

Détection de la Matière Noire

Etat des lieux
Indirect + projets dédiés
Prospective à 10 ans

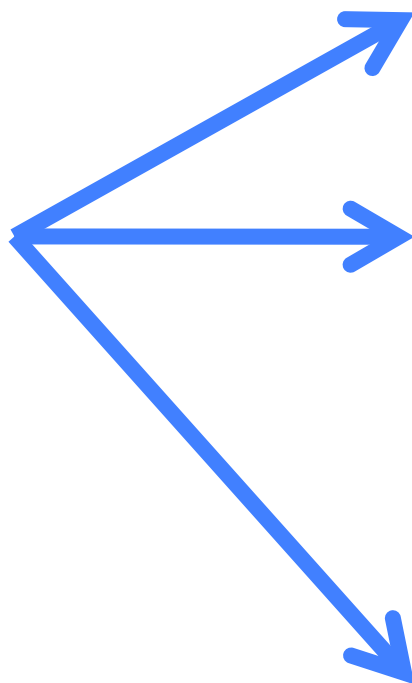
J. Gascon
IPNL/Lyon 1/IN2P3
gascon@ipnl.in2p3.fr

+ merci à P. Brun, G. Gerbier, I. Giomataris, E. Nuss, S. Rosier-Lees, D. Santos, D. Thers

Particule de Matière Noire

- Effets gravitationnel manifeste de Matière Noire non-baryonique dans l'Univers...
 - $\Omega_{\text{CDM}} = 0.228 \pm 0.013$, c.f. présentation J. Rich
- ... mais très peu d'indications sur la nature possible de la particule hypothétique correspondant à la Matière Noire
 - Masse? Type d'interaction? Sections efficaces?
- *L'IDENTIFICATION* de cette particule est un enjeu majeur, avec complémentarité nécessaire entre:
 1. **Production en accélérateur**
[Nature du candidat WIMP, couplages, $\sim \sigma_{\text{annihilation}}$ (monojet)]
 2. **Traces de son annihilation dans les rayons cosmiques (« indirect »)**
[γ : $\langle \sigma_{\text{annihilation}} v \rangle$; ν, \bar{p}, \bar{d} : $\sigma_{\text{annihilation}}$ et $\sigma_{\text{scattering}}$ /accrétion]
 3. **Collisions avec des noyaux cibles en laboratoire (« direct »)**
[$\sigma_{\text{scattering}}$, ρ_{LOCAL} , distribution de vitesse]

Candidats recherchés

- 
- Axions
 - Reliques non-thermales (μeV -> meV , CDM->HDM)
 - WIMPs
 - Composantes reliques thermalisées, stables
 - Physique électrofaible (\sim prédiction sur section efficaces)
 - Masse 10-100-1000 GeV (\sim noyau atomique)
 - Autres modèles
 - Plusieurs également couverts par recherches de WIMPs
 - Modèles sans particules détectables néanmoins possibles

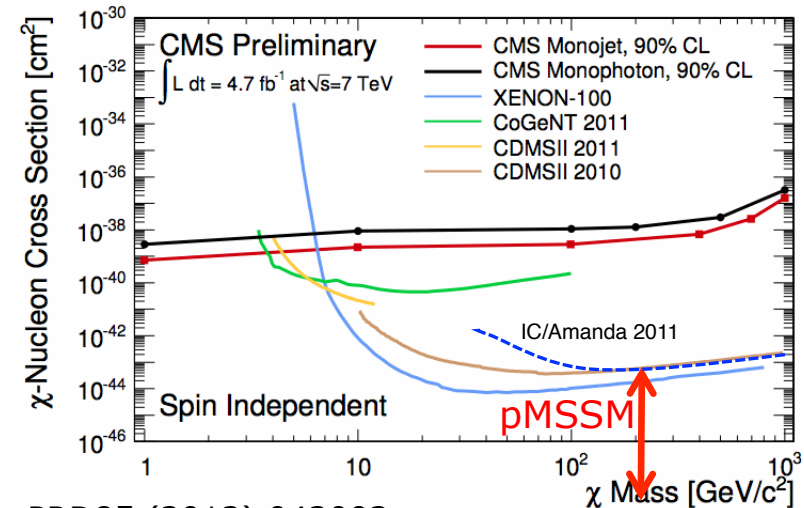
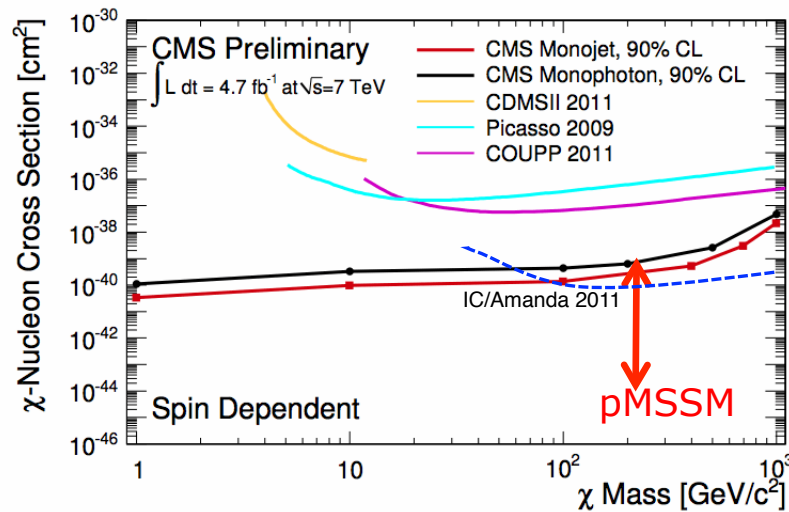
Recherches de modèles supersymétriques, et, plus généralement, examen de l'intérêt cosmologique de toute nouvelle particule qui y sera découverte

c.f. groupe de travail « Modèle standard et au-delà »

- Lien entre résultats LHC/direct/indirect important pour lever les ambiguïtés.
- Malgré l'absence de découverte rapide au LHC, la motivation pour les recherches directes et indirectes demeure.
- Exclusion du cMSSM à 5 paramètres: mène à des modèles moins contraints.
Ex: pMSSM à 19 paramètres [Berger 0812.0980, Arbey 1110.3726, Kraml@MoriondEW 2012, ...]:
 $\sigma_{\text{SpinDependent}} \sim 10^{-8} - 10^{-4} \text{ pb}$, $\sigma_{\text{SpinIndependent}} \sim 10^{-11} - 10^{-7} \text{ pb}$.
- Difficile d'envisager toute autre nouvelle stratégie de recherche directe/indirecte avant que le LHC précise un nouveau paysage de la physique au-delà du MS.

Monojets LHC vs direct et indirect

- Section efficace assez naturellement liée à $\sigma_{\text{annihilation}}$
- Bonne couverture des masses de WIMPs $< \sim 10 \text{ GeV}/c^2$
- Spin-dépendant: LHC 4.7 fb^{-1} compétitif avec indirect (SK, IceCube), plus sensible que recherches directes, mais encore loin de couvrir le MSSM.
- Spin-indépendant: recherche directe avantagée par effet cohérence A^4
- Note: (\pm faible) corrélation SI/SD (selon modèle)



Recherches indirectes

- Font parties du programme d'étude complète du rayonnement cosmique à haute énergie (ν , γ , e^+ , antiproton, antideuton) et de l'Univers primordial: compréhension des fonds essentielle

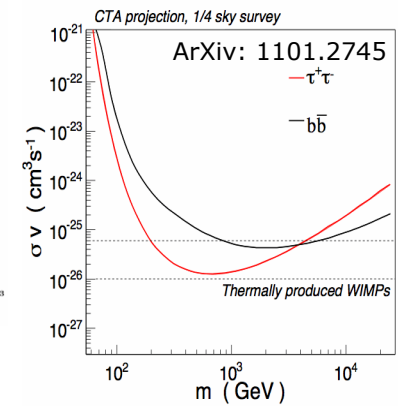
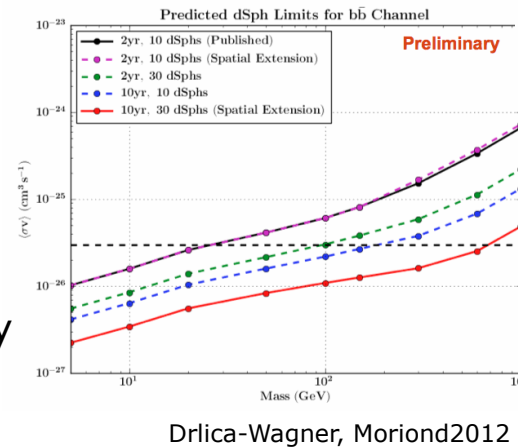
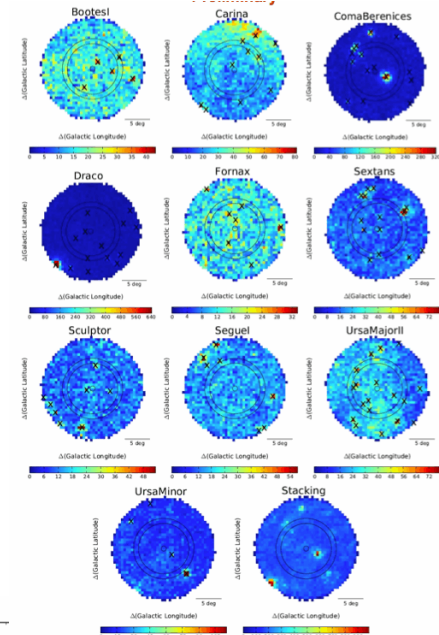
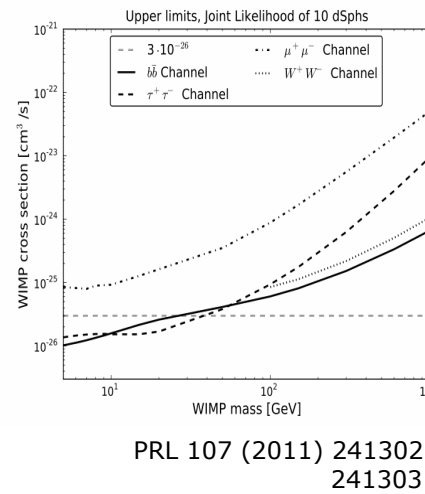
Description des instruments en GT5

- Excès de cosmiques chargés (e^+ PAMELA) vraisemblablement pas dus à des annihilations de matière noire
- Mesure du spectre antiprotons et *anti-deuterons* avec AMS et GAPS
- Gamma MeV-GeV (FERMI) et \gg GeV (HESS, MAGIC, VERITAS, CTA): recherche au centre de la Galaxie, *dans ses satellites*, ou en mode « survey » grand champ
- Neutrinos provenant d'annihilation au centre du soleil: SK, IceCube, KM3Net

- Prospectives reliées à celles des grands instruments astro HE

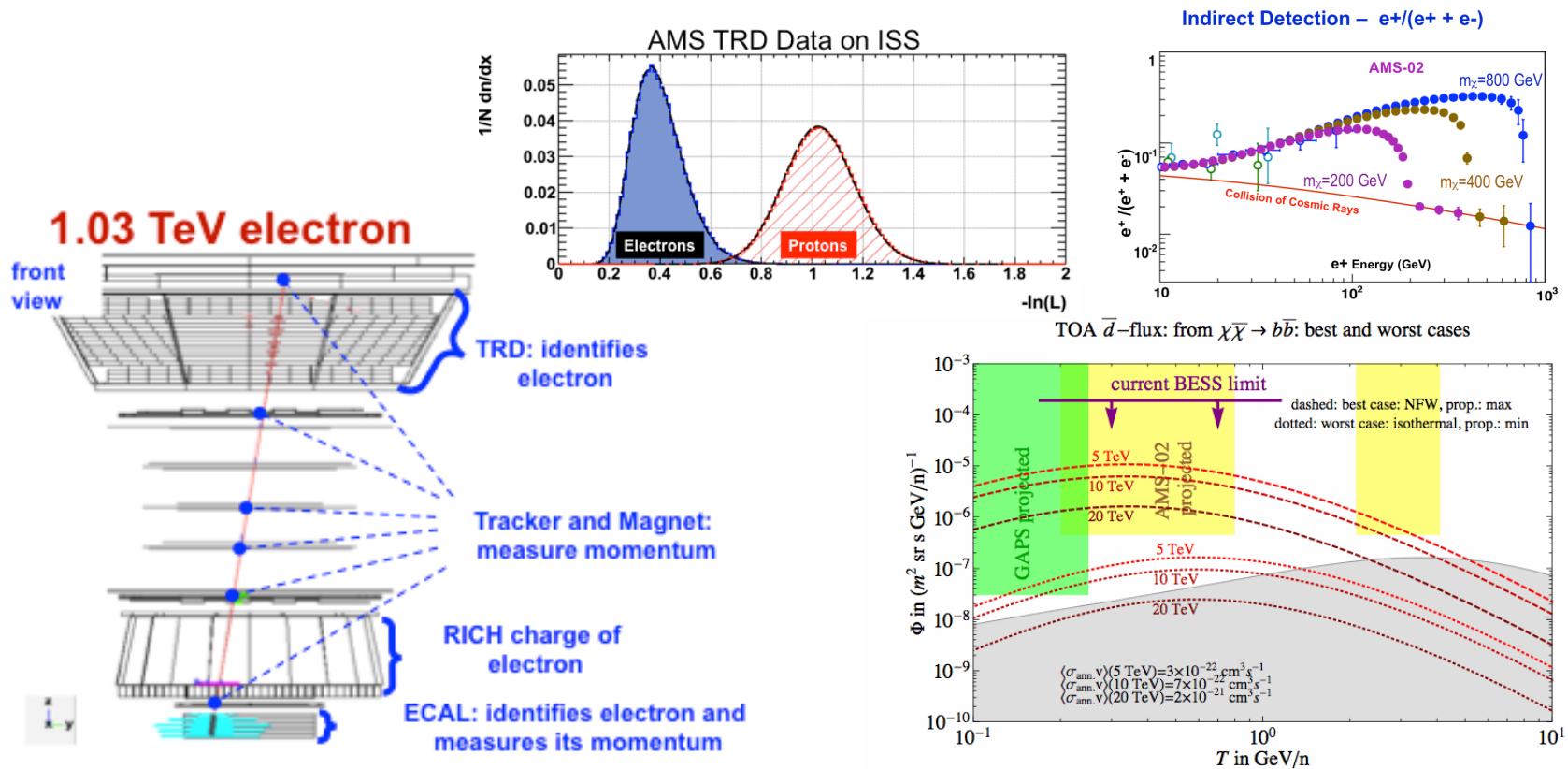
Recherches indirectes: gammas

- FERMI: mesure du flux γ (200 MeV à 100 GeV) des galaxies sphéroïdales naines (dSph) satellites de notre galaxies, riches en matière noire
 - Masse déduite du champ de vitesses (intégrale dépend peu des détails du halo de matière noire)
- Teste échelle « naturelle » de $\langle \sigma_{\text{annihilation}} v \rangle$ ($3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$): avec 10 galaxies, $M_{\text{WIMP}} < 30 \text{ GeV}/c^2$ exclu (voies bb, $\tau\tau$)
- **Prospective FERMI**: 2- > 10 ans: sensibilité à $100 \text{ GeV}/c^2$ (ou plus avec 30 dSph)
- **Prospective CTA** ($\gamma > 50 \text{ GeV}$): 1/4 sky survey sensible à $3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$ pour des masses de 250 GeV à 2.5 TeV

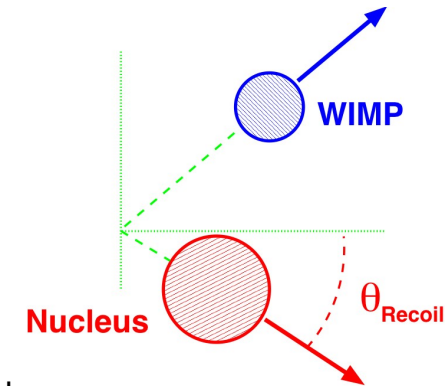
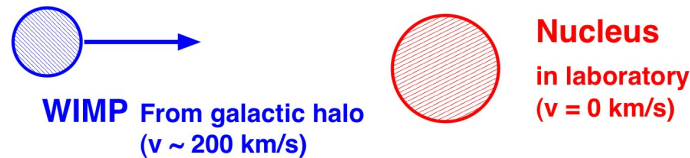


Recherche indirectes: chargés

- AMS02 sur ISS (en cours): recherches e^+ , $e^+/(e^++e^-)$, gammas, antiprotons, antideutons
- Antideutons: le plus prometteur. Recherche également avec ballon GAPS



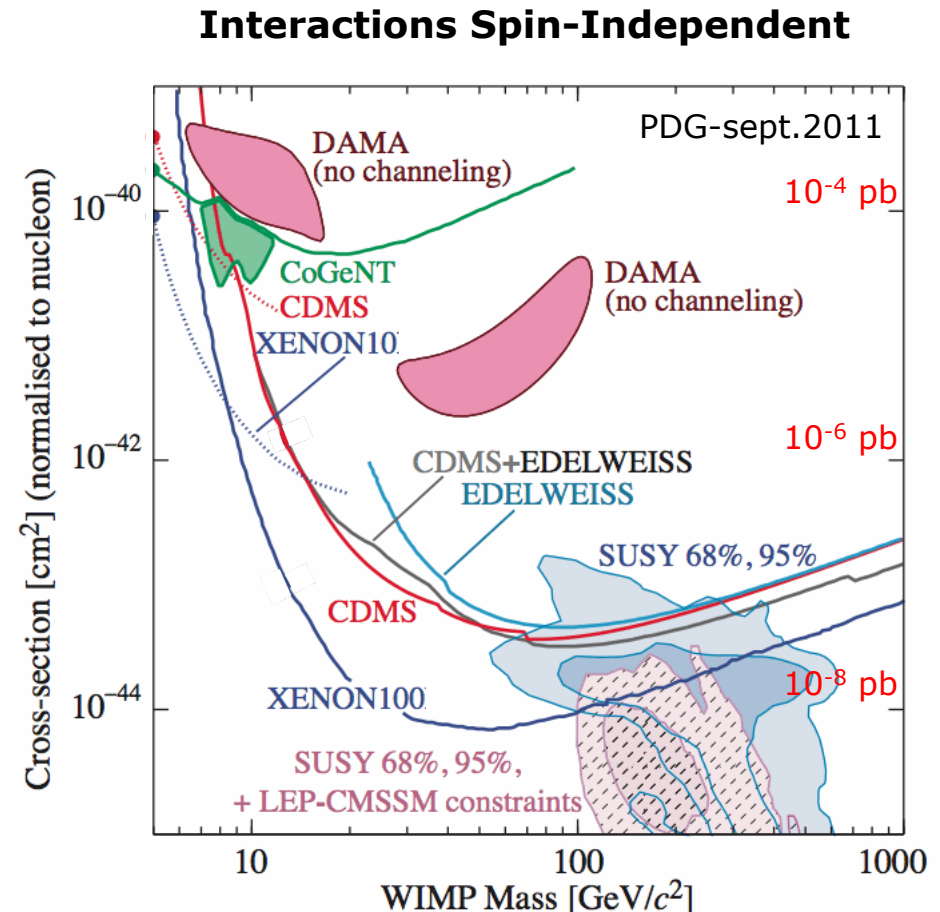
■ Expériences dédiées



- Sensibles à $\sigma_{\text{scattering}}$ (spin-dependent ou spin-independent) et à ρ_{local}
- Détection de reculs nucléaires (*seuil de quelques keV*)
- Très faibles taux attendus:
 - *Contrôle très sévère de la radioactivité naturelle (avec identification des reculs nucléaires) et des imperfections des détecteurs*
 - Détecteurs massifs: $\sim 1\text{t}$.
- Scattering cohérent (SI): *augmentation du taux en A^3*
- Directionnalité du flux de WIMP: détection difficile
 - traces de ~ 10 nm dans un solide
 - ~ 10 μm dans un gaz à 1 atm -> TPC basse pression

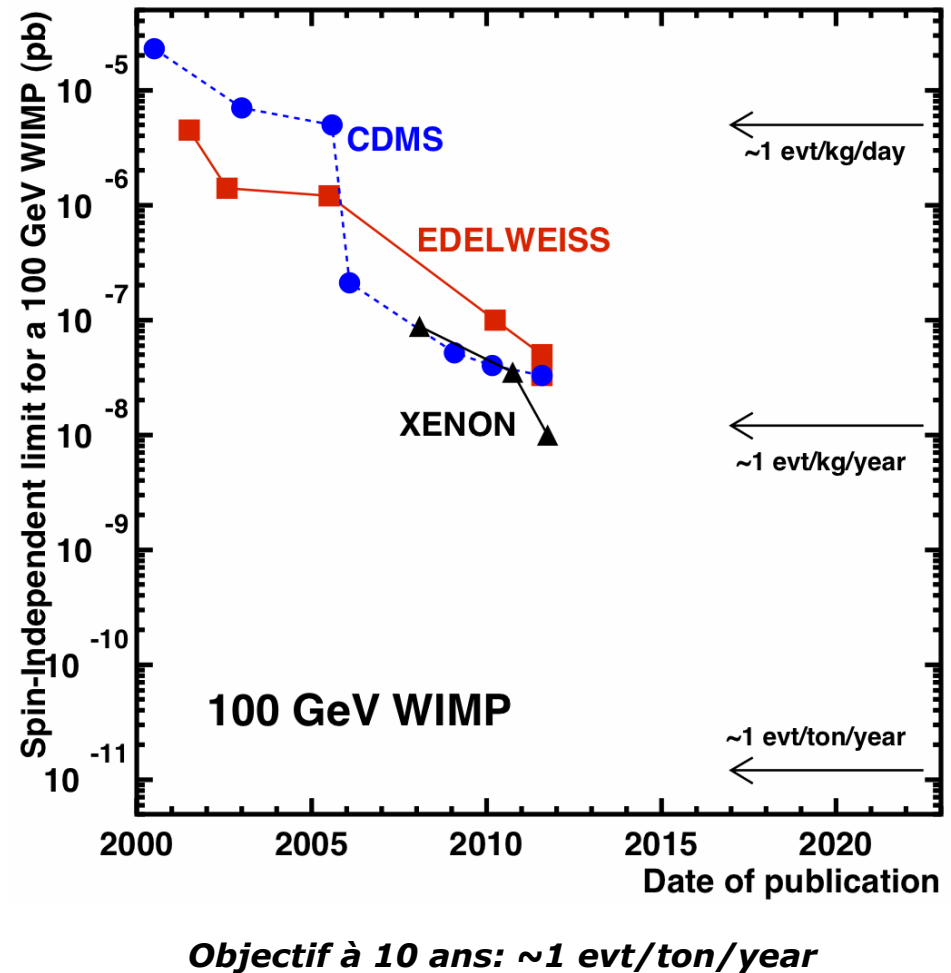
Situation mondiale actuelle

- Limites les + compétitives:
 - Xe: XENON100 (7×10^{-9} pb) et Zeplin (4×10^{-8} pb)
 - Ge cryogénique: CDMS et EDELWEISS (3×10^{-8} pb)
- Anomalies observées avec d'autres technologies: DAMA/CoGeNT/CRESST
 - WIMP < 10 GeV
- Chambres à bulles (spin-dependent) et détecteurs gazeux directionnels (R&D)



Evolution observée des sensibilités

- *Progrès techniques soutenus sur 10 dernières années: **rejection**, masse, radiopureté*
- Compétition (ex.: grandes masses vs résolution) + complémentarité
- Attendu prochainement: sensibilités inférieures à 5×10^{-9} pb (à 100 GeV) pour ces expériences (dès 2012 pour XENON)

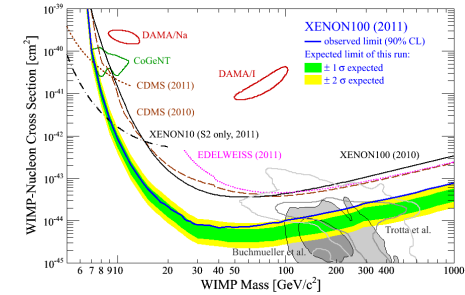


Situation française actuelle

■ XENON



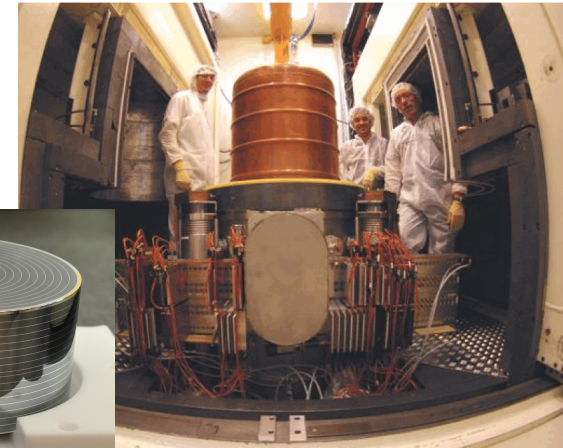
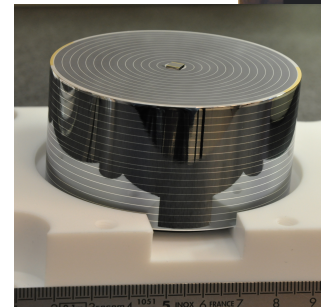
- Participation à XENON-100 depuis 2009



■ EDELWEISS

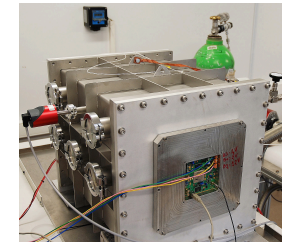
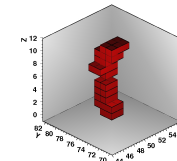


- Cryostat EDELWEISS-II au LSM (Réalisation Néel)
- Développement techno. original (Electrodes interdigités, ID -> FID)
- EDELWEISS-III: 30 kg Ge FID fin 2012 (ANR)

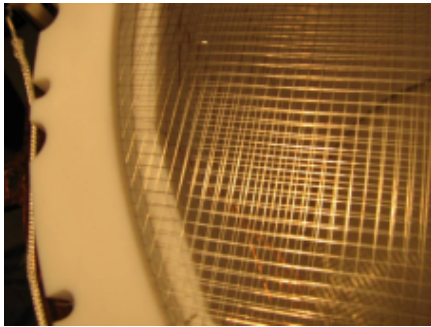


■ MIMAC R&D directionnelle

- Prototype 5L au LSM en 2012



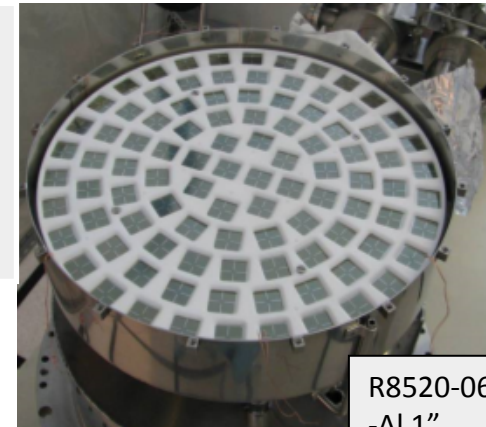
Détecteur XENON 100



Meshes

161 kg of LXe

- 99 kg active veto
- 62 kg TPC
- 48 kg fiducial volume



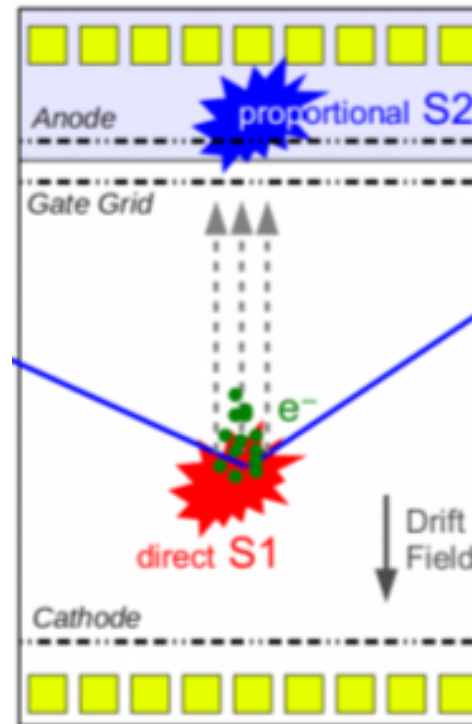
R8520-06
-Al 1"

Top Array : 98 PMTs
(X,Y) reconstruction

Bottom Array : 80 PMTs
Maximum coverage

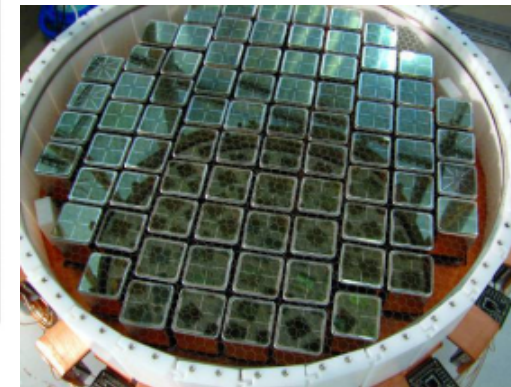


TPC

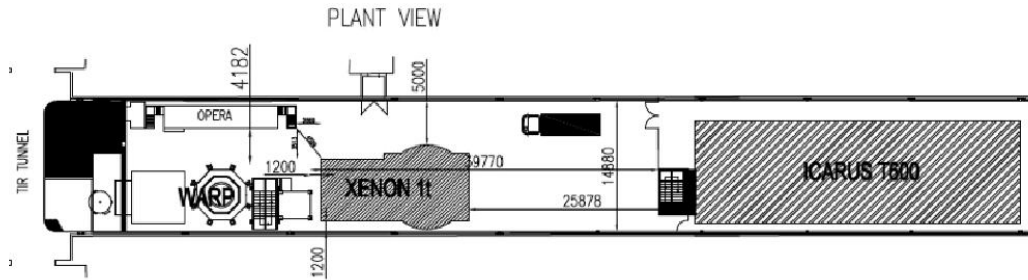


Veto PMTs

PTFE panels



Prospectives XENON

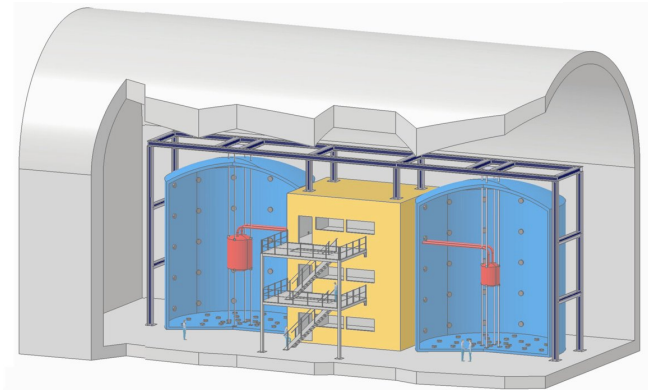
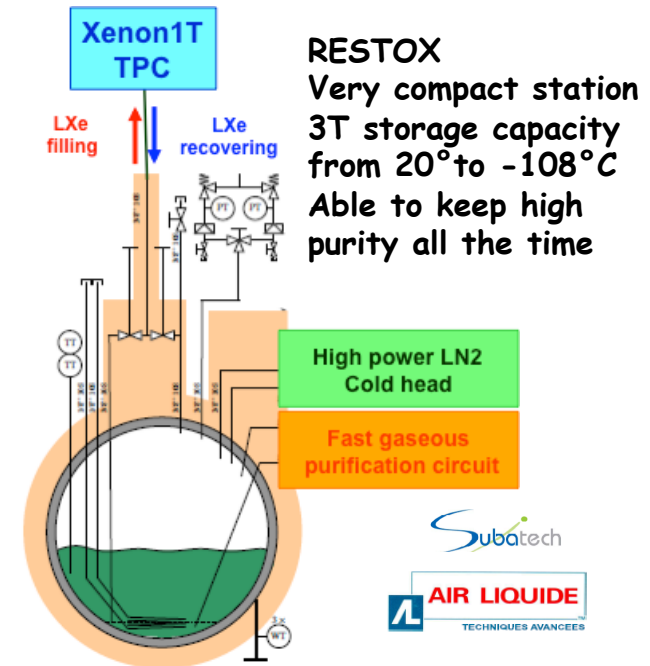


■ XENON 1t @ Gran Sasso

- Objectif: réduction x100 du fond pour atteindre 5×10^{-11} pb
- Installation fin 2013 pour premiers runs DM en 2015
- **Implication française** dans RESTOX (récupération/stockage Xenon)

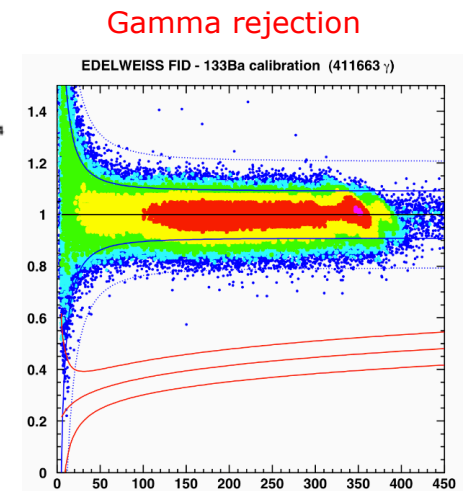
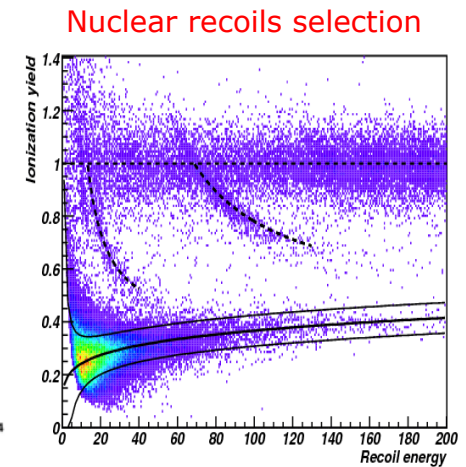
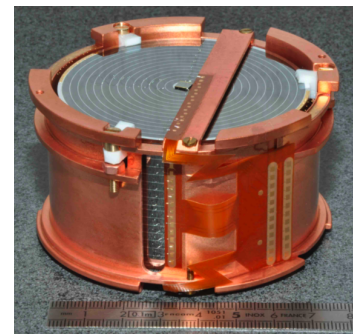
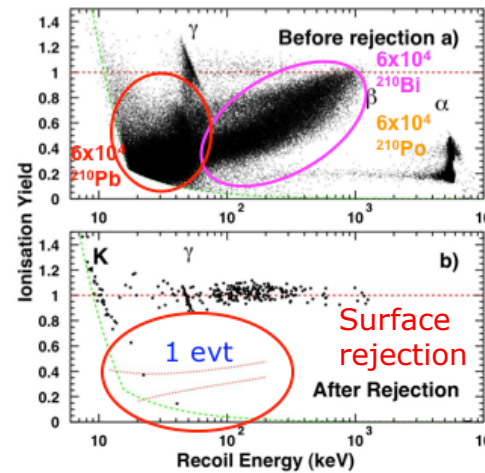
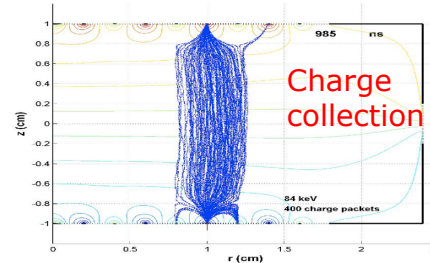
■ Projet DARWIN: 5 t Xenon

- Horizon 2020, Objectif $\sim 5 \times 10^{-12}$ pb
- Simulations LSM/Gran Sasso



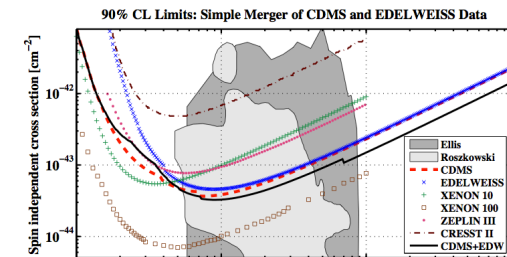
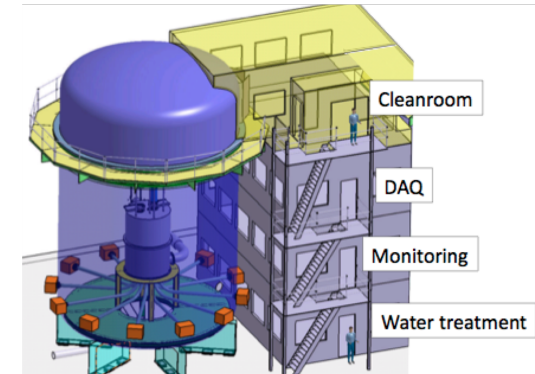
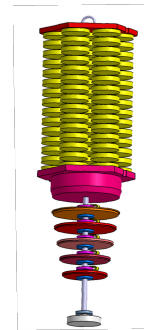
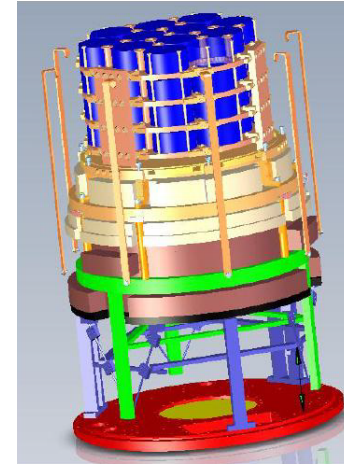
Détecteurs EDELWEISS FID

- Résolution fine (ionisation et chaleur Ge) pour rejet gamma $> 10^5$
- Identification de surface (rejet $> 10^4$) avec électrodes fiducielles ET avec électrodes véto
- Couverture complète avec des électrodes interdigité
 - Fraction volume fiduciel X2
 - Programme d'augmentation de masse totale: 160 g -> 600 g (FID800)



Prospective Ge cryogénique

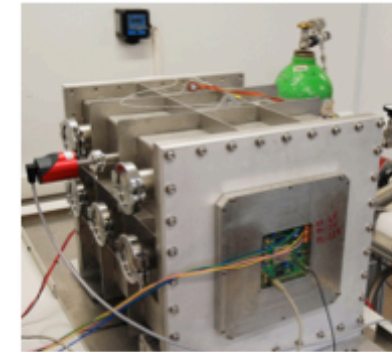
- EDELWEISS-III @ LSM: 30 kg Ge ($\sim 10^{-9}$ pb)
 - Amélioration du rejet γ [FID], du fond et des seuils
 - Technologie française: cryogénie + détecteur FID
 - Poids important de la France dans la collaboration
- EURECA: 1t (Ge+scint.) ($< 10^{-10}$ pb)
 - Fédère expertise européenne cryodétecteurs
 - Cibles variées (dépendance en A^4 , contrôle des systématiques)
 - 150 kg (~ 2015) -> 1t (~ 2018)
- Collaboration avec SuperCDMS
 - Pour développement de la technologie Ge cryogénique à grande échelle (calendrier en phase)
 - 1^{ère} réalisation concrète: publi. commune CDMS-EDW



MIMAC (Micro-tpc Matrix of Chambers) Détection Directionnelle

Strategie :

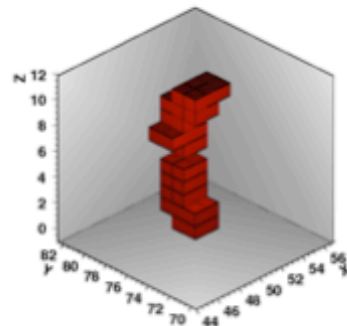
- Matrice de micro-TPC
- Détection Directionnelle (Energie (ionisation) et trace 3D)
- Multi-cible (1H , ^3He , ^{19}F) $\sigma(A)$
- Interaction axiale (spin-spin_
- (^3He), CH_4 , C_4H_{10} , CF_4



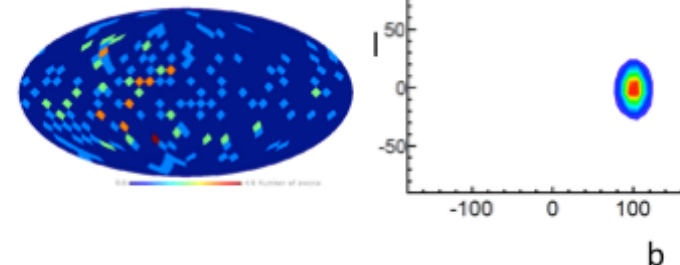
Prototype Bi-chambre (5 litres)

Recul ^{19}F (mesuré)
($E_{\text{ion}} \sim 40 \text{ keV}$)
50 mbar $\text{CF}_4 + \text{CHF}_3$ (30%)

- TPC basse pression ($\sim 50 \text{ mbar}$)
- Micromegas (CEA IRFU-Saclay)
- Traces de $\sim 1\text{mm}$ pour 30 keV (^{19}F)



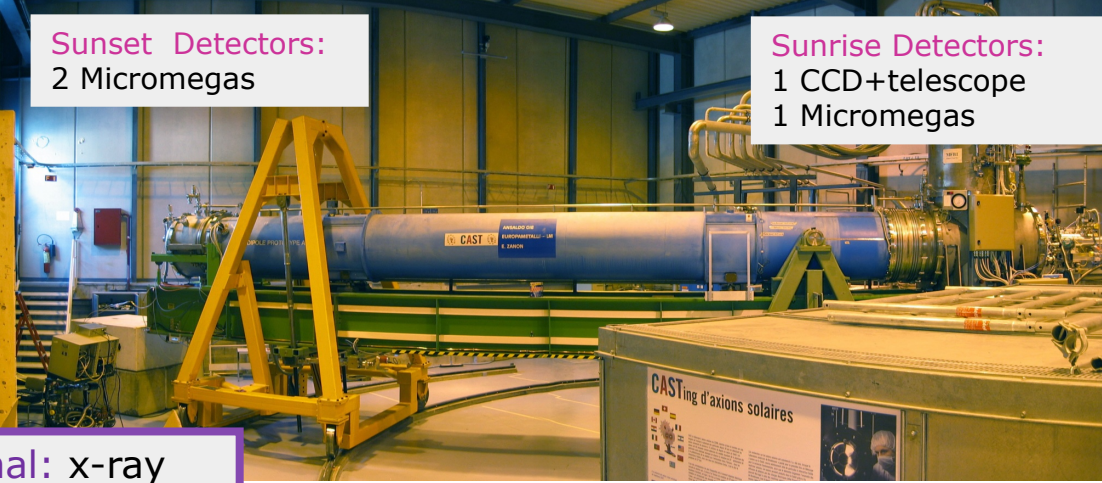
Carte de 50 evts (Wimp) et 50 evts de fond qui permettrait de trouver la signature directionnelle



- Prospective: 10 kg, 1m^3 (50 chambres): mesure $f(v)$ pour 10^{-3}pb

Prospectives Axion

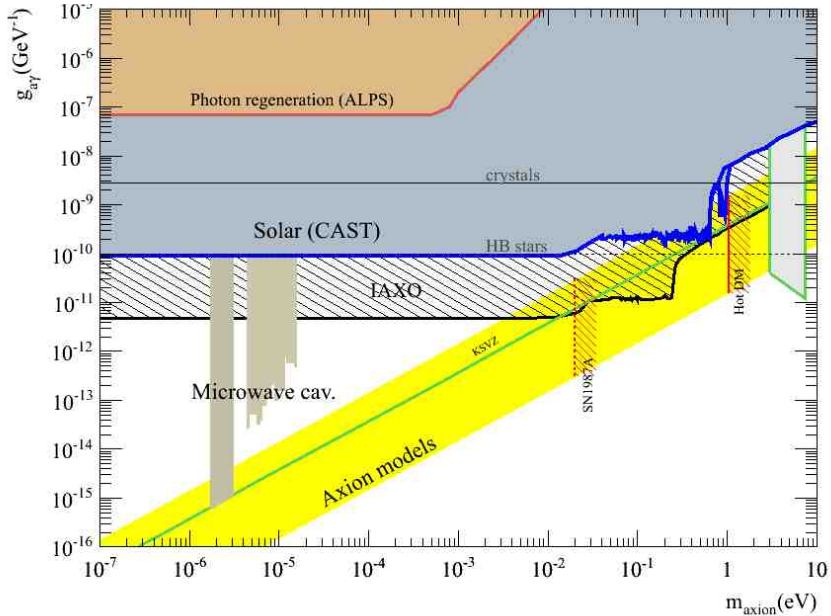
- Cold DM: ADMX (cavité microondes)
- Hot DM: CAST (CERN Axion Solar telescope)



Signal: x-ray excess while pointing at the sun

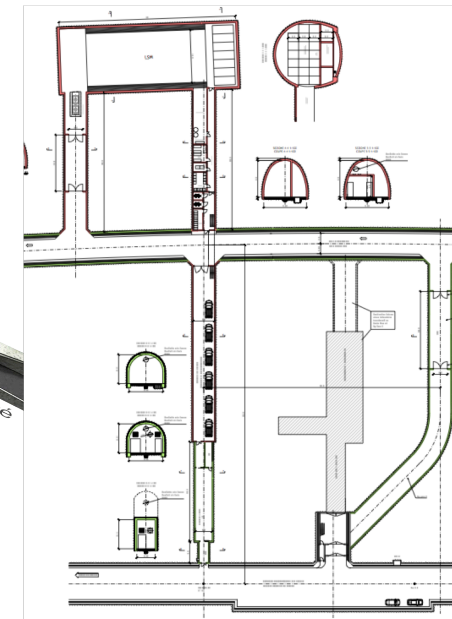
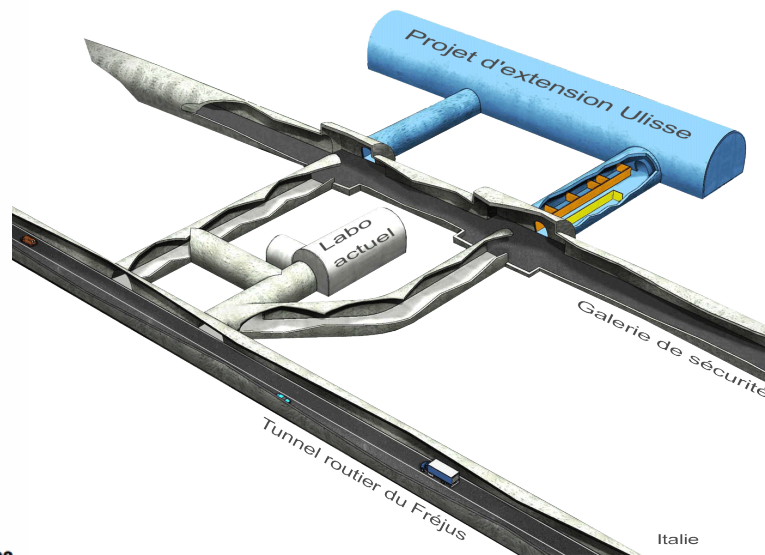
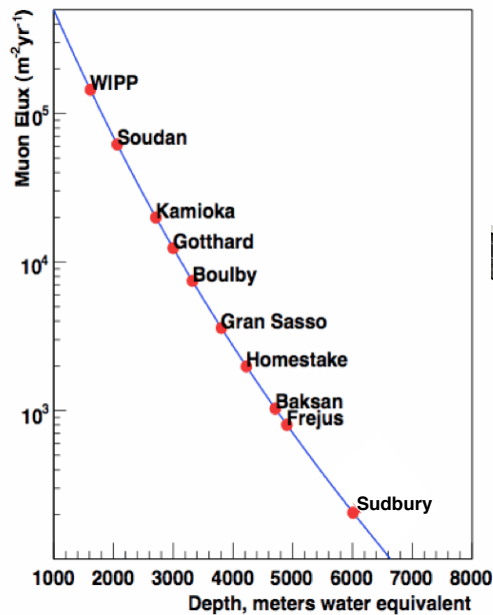
- Horizon 2020: -> IAXO

LONG TERM: IAXO
 New Generation of Axion Helioscope
 JCAP 06 (2011) 013



Laboratoire Souterrain

- Fond cosmique: contrainte majeure dans recherches directes
- LSM: Laboratoire souterrain parmi les plus profonds, accessible et économique
- Actuellement (matière noire): EDELWEISS, MIMAC
- Futur (projet extension volume x5): EURECA, DARWIN?



- Identification de la matière noire: priorité dans la prochaine décennie
- Complémentarité nécessaire LHC / Indirect / Direct

- Des découvertes au LHC permettraient d'orienter plus finement les recherches directes/indirectes: en leur absence, elles devront rester plus largement ouvertes
- La recherche indirecte progressera à l'intérieur des grands projets astronomiques HE (FERMI, CTA, AMS, KM3Net) et dans le cadre de l'amélioration de la compréhension des fonds astrophysiques
- La forte expansion de la détection directe due aux progrès technologiques remarquables se poursuivra. La France est bien positionnée dans les techniques les plus prometteuses (Ge cryogénique, XENON), avec un apport technologique original sur le plan mondial, et un rôle majeur dans le Ge.
- Positionnement intéressant dans les R&Ds détecteurs directionnels et pour les axions solaires.
- Infrastructure (+expertise) bas-bruit radioactif est un atout pour la France: occasion unique offerte par le projet d'extension du LSM.