



Détection Directe de la Matière Noire avec l'expérience EDELWEISS

Véronique SANGLARD
CNRS/IN2P3/IPNL et UCBL
sanglard@ipnl.in2p3.fr
<http://edelweiss.in2p3.fr>



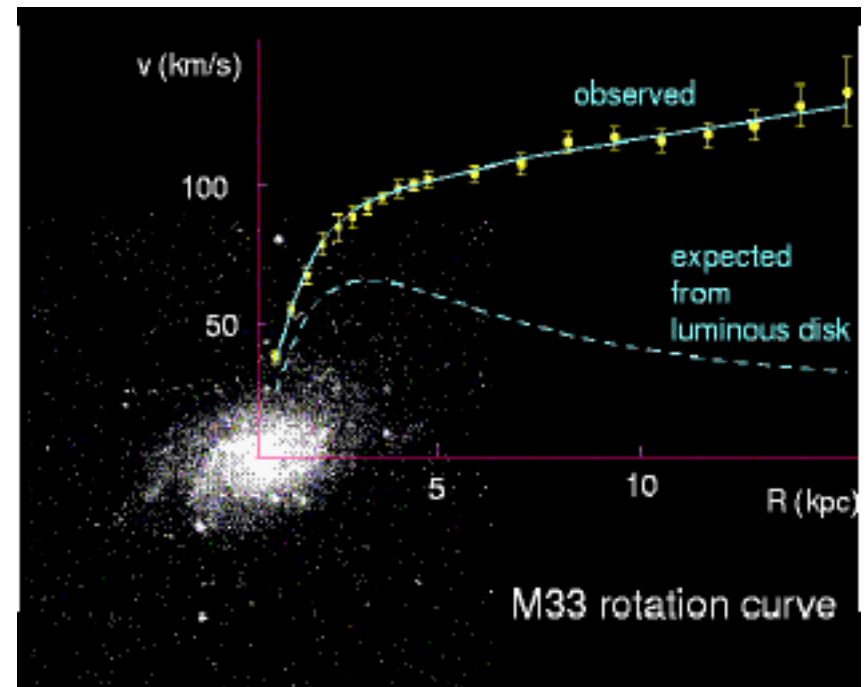


Plan

- La détection directe de la matière noire
- L'expérience EDELWEISS
- Les derniers résultats
 - Les données en "trigger" ionisation
 - Les données en "trigger" phonon
 - Confirmation inattendue du pouvoir de discrimination des détecteurs
- Conclusion et perspectives

La matière noire : à l'échelle des galaxies

- Existence d'un **halo de matière noire** autour des galaxies
- Étude des courbes de rotation des galaxies
 - V devrait varier en $1/r$ loin du centre
 - Mais reste constante
- Paramètres du halo
 - $V_{\text{rms}} \approx 270 \text{ km/s}$
 - $\rho_0 \approx 0.3 \text{ GeV/cm}^3$





La matière noire : à l'échelle de l'univers

- Les derniers résultats du satellite WMAP (étude du CMB) montrent :
 - $\Omega_0 \approx 1.02$ Univers plat
 - $\Omega_M \approx 0.28$
 - $\Omega_B \approx 0.04$ Existe matière non-baryonique
 - $\Omega_{DM} \approx 0.27$ La matière noire domine
- Mais sous quelle forme se présente cette matière noire ?
 - Matière noire baryonique (ordinaire)
 - Matière noire non-baryonique

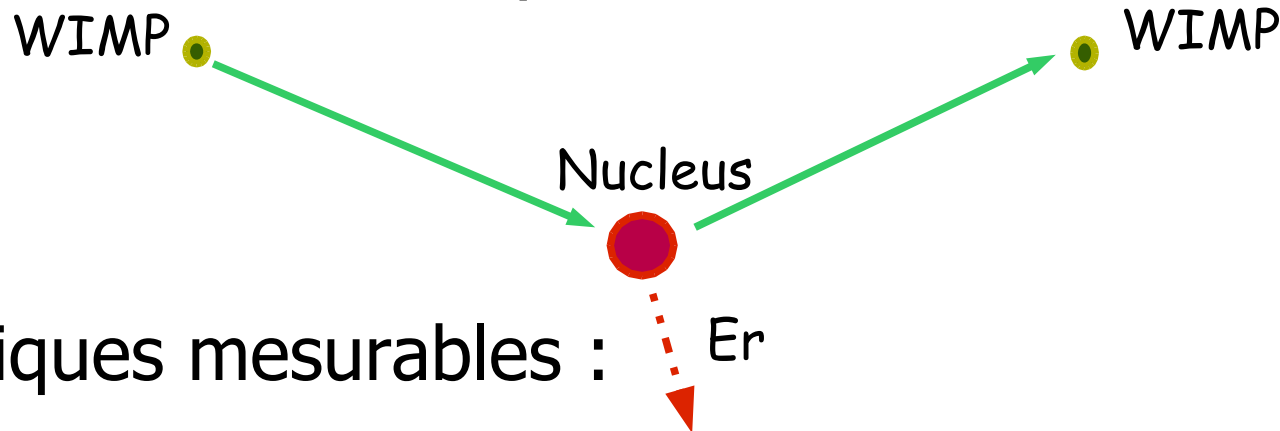


La matière noire non-baryonique: les candidats

- HDM (neutrinos) : $\Omega_\nu < 0.015$
- CDM ($\Omega_{\text{CDM}} \approx 0.22$) : **WIMPs** (Weakly Interactive Massive Particles)
 - Meilleur candidat à ce jour
 - Candidat naturel de la supersymétrie :
 - Le neutralino (SUSY LSP)
 - Masse entre 40 GeV et 1 TeV et $\sigma_{W-n} < 10^{-6}$ pb

La détection directe

- Détection d'un recul nucléaire dû à la diffusion élastique d'un WIMP sur un noyau de la cible



- Quantités physiques mesurables :
 - Chaleur
 - Ionisation
 - Lumière } Selon le type de détecteur
- Faible énergie de recul (pour le Ge $E_{rec} < 50$ keV)

La détection directe :

les signatures du WIMP

- Recul nucléaire (contrairement au BdF qui crée majoritairement des reculs électroniques)
- Forme du spectre en énergie de recul (exponentielle)
- Absence d'interactions multiples
- $\sigma_A \approx A^2$ (pour les interactions SI)
- Directionnalité
- Modulation annuelle du taux d'évts

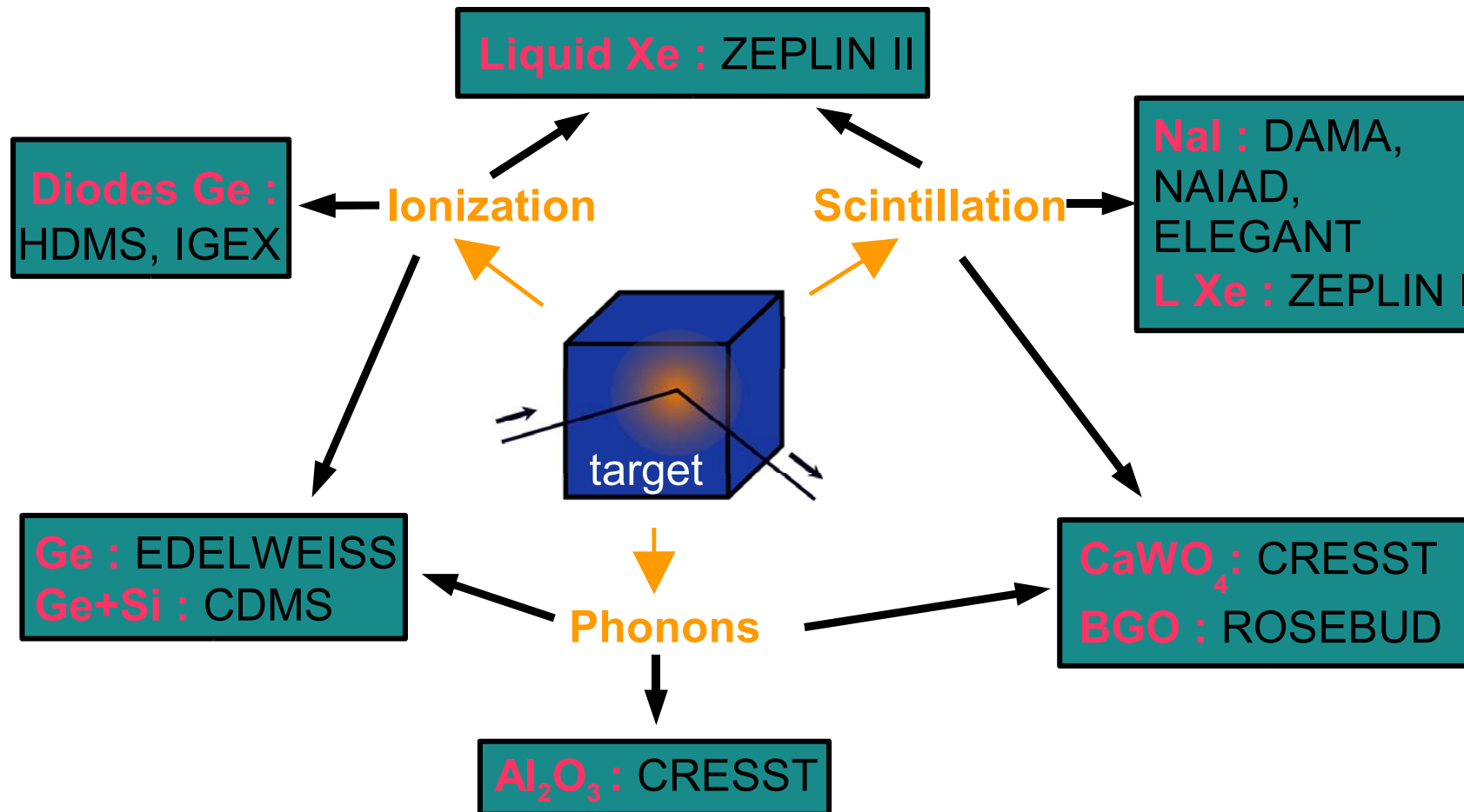


La détection directe : les contraintes de détection

- Faible taux d'interaction (< 1 evt/kg/j Ge)
 - Nécessité d'un faible bruit de fond
 - Nécessité d'une grande masse de détecteur

- Énergie de recul déposée faible
 - Nécessité d'un faible seuil de détection

La détection directe : les différents types de détection



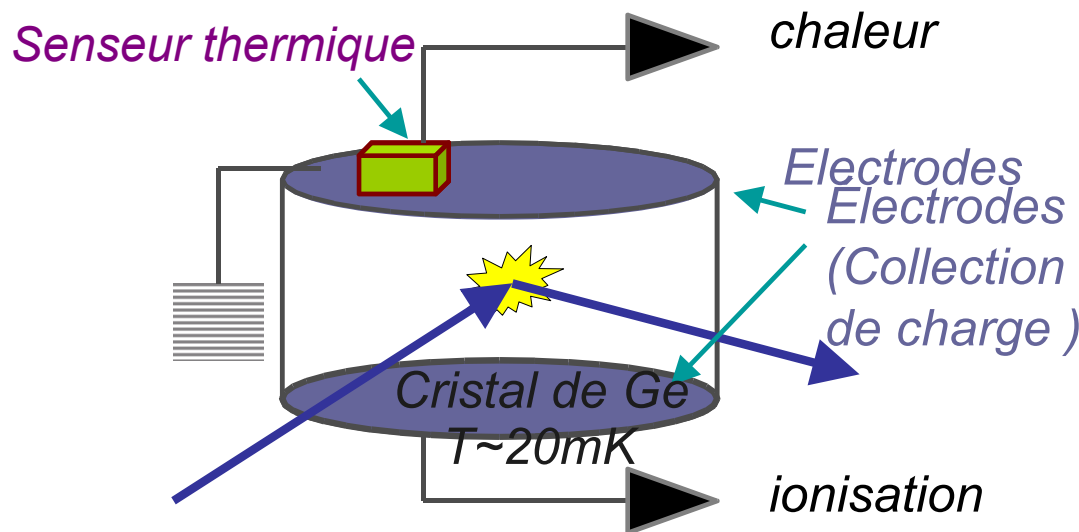


L'expérience EDELWEISS

- Expérience pour Détecter les WIMPs en Site Souterrain
- Regroupe laboratoires du CEA/CNRS et Karlsruhe (Allemagne)
- Basée au Laboratoire Souterrain de Modane sous 1700m de roches pour une protection contre les rayons cosmiques
- Détecteurs utilisés : 3 bolomètres à double composante ionisation-chaleur de 320g (cristal de Ge)
- Bolomètres placés dans un cryostat à dilution

L'expérience EDELWEISS : les bolomètres ionisation-chaaleur

- Mesure de la chaleur
 - Détecteur cryogénique + thermistance : $\Delta T = \Delta E/C$
 - $T \approx 20$ mK
- Mesure de l'ionisation
 - Ge semi-conducteur
 - Collecte des charges créées lors de l'interaction d'une particule par 2 électrodes
- Mesure simultanée de ces 2 paramètres
 - Discrimination événement par événement (rejet actif du bruit de fond)



La discrimination neutrons-gammas

■ Sur une calibration ^{252}Cf

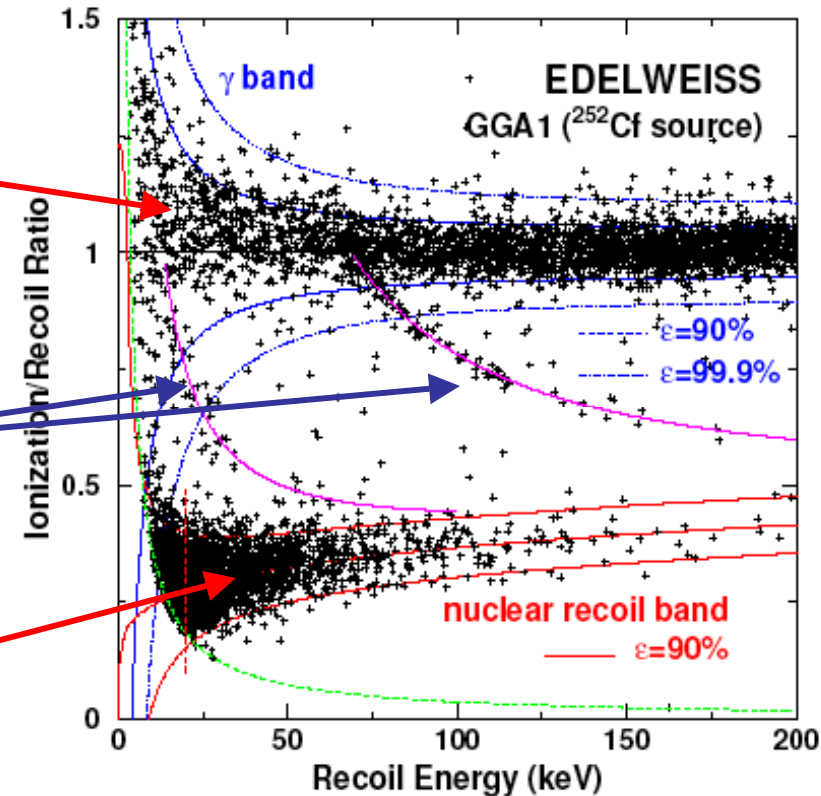
- Reculs électroniques (dus aux gammas)

avec $\frac{E_i}{E_r} = 1$ (par construction)

- Interactions inélastiques sur ^{73}Ge ($n, n' \gamma$)

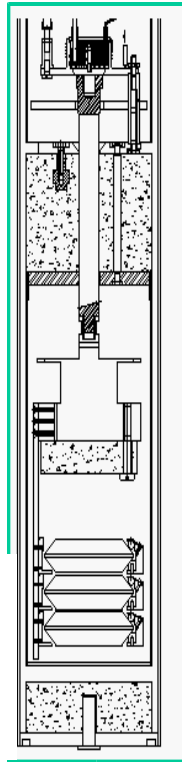
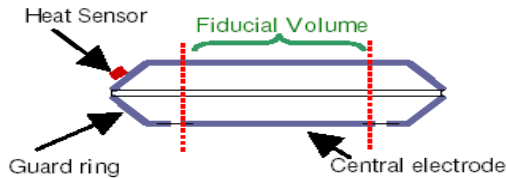
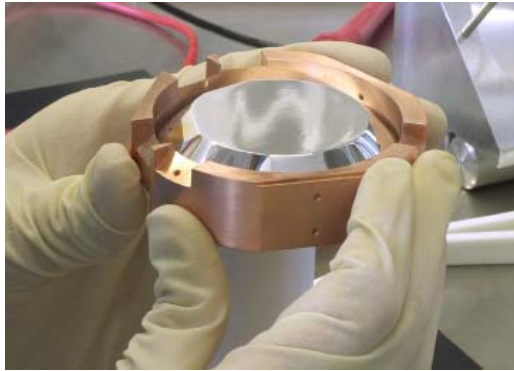
- Reculs nucléaires (dus aux neutrons, WIMPs)

avec $\frac{E_i}{E_r} \approx 0.3$



EDELWEISS I : étape 1 kg

Un détecteur



Cryostat à dilution
Bas bruit de fond
T de base 17 mK

Blindage de Pb
archéologique

Détecteurs
3x320g

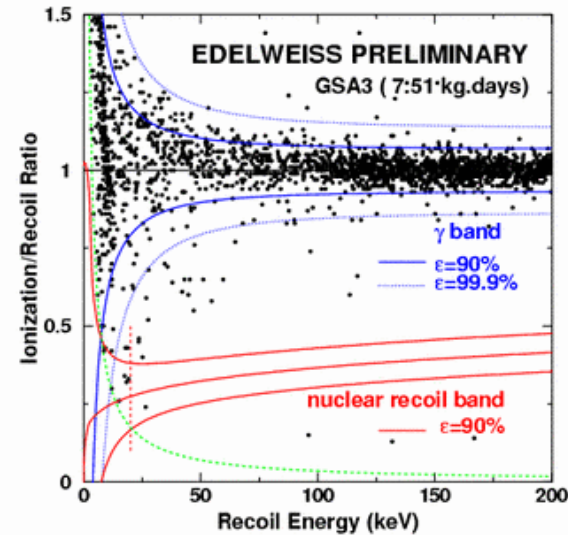




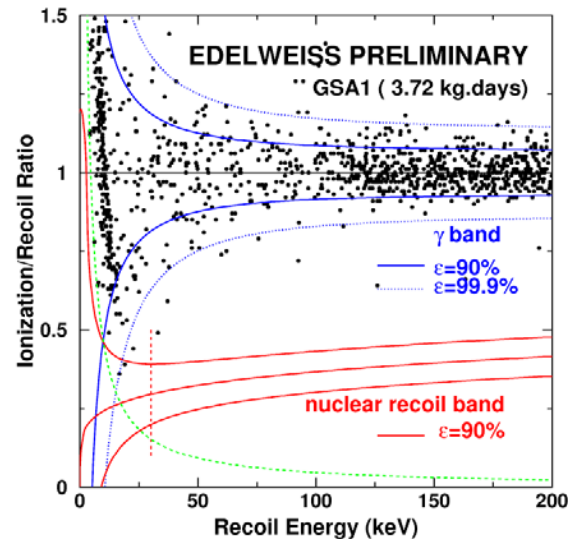
Les derniers résultats

- Les 3 détecteurs ont fourni des données
- Addition de 20 kg.j d'exposition sur le volume fiduciel (par rapport à 2002)
 - 13.8 kg.j @ $E_{\text{rec}} > 20$ keV
 - 30.5 kg.j @ $E_{\text{rec}} > 30$ keV
- 3 evts compatibles avec des reculs nucléaires
 - 1 evt @ $E_{\text{rec}} \approx 200$ keV
 - Les 2 autres vont servir à établir la limite supérieure sur la section efficace d'interaction WIMP-nucléon

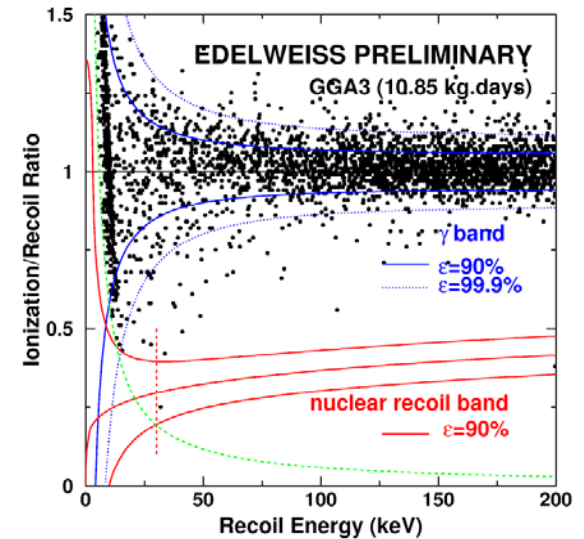
Les données des 3 détecteurs



- Exposition 7.51 kg.j
- Seuil en énergie de recul : 20 keV



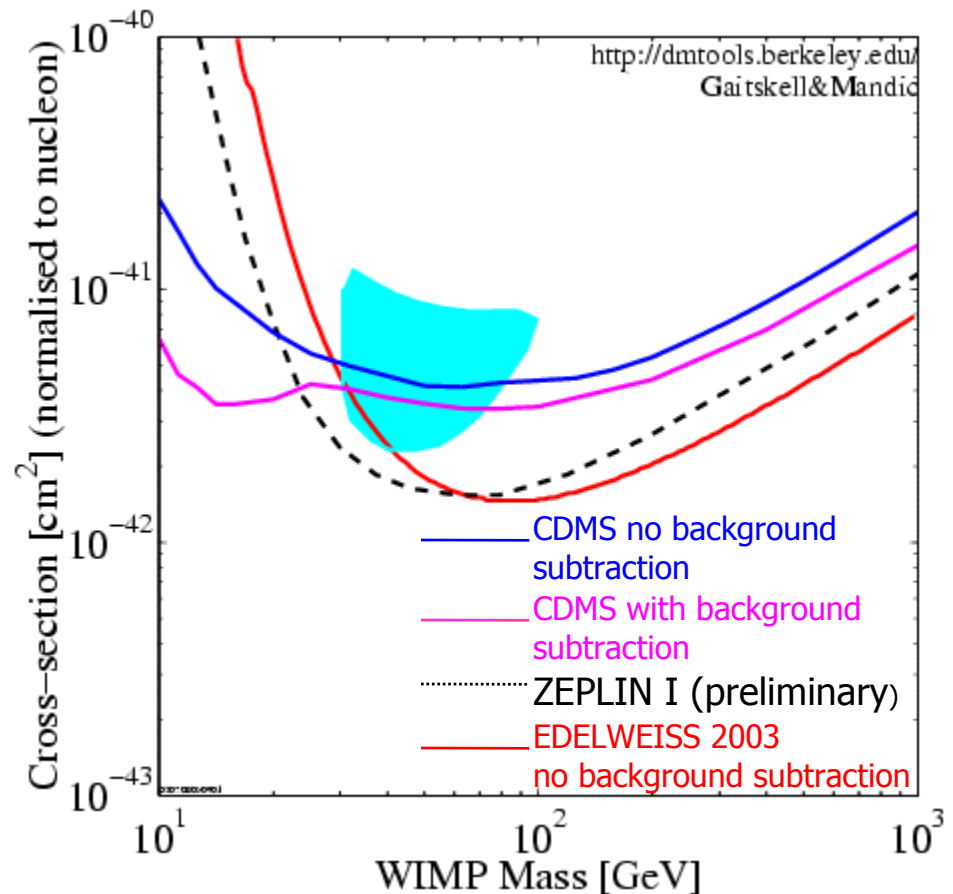
- Exposition 3.72 kg.j
- Seuil en énergie de recul : 30 keV



- Exposition 10.85 kg.j
- Seuil en énergie de recul : 30 keV

Courbe d'exclusion actuelle

- Pas de soustraction du bruit de fond
- Meilleure limite actuelle
- Résultat incompatible à plus de 99.8 % avec le candidat de DAMA ($M_{\text{WIMP}}=44 \text{ GeV}$)
- σ_{∞} taux evt $\times m_{\text{WIMP}}$





Amélioration du seuil de détection

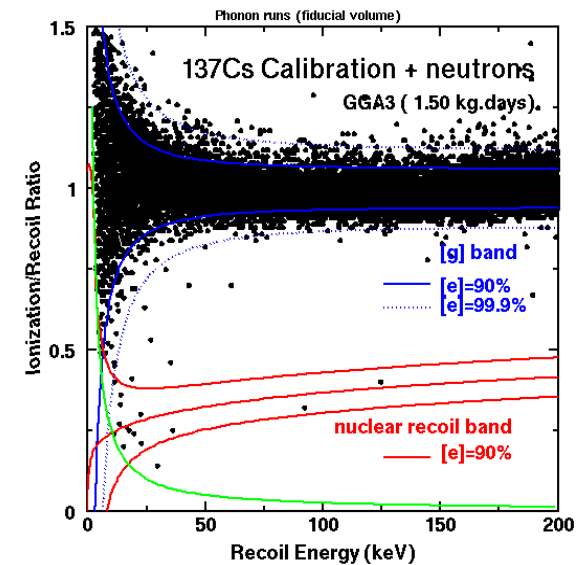
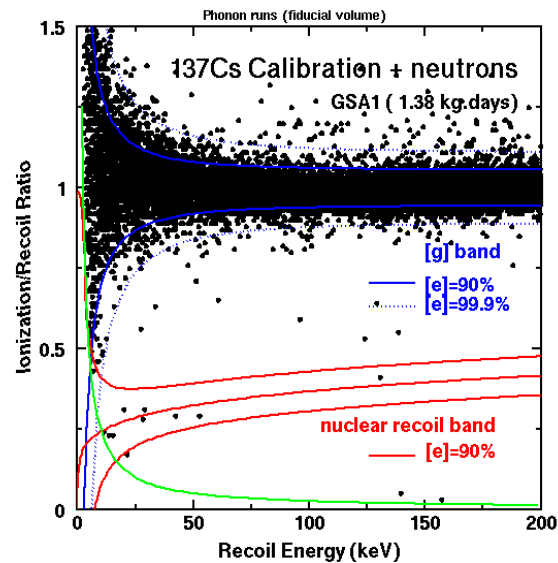
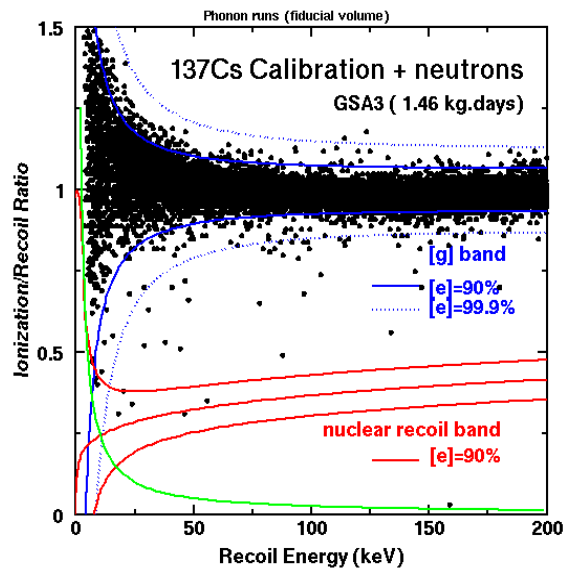
- But : améliorer l'efficacité de détection à basse énergie
- Méthode :
 - Maintenant, déclenchement par la voie phonon
 - Avant, déclenchement par la voie ionisation
- 100% d'efficacité à
 - 10 keV recul pour 2 détecteurs (avant 30 keV)
 - 15 keV recul pour le 3^{ème} (avant 20 keV)
- Analyse en cours (avant publication)
- Bruit de fond neutron observé
- Sensibilité similaire aux données précédentes



Confirmation inattendue du pouvoir de discrimination des bolomètres

- Calibration ^{137}Cs (beaucoup de stat. $\sim 10^5$ evts)
 - Vérification de la qualité de la collecte de charge
 - Correspondant à ~ 2 ans de données bas bruit (en gammas)
- En une semaine de données, observation de
 - ~ 10 evts compatibles avec des reculs nucléaires
 - ~ 26 evts après 2 semaines
- Observation de coïncidences entre détecteurs

Données ^{137}Cs : les 3 détecteurs



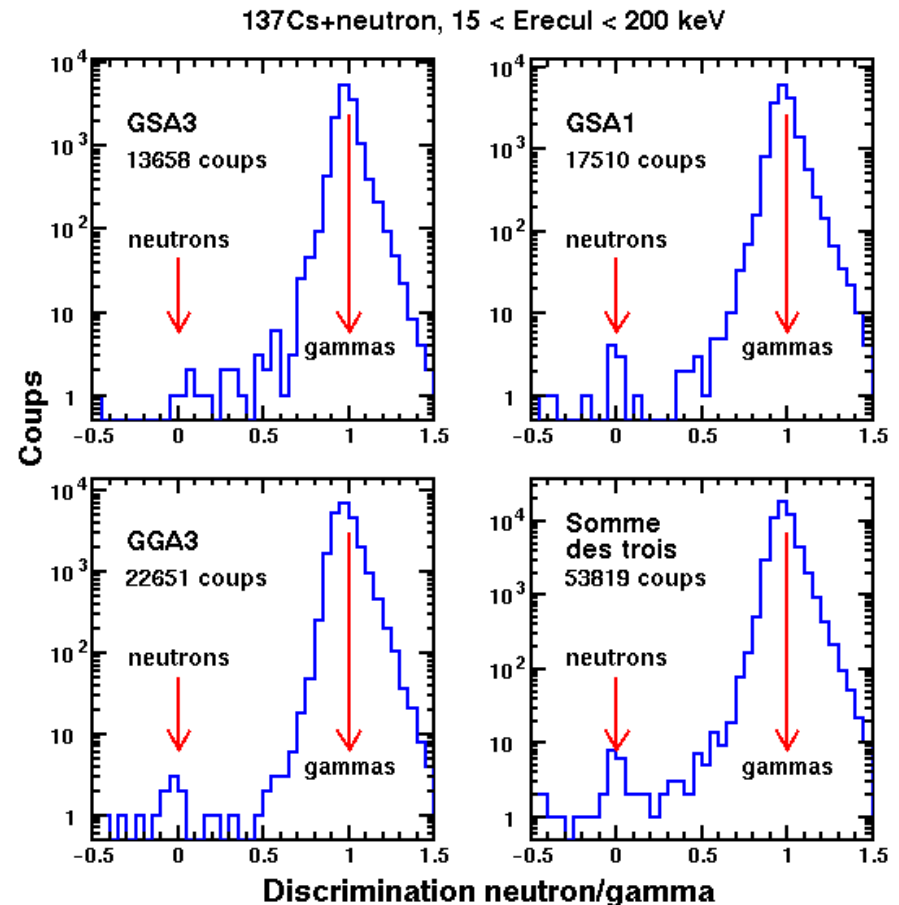
- Détecteur du haut
- 5 evts dans la zone de reculs nucléaires dont 1 coïncidence

- Détecteur du milieu
- 9 evts dans la zone de reculs nucléaires dont 2 coïncidences

- Détecteur du bas
- 12 evts dans la zone de reculs nucléaires dont 1 coïncidence
- Détecteur le plus proche de la source de contamination

Données ^{137}Cs : somme des 3 détecteurs

- 26 évènements dans la zone de reculs nucléaires
- Plus de 50 000 evts au total avec $E_{\text{rec}} < 200$ keV



Confirmation inattendue du pouvoir de discrimination : conclusion

- Que sont ces événements ?
 - Compatibles avec des reculs nucléaires
 - Coïncidences entre détecteurs
 - Sûrement des neutrons issus d'une contamination au ^{252}Cf
 - Confirmation grâce aux mesures faites sur le porte-source avec une expérience basse radioactivité
- ➔ Edelweiss est sensible aux faibles taux de reculs nucléaires



Conclusion

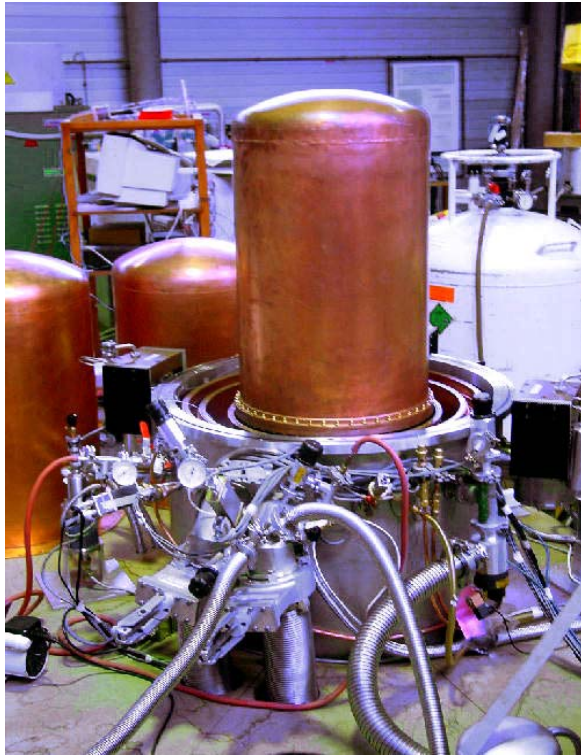
- Les données 2003 confirment la courbe d'exclusion publiée en 2002
Phys. Let. B 545 (2002) 43
- L'analyse des données avec déclenchement par la voie phonon est en cours mais très délicate
- Une contamination fortuite nous a permis de montrer que nos détecteurs sont capable de discriminer de faibles taux de reculs nucléaires



Perspectives

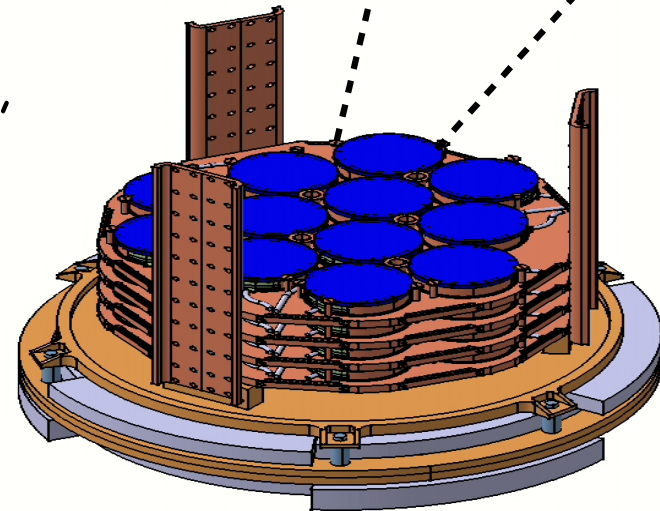
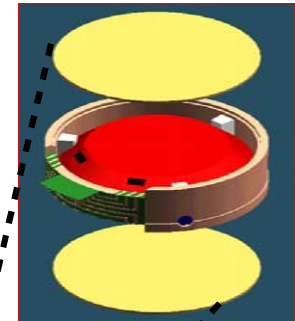
- Edelweiss I
 - Différents tests durant automne-hiver 2003
 - Arrêt prévu en février 2004
- Edelweiss II
 - But : améliorer d'un facteur 100 la sensibilité de l'expérience
 - Début de l'installation en juillet 2004
 - Début des prises de données au 2^{ème} semestre 2005 avec 28 bolomètres en Ge de 320g et 7 avec film mince NbSi

Edelweiss II



- 21 x 320g (7 kg) approved could be brought up to 120 detectors (40 kg) in a later stage

- Close packing, hexagonal arrangement



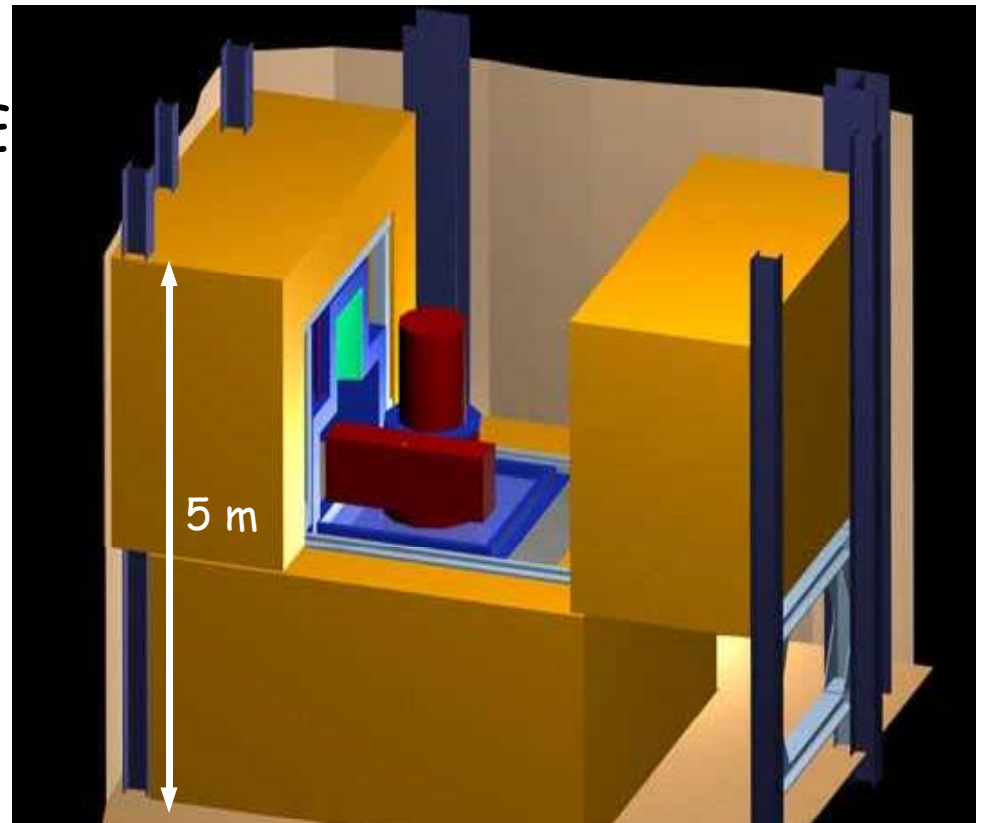
- Innovative reversed cryostat
- 10 mK base temperature

Edelweiss II : blindages + vétos

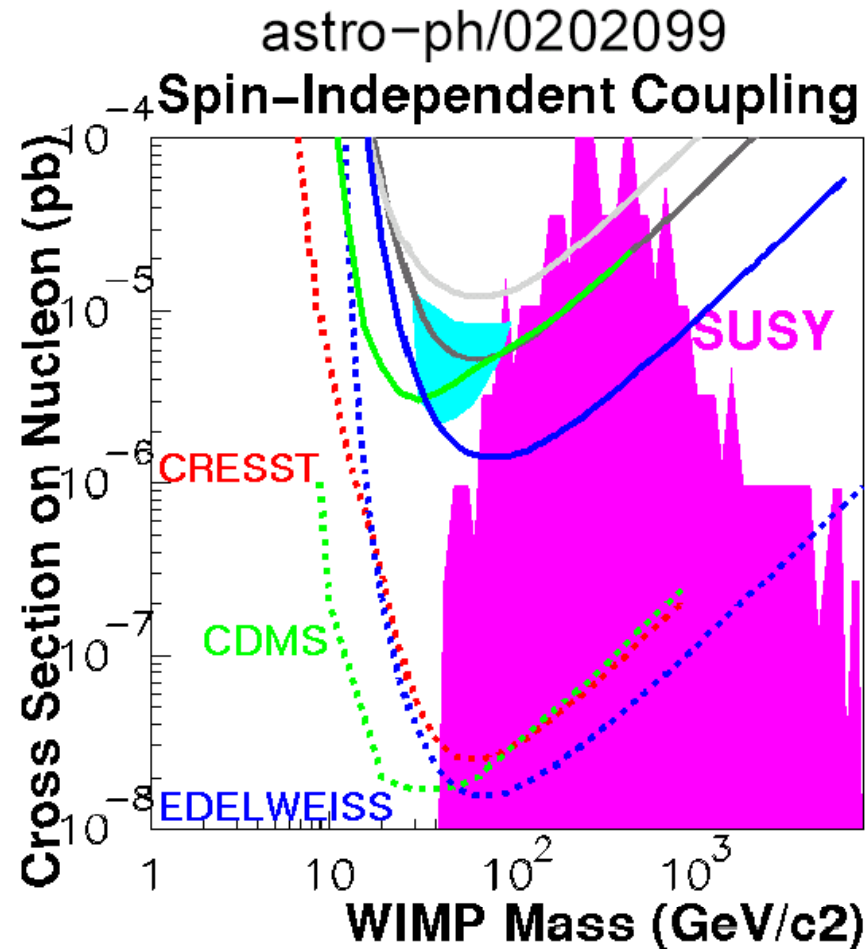
- Shield : 20 cm Pb + 50 cm PE
+ muon veto

Efficient protection against
neutron and gamma-ray
background

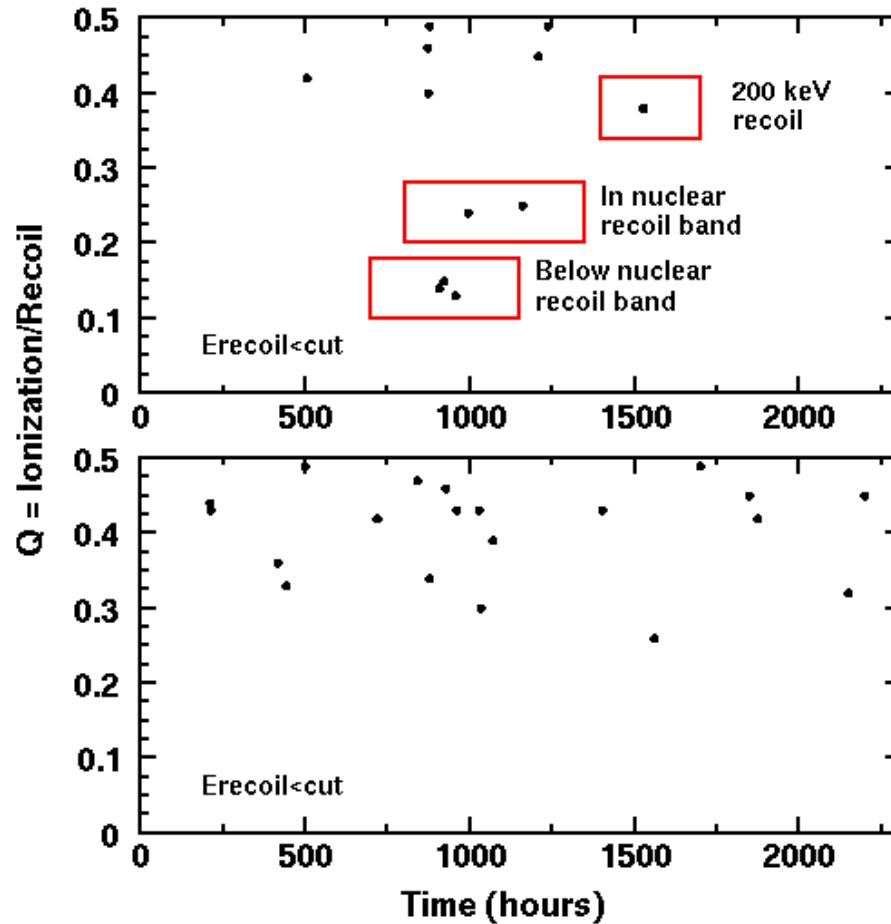
- Designed to improve by
> 2 orders of magnitude the
present best sensitivities



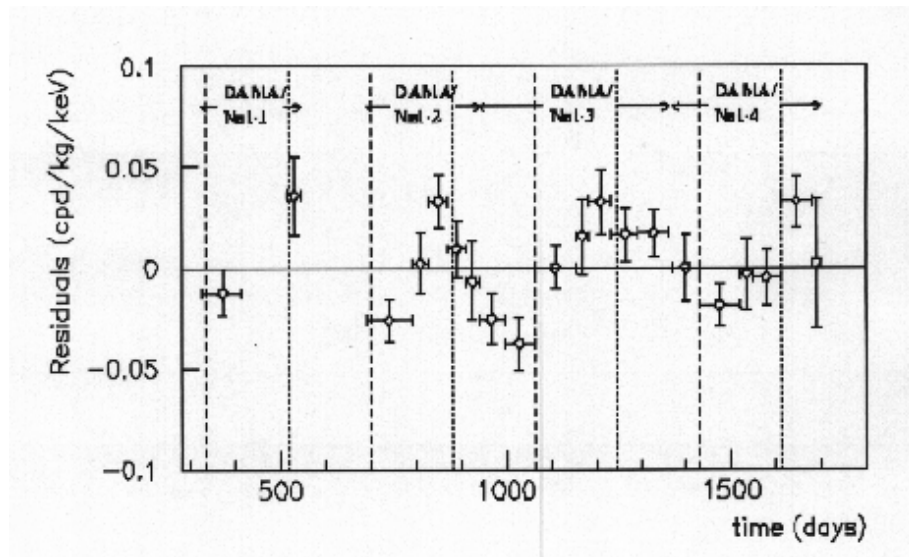
Sensibilités attendues



Distribution des evts dans les runs ionisation



DAMA results



Annual modulation
(rate 2-6 keV)
compatible in
period and phase
with WIMP signal
observed over
four years

Phys. Let. B 480 (2000) 23

~ 100 kg NaI, 9 crystals

~ 58000 kg-days

$$M_W = (52^{+10}_{-8}) \text{ GeV}$$

$$\sigma_{W-N} = (7.2^{+0.4}_{-0.9}) \cdot 10^{-6} \text{ pb}$$