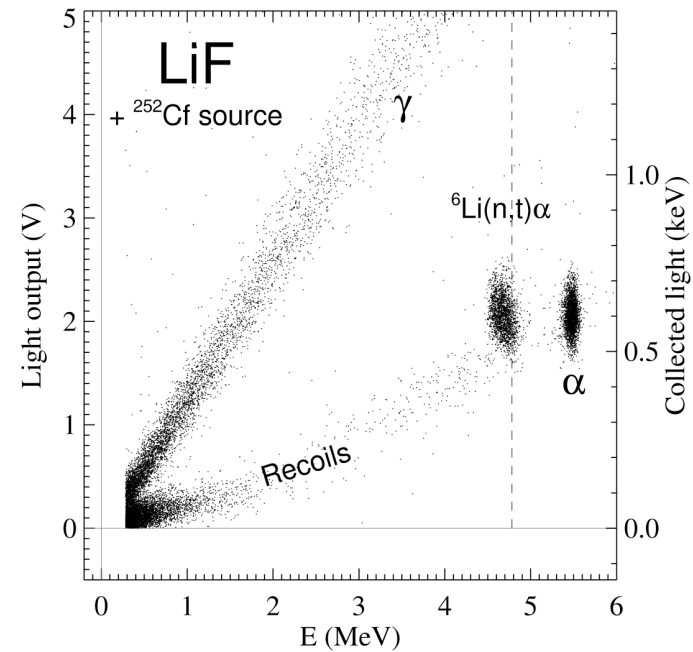
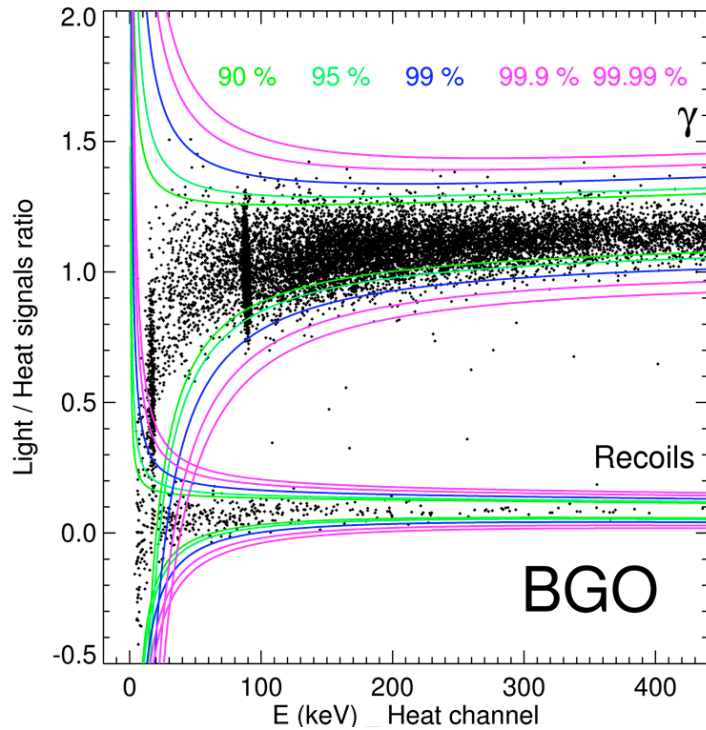
- Atteindre la région $\sim 5 \times 10^{-9}$ pb dans un court délai
- **Disposer d'un cross-check rapide et fiable dans l'hypothèse, par exemple, d'un signal dans XENON100**
- Préparation technique pour une possible phase 1-tonne

■ Spécifications :

- ~ 44 détecteurs « FID800 » : **28 kg fiduciels** (3000 kg.d / 6 mois)
- **Upgrades au sein de l'infrastructure EDW-II actuelle**
 - Câblage
 - Cryogénie
 - Acquisition
 - Blindage
- Upgrade et installation des détecteurs en automne 2011 : 3000 kg.d début 2012



R&D détecteurs chaleur-scintillation (IAS-Orsay)

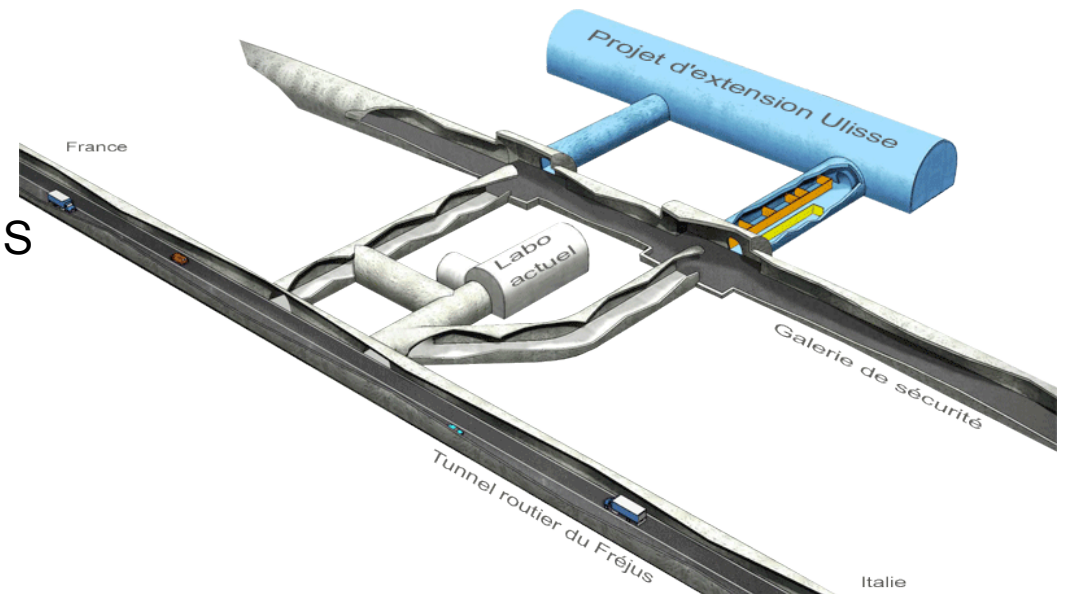
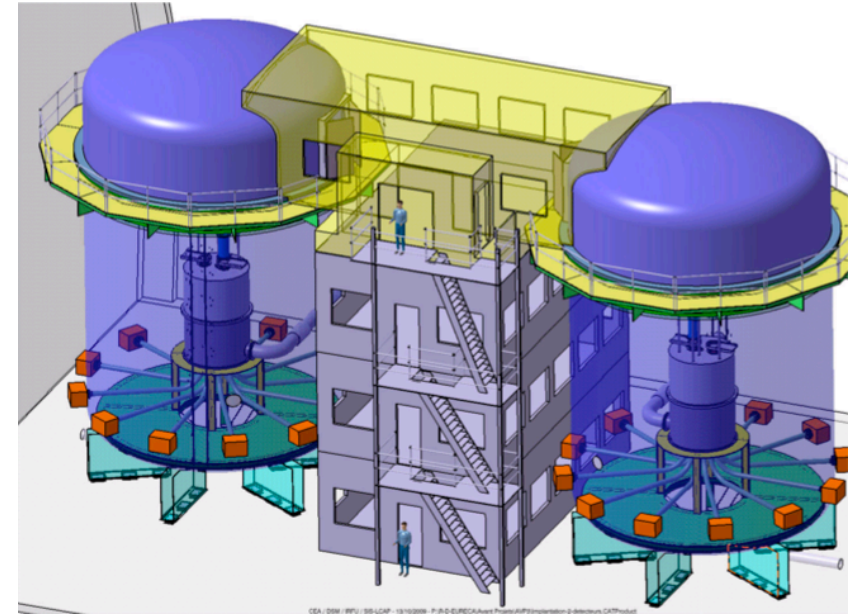


ROSEBUD, EURECA

- Choix de nombreux noyaux-cibles possibles
- Spin-dépendant
- Neutron monitoring

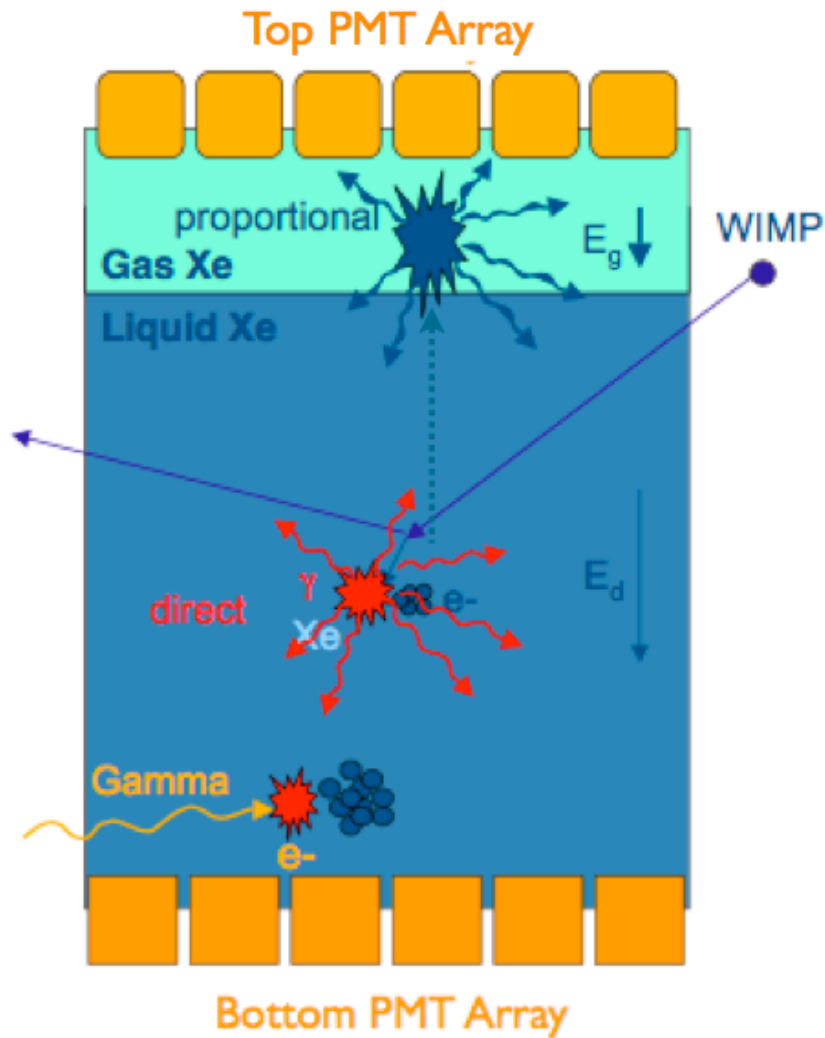
Expériences bolométriques « 1 tonne »

- EURECA :
 - au-delà de 10^{-9} pb, efforts majeurs pour le contrôle des bruits de fonds, le développement des détecteurs, la cryogénie
 - Effort commun EDELWEISS, CRESST, ROSEBUD + autres...
 - $\gg 100$ kg cryogénique, multi-cible
 - Site préféré : extension ULISSE de 60 000 m³ du LSM actuel
- Aux USA :
 - Similaire : GeoDM après SuperCDMS
 - Site = DUSEL
 - NB : liens transatlantiques existent (eg. un MoU commun)

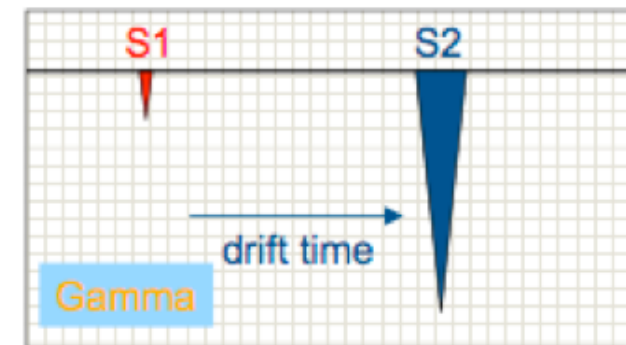
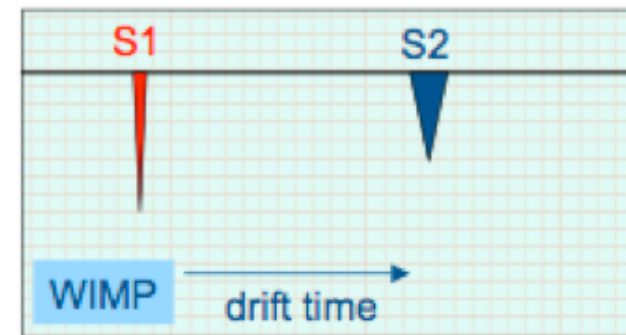


Le canal « gaz nobles »

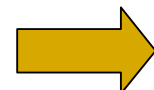
La TPC à gaz noble biphasé : exemple de Xenon10 (2005-2007)



« S1 » = lumière directe, scintillation
 « S2 » = lumière émise au passage des électrons à l'interface liquide/gaz, ionisation

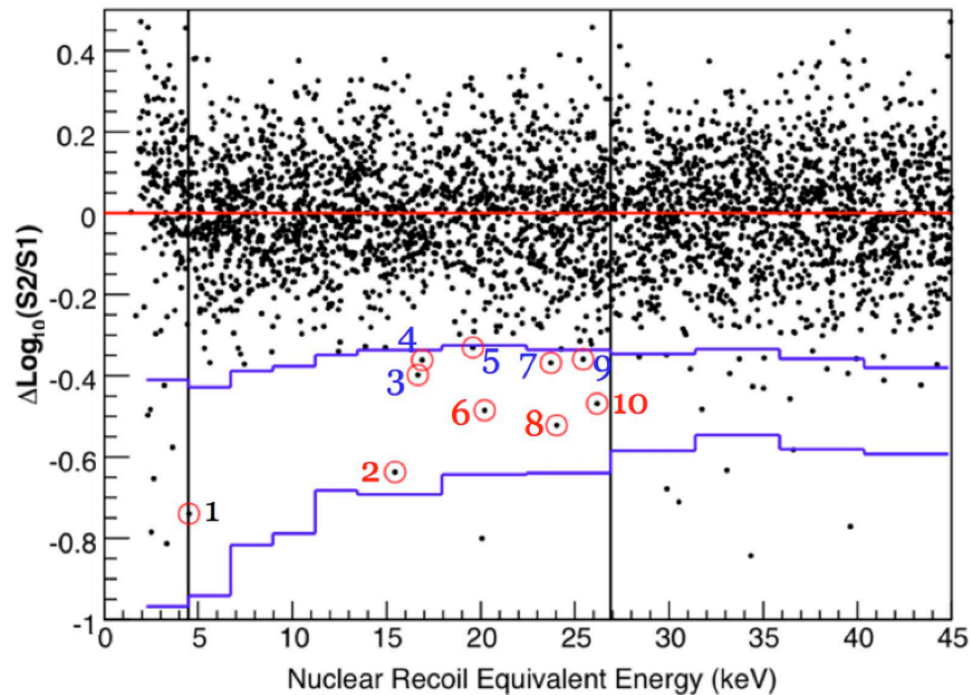


$$(S2/S1)_{wimp} \ll (S2/S1)_{gamma}$$



Discrimination recul nucléaire / électronique

Résultats de XENON 10



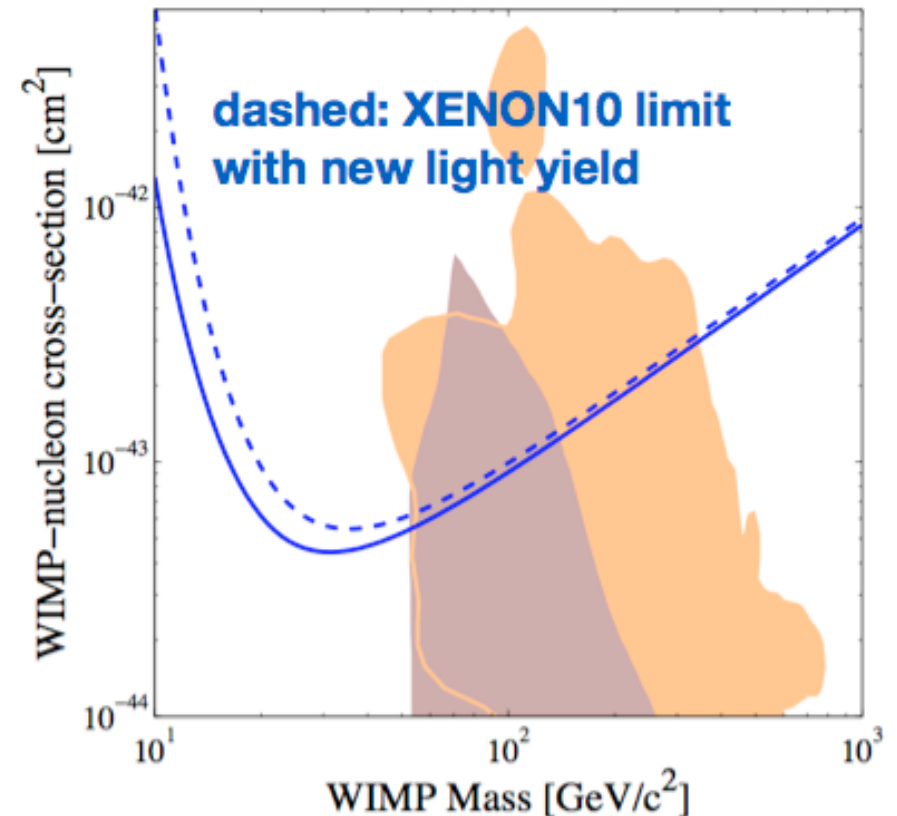
Presence de bruit de fond :

- « queue gaussienne »
- Événements anormaux

Hypothèse : interactions doubles dont une dans le volume mort du Xenon (sans S2)

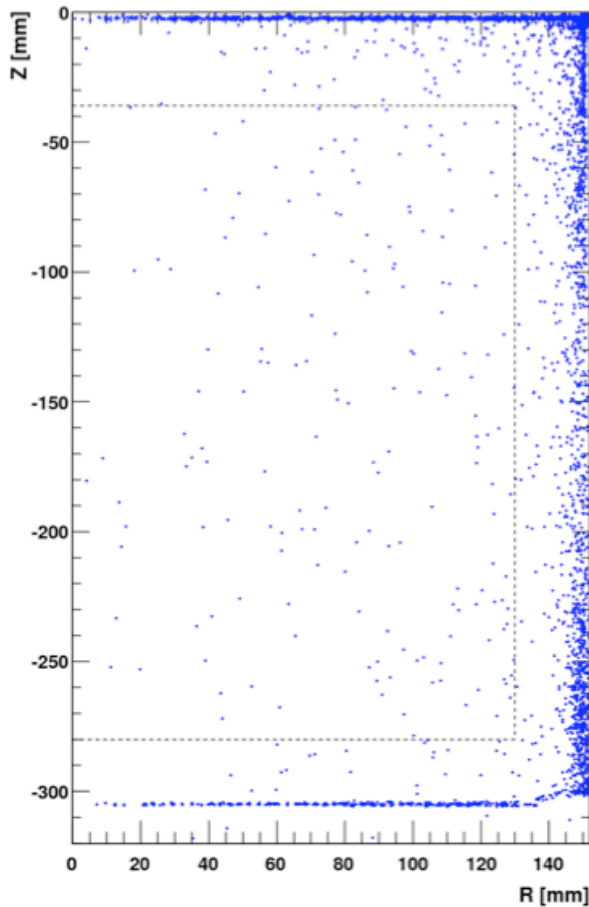
- *resultats arXiv:0706.0039*
- *description expérimentale arXiv:1001.2834*

- Fenêtre en énergie $4.5 < E_{\text{recoil}} < 27$ keV
- 136 kg.days = 58 jours
 - x 5.4 kg (volume fiduciel)
 - x 0.86 (diverses coupures)
 - x 0.5 (reculs nucléaires)

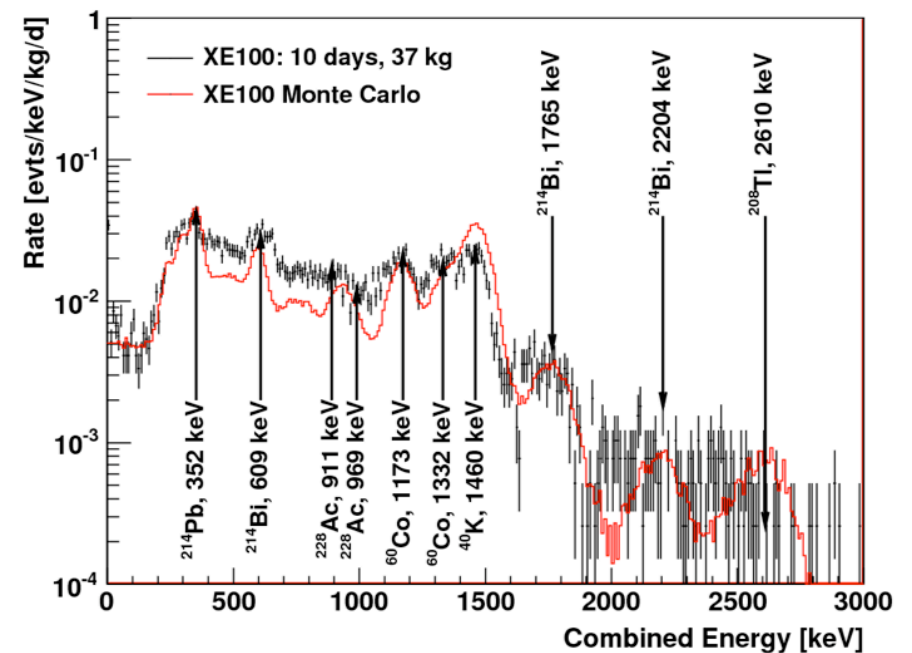
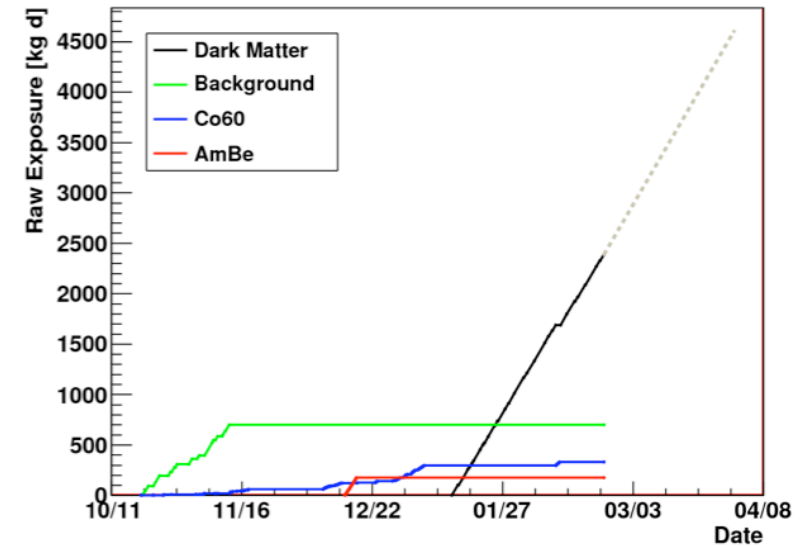
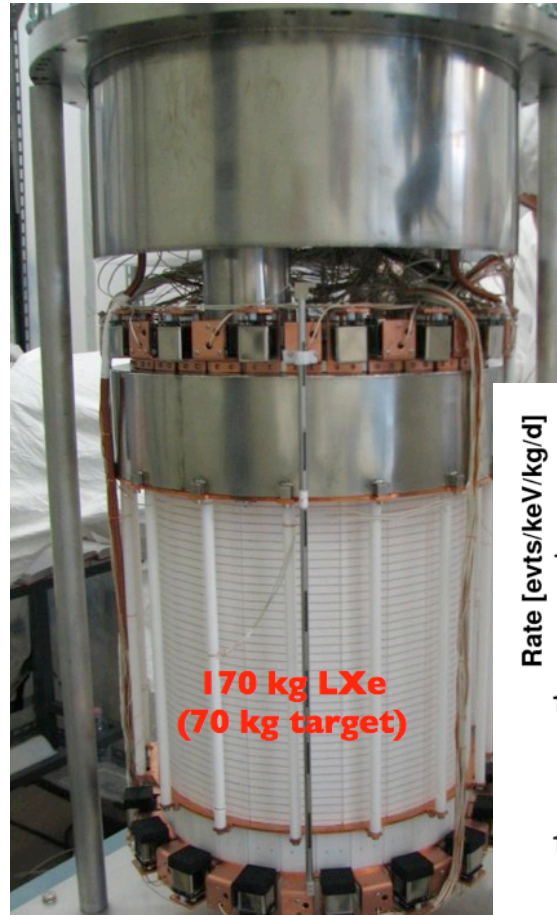


En fonctionnement : XENON 100 (2008-2010) [collab. inclut Subatech-Nantes]

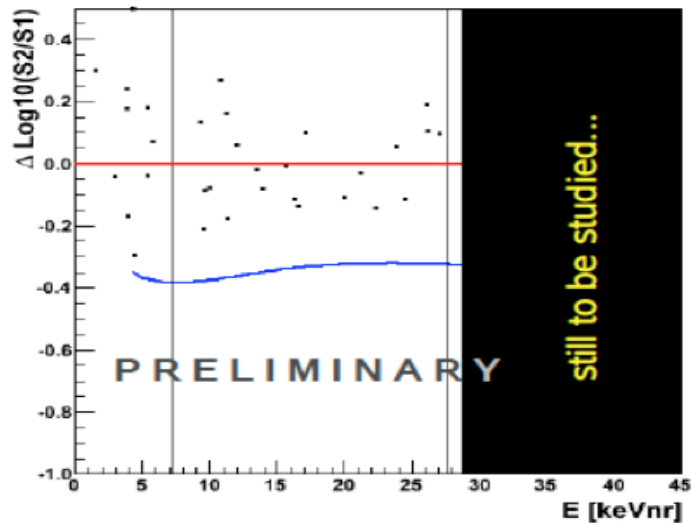
- Volume cible augmenté : 30 à 50 kg fiduciel
- Meilleure radiopureté (incl. PMTs)
- Blindages inférieur/latéral, équipés de PMTs veto



XENON100, 4-60 keVee
37 kg fiduciel, 10 d



XENON100 : 11 jours-équivalents de fond « unblinded »



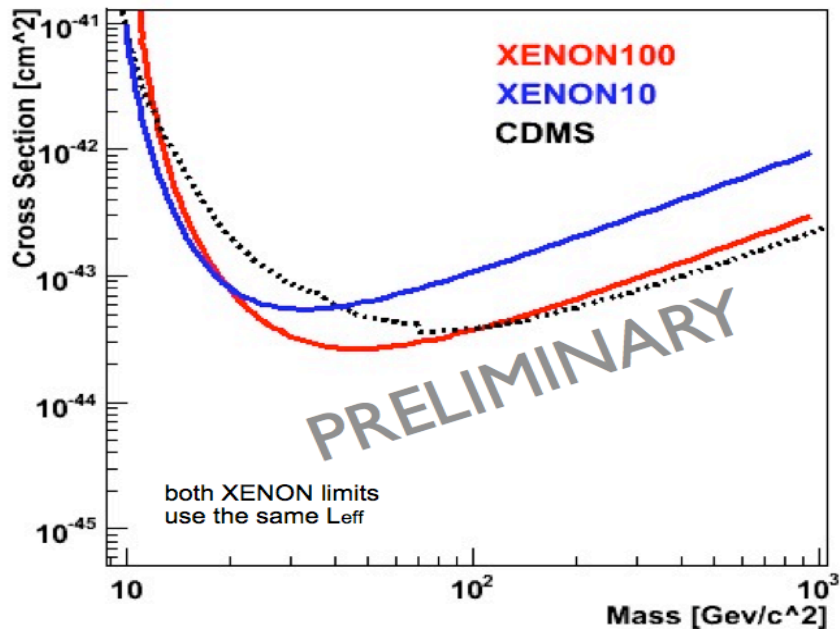
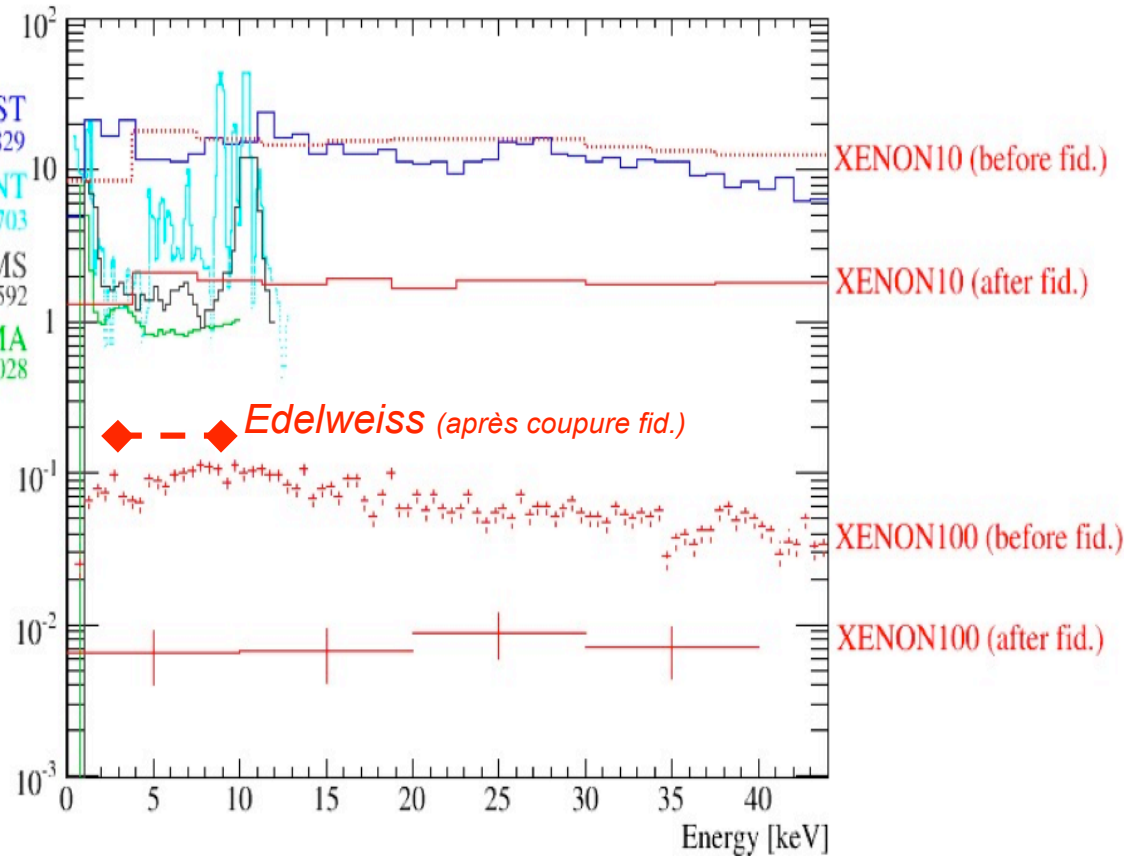
CRESST
arXiv:0809.1829

CoGeNT
arXiv:1002.4703

CDMS
arXiv:0912.3592

DAMA
arXiv:1002.1028

Rate [events/keV/kg/day]

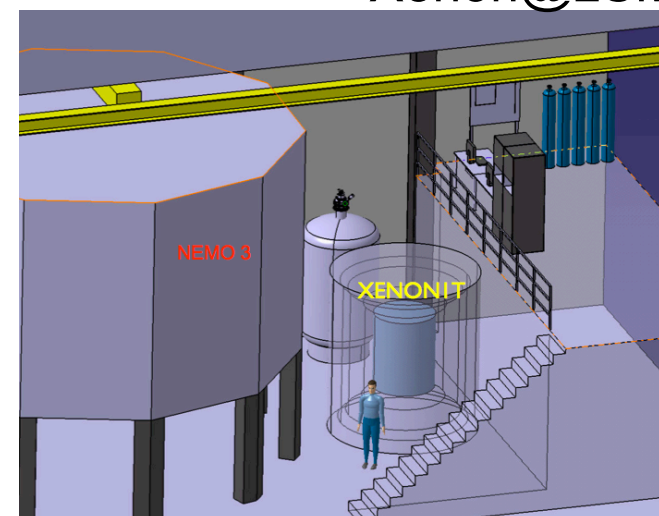


- Un bruit de fond gamma exceptionnel
- Résultats (très) attendus pour cet été

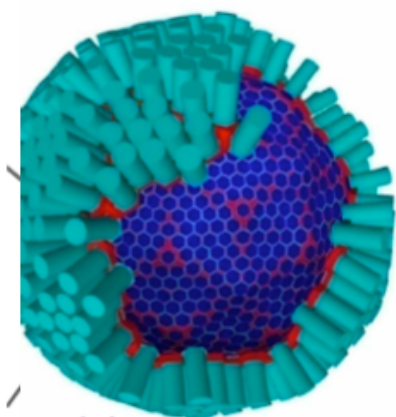
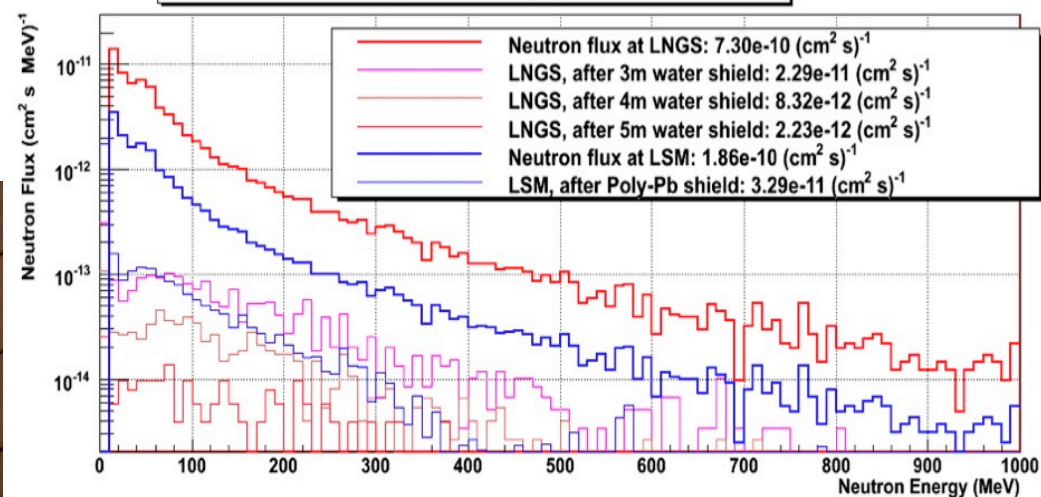
La suite : XENON-1T et autres

- À l'horizon 2015
- Site : LSM ou Gran Sasso
 - LSM plus profond : PE suffit
 - Gran Sasso : blindage eau
- Concurrent direct : LUX-ZEPLIN (US-UK ; entre Xe100 et Xe1T)
- Nombreux autres projets « lourds » en cours ou proposés :
 - Xenon ou Argon
 - A deux ou une seule phase (autoblindage)

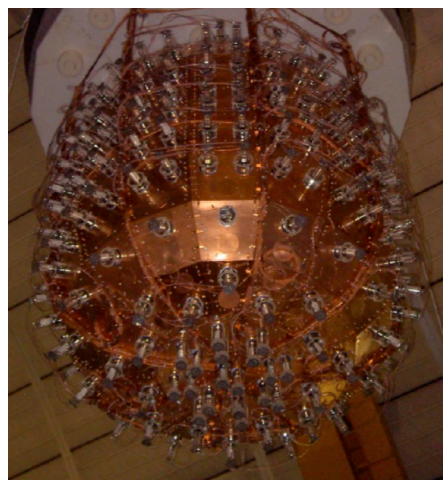
Xenon@LSM



Muon-induced neutrons in rock: at LNGS and LSM



XMASS

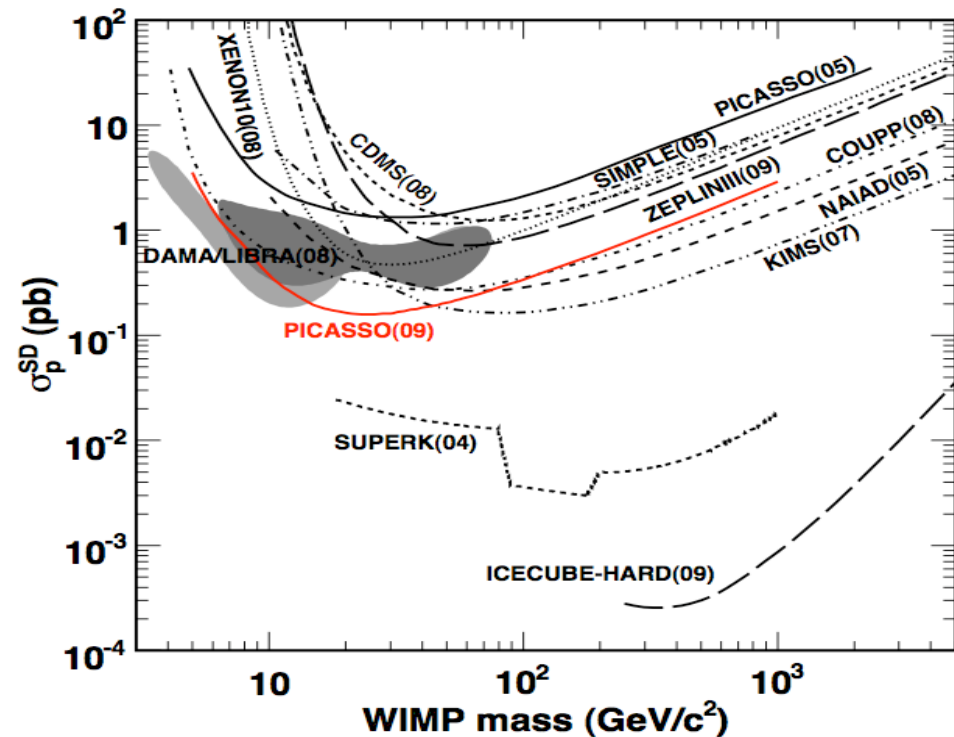
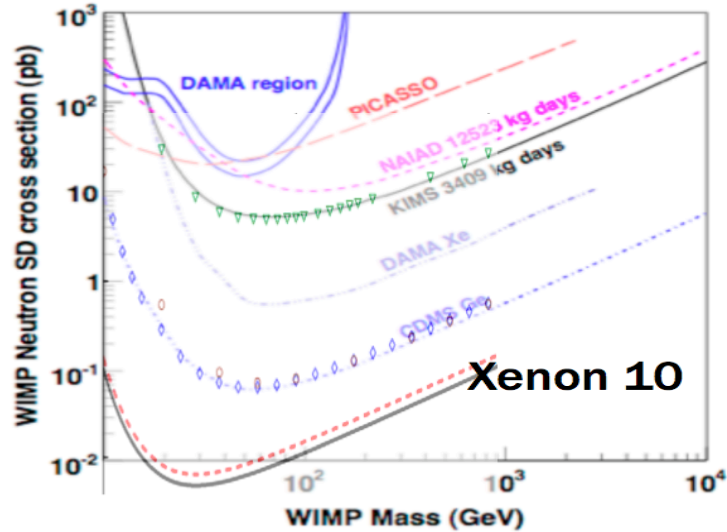


WARP

Canaux « complémentaires »

Section efficace spin-dépendante

Couplage au neutron : XENON 10

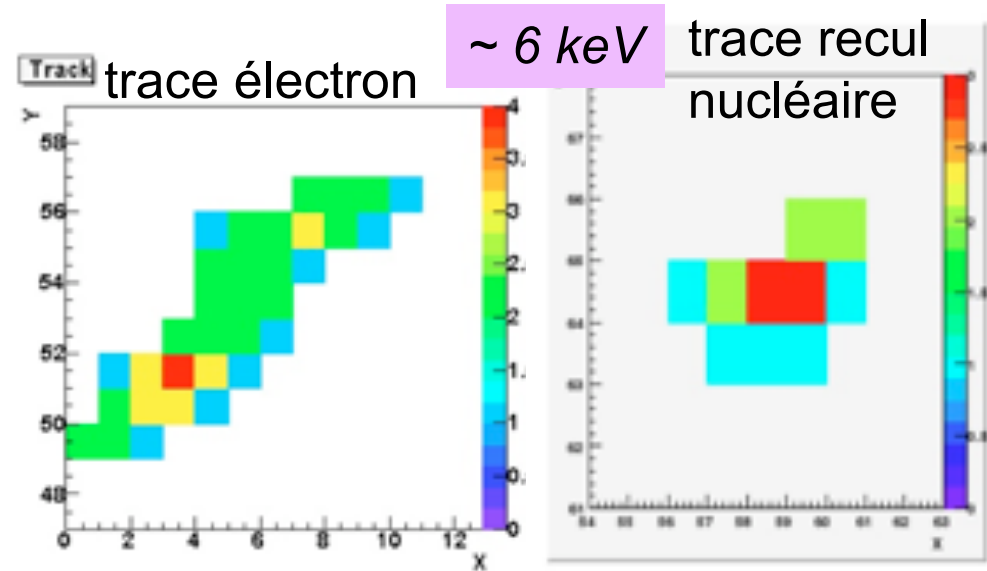
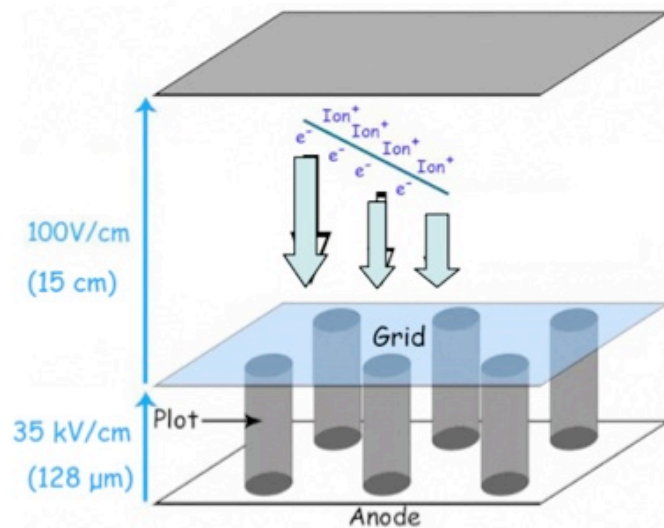
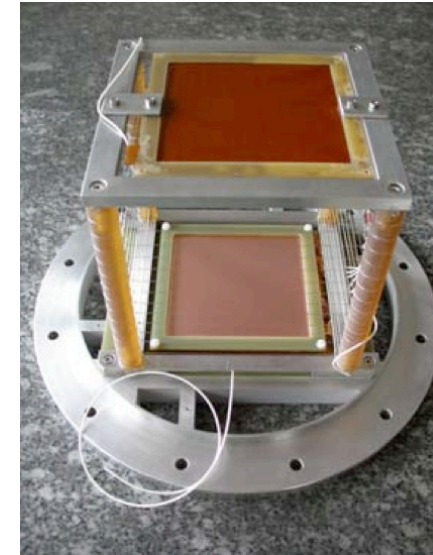


Couplage au proton :

- scintillateurs solides (KIMS)
- chambres à bulles (PICASSO vs COUPP)
- comparaison directe possible avec les limites neutrinos solaires VHE

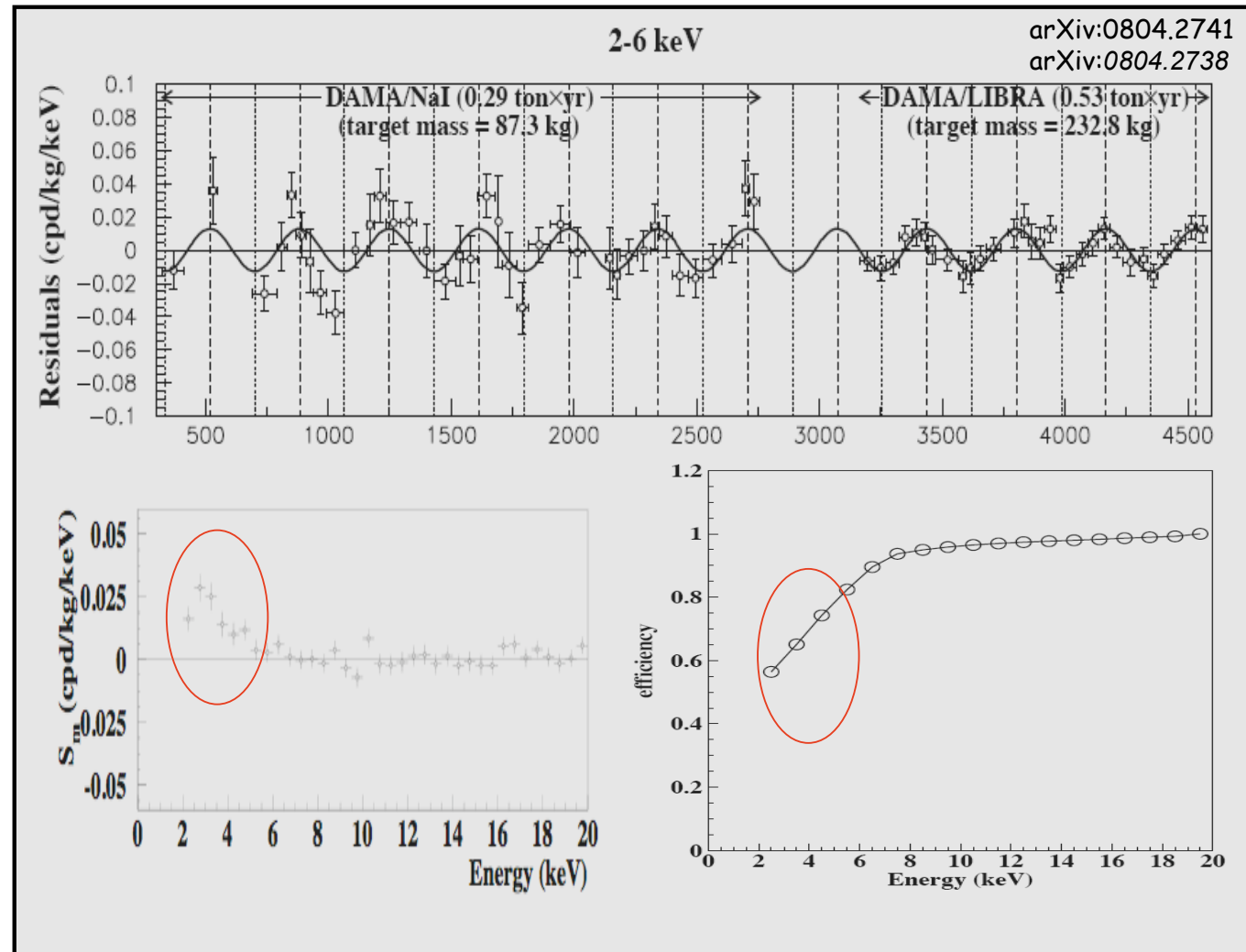
Directionnalité des reculs : recherche du « vent de WIMPs »

- Plusieurs groupes R&D dans le monde, activité en développement fort
- France : MIMAC = LPSC Grenoble + CEA/Irfu + IRSN
- Micro-TPCs
- Choix du gaz $^4\text{He} + \text{C}_4\text{H}_{10}$, 300-350 mb (... ^3He , CF_4)
- Techno. micromegas pour mesure trace + énergie (pixels 0.3mm largeur)



La modulation annuelle de DAMA/LIBRA

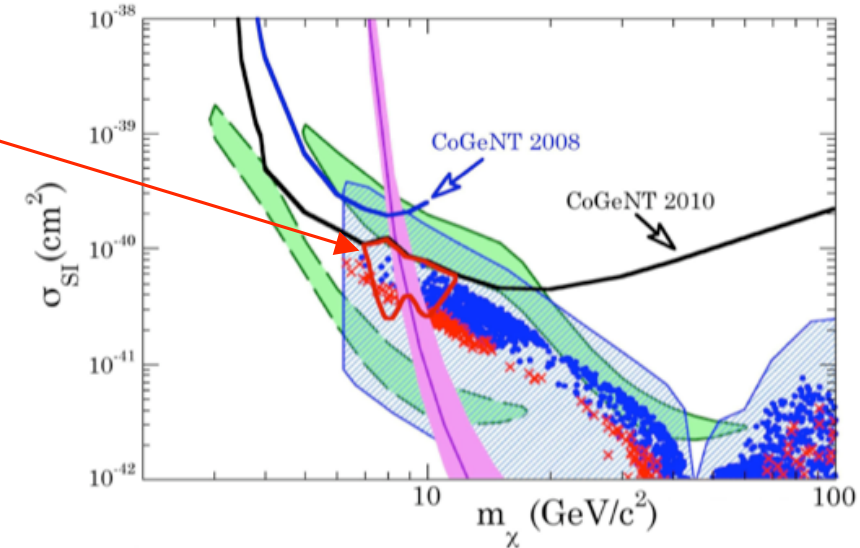
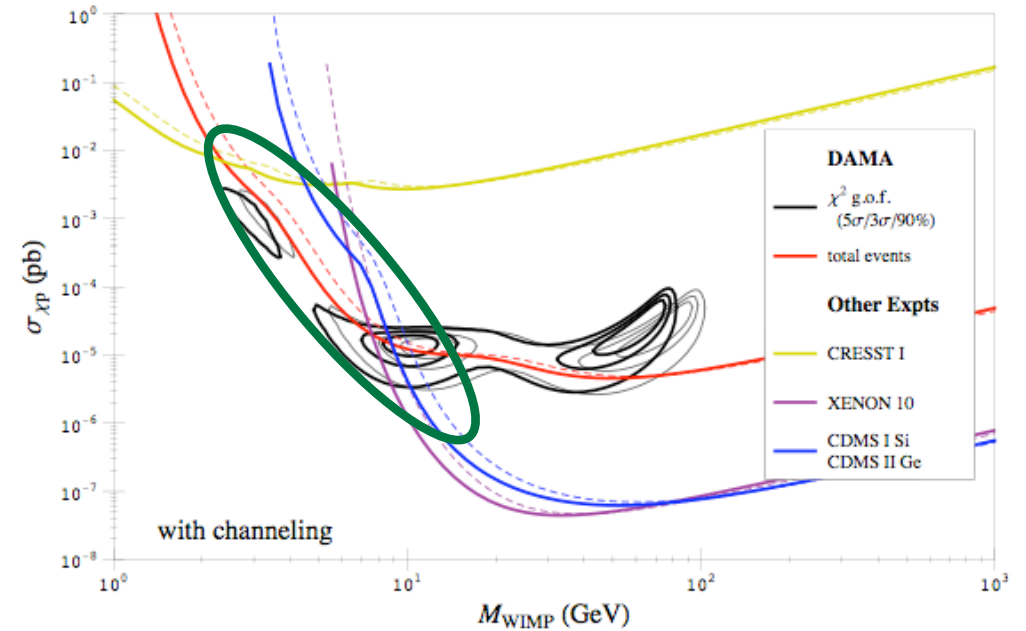
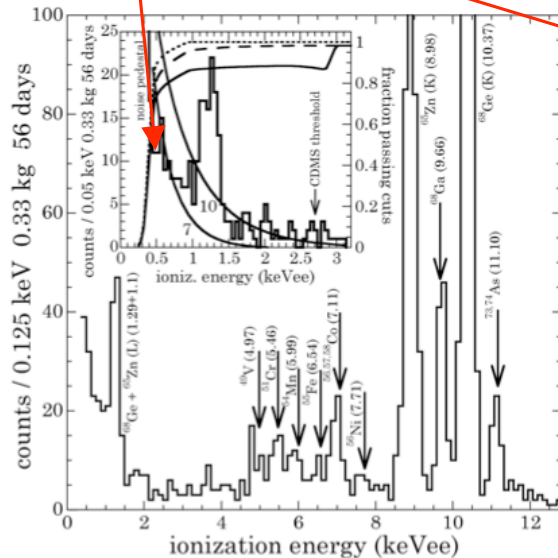
- Modulation du taux d'évts @ basse énergie à 8σ
- Phase correcte (début juin)
- Modulation observée seulement dans les *singles*
- Tout le signal modulé est vers 3keV:
 - pic du K
 - seuil d'acceptance



➔ Résultat difficile à contrôler du point de vue des systématiques
En attente de résultats de KIMS (CsI)

DAMA : La fenêtre « basse masse »

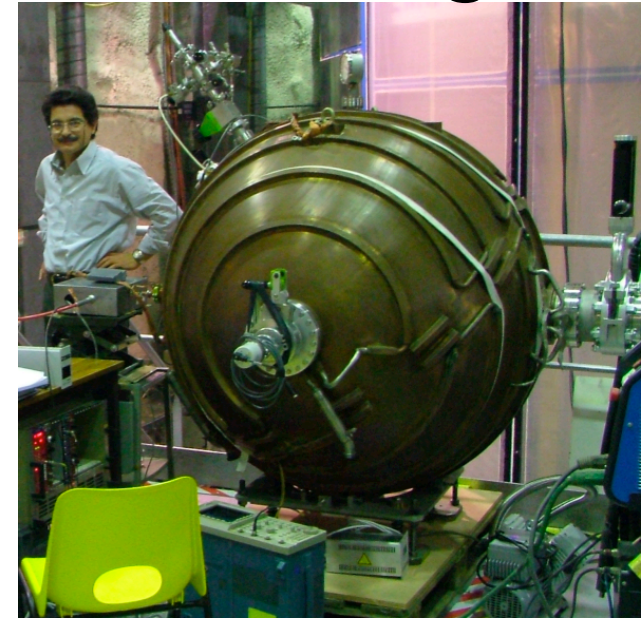
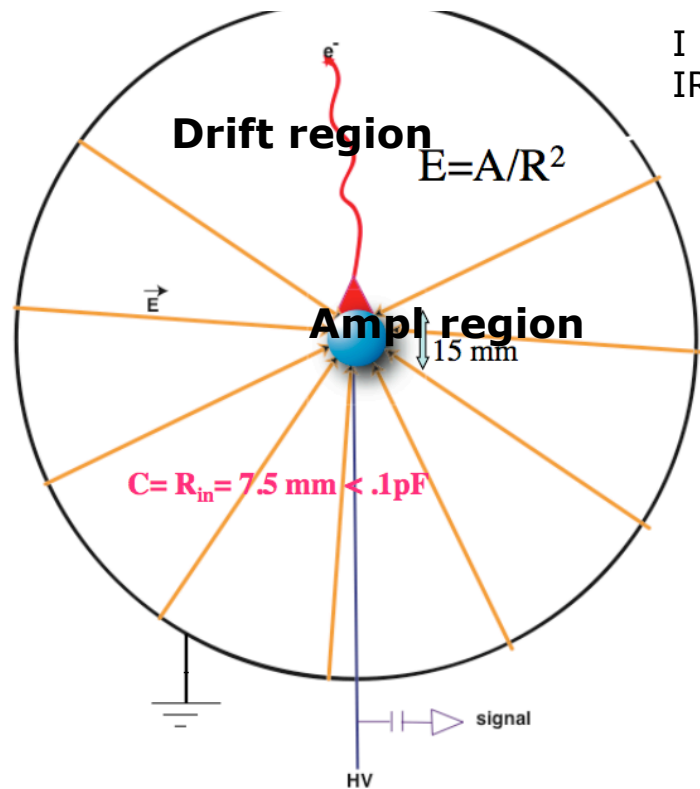
- Domaine de reculs nucléaires où DAMA est ~ compatible avec les autres expériences
- Nécessite excellent seuil mais faible masse suffisante (section efficace élevée)
- Résultats CoGeNT :
 - Détecteurs ionisation Germanium
 - Résolution optimisée
 - Une « queue de distribution du bruit » inexpliquée



➔ Test possible par EDW / CDMS ?

Exemple R&D : chambre proportionnelle sphérique

@ LSM



- Bas seuil (bas C) : 30 eV (CoGeNT = 500 eV)
- Sélection fiducielle (risetime)
- Flexible (P, gaz), robuste, simple..

Applications possibles :

- Haute énergie : neutrons thermiques, spectro neutrons rapides...
- Basse énergie : diffusion cohérente neutrinos
- **Basse énergie : WIMPs de basse masse ?**
(nécessite bas taux de comptage + discrimination des reculs nucléaires)

Détection directe de matière noire : perspectives

- **Progrès sensibilité > facteur 100 en 10 ans**
 - Certains modèles déjà exclus (eg. neutrino lourd, sneutrino...)
 - Nous explorons maintenant le coeur des modèles cMSSM
 - Beaucoup de modèles nécessitent des sensibilités $< 10^{-10}$ pb : SUSY, B(1)...
- **Une large gamme d'activités R&D reste vitale pour la détection directe**
 - Présence française (Mimac etc...)
- **Futur proche : des expériences « lourdes » (tonne)**
 - Nécessite technologies rodées
 - Gaz nobles (Xe vs Ar) vs bolomètres ?
 - Présence française forte dans les bolomètres

