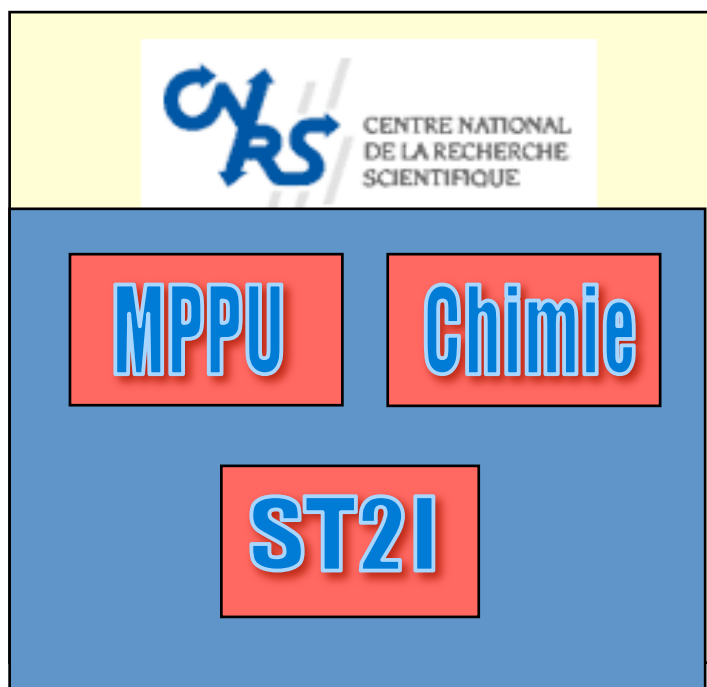


- 1) Activités du CSNSM
- 2) Univers de Milne matière-antimatière

Gabriel CHARDIN

CNRS/IN2P3/CSNSM et Université Paris-Sud

Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse



- Présentation du laboratoire
- Lignes de recherche:
 - Structure nucléaire
 - Astrophysique nucléaire
 - Micrométéorites
 - Faisceaux ions – Matériaux
 - Masses atomiques
 - Détecteurs cryogéniques
 - Recherche Matière Noire
 - Autres activités...

Grands thèmes Scientifiques

Structure Nucléaire + EFIX

Masses atomiques

Astrophysique nucléaire

Astrophysique du solide

Physico-chimie irradiation

Physique solide

Services techniques

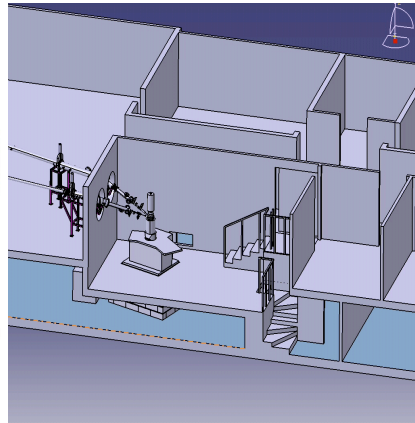
SEMIRAMIS

Electronique

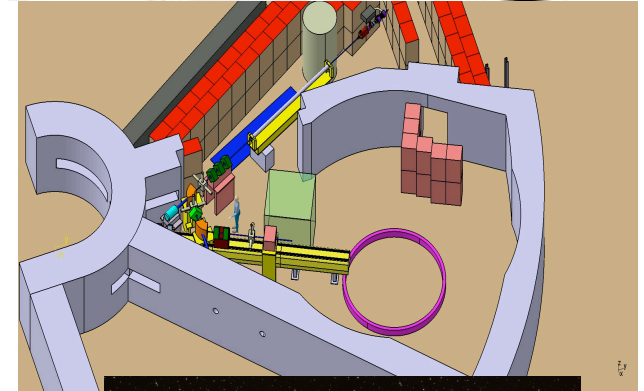
Mécanique

Informatique

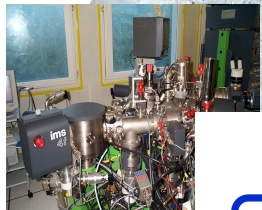
Administration



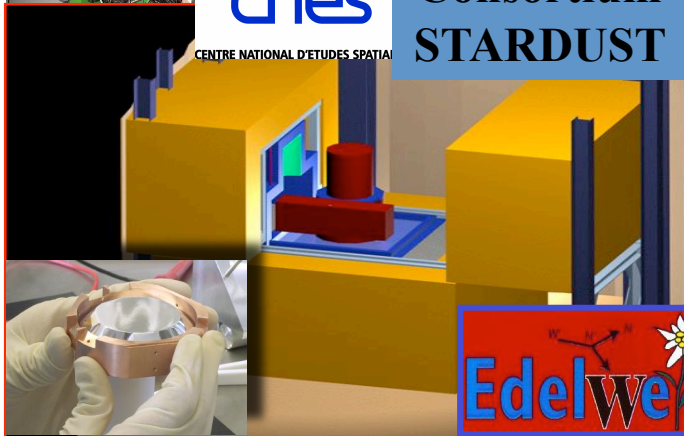
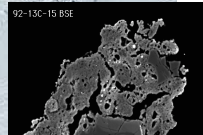
ALTO



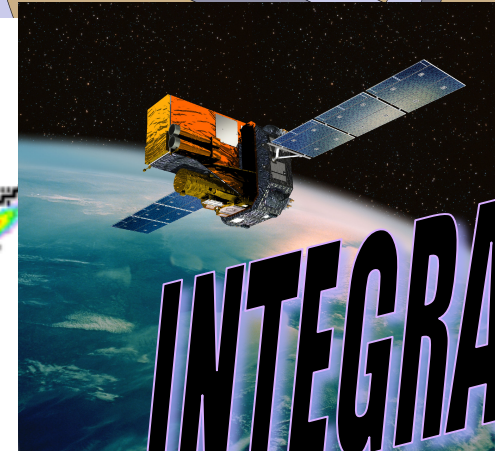
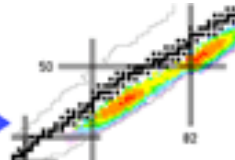
Projets



Consortium
STARDUST



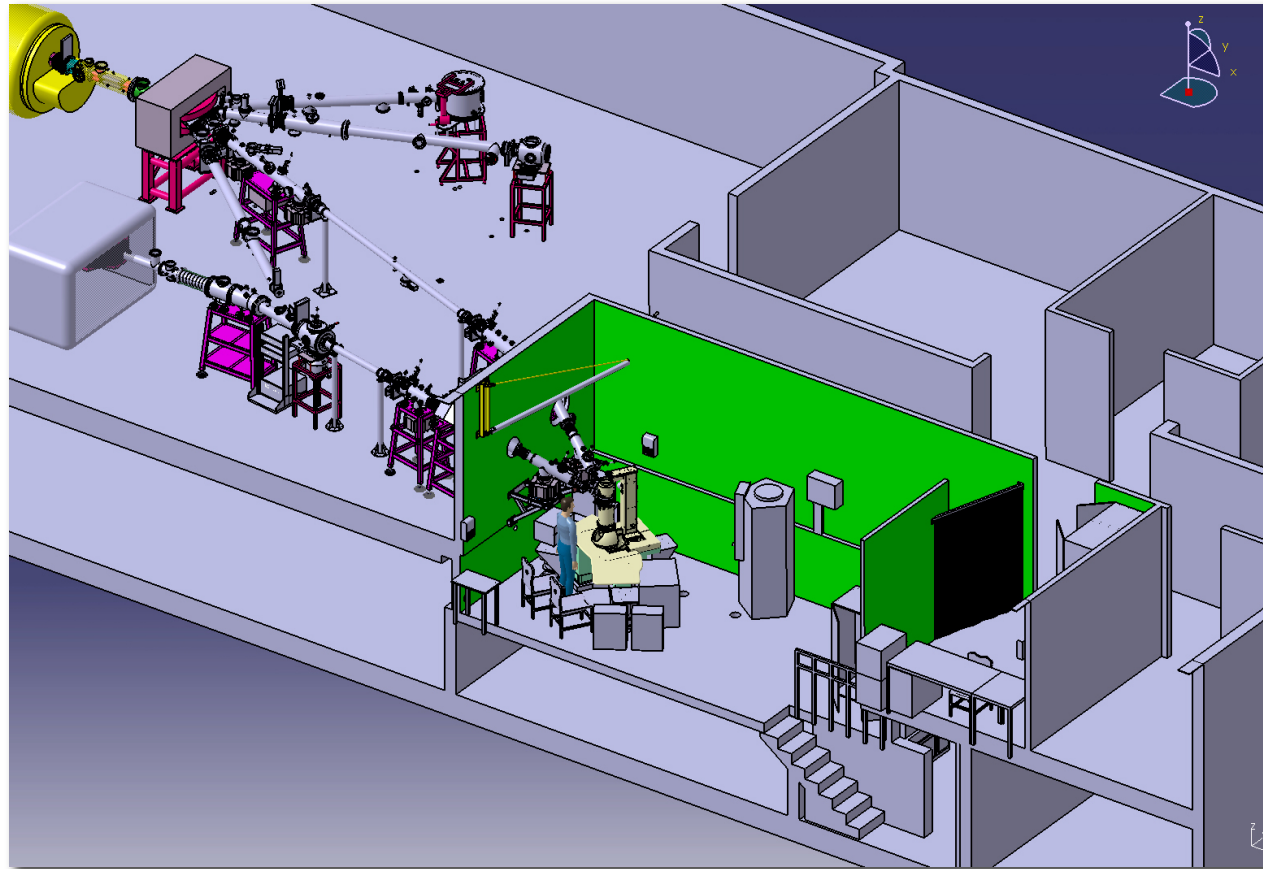
Spiral 2



INTEGRAL

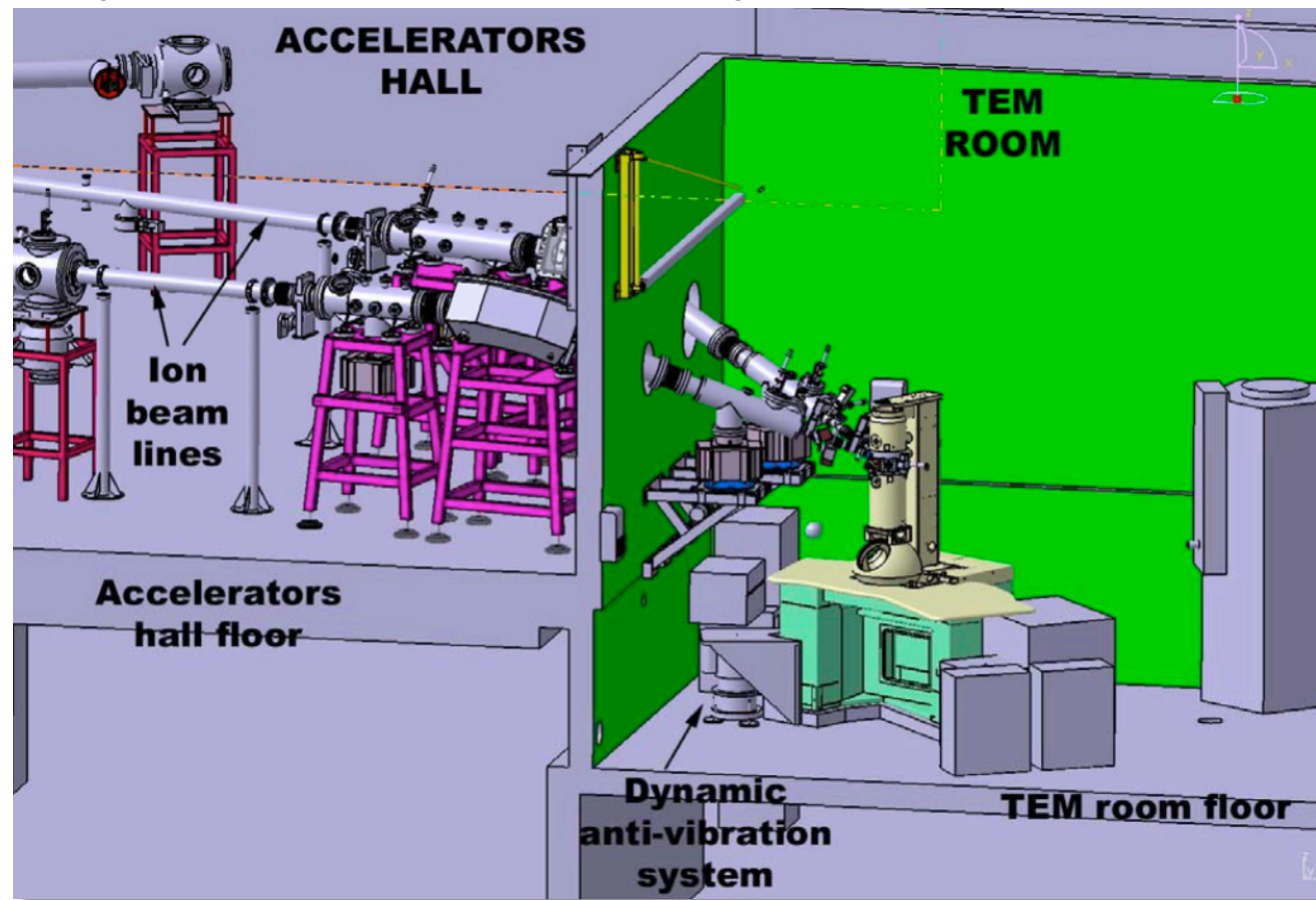
Projets majeurs du CSNSM

- JANNUS (2 faisceaux + TEM)



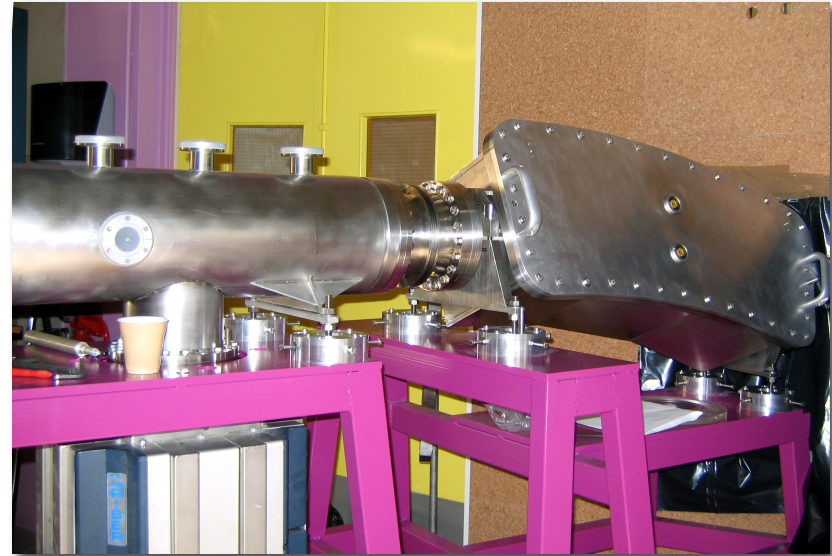
Projets majeurs du CSNSM

- JANNUS (2 faisceaux + TEM)



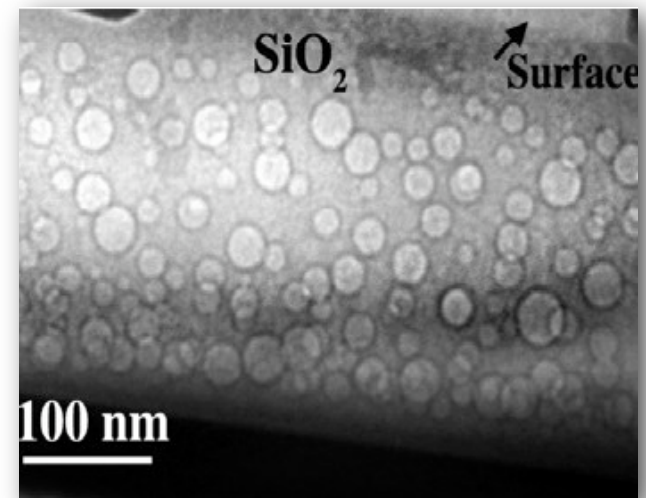
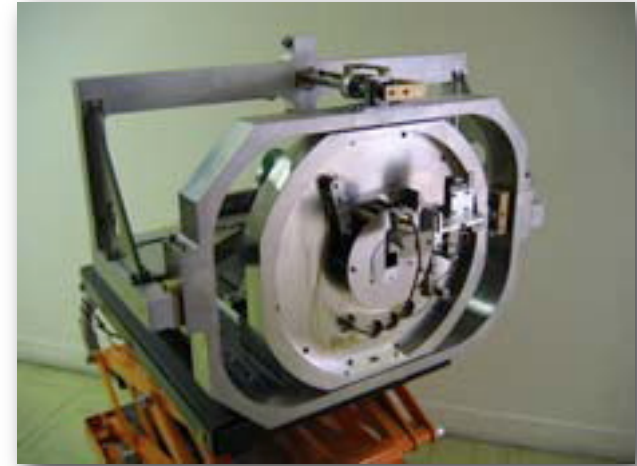
Projets majeurs du CSNSM

- JANNUS (2 faisceaux + TEM)



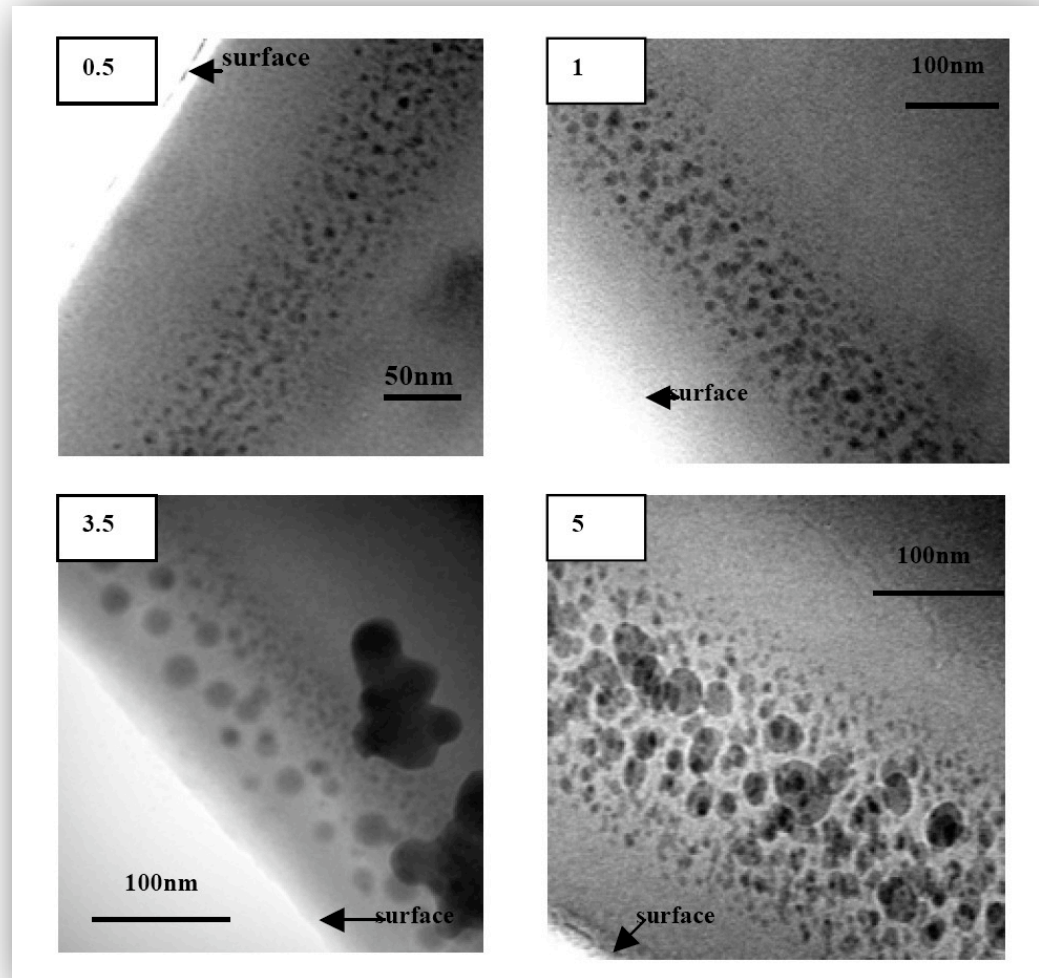
Matériaux sous faisceau d'ions

- Structuration de la matière
- Modification des propriétés aimantation/hystérésis
- Etude des matrices de déchets nucléaires
- Diagnostic *in situ* à l'échelle atomique (0.2 nm), en temps réel, dans les conditions de température d'une centrale : outil unique de calibration des simulations



Matériaux sous faisceau d'ions

- JANNuS: outil unique de calibration des simulations
- Etude en temps réel des modifications structurales sous co-irradiation

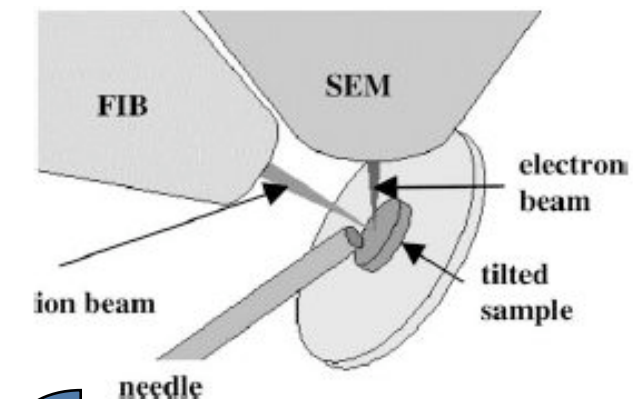


FIB (Focused Ion Beam) au CSNSM (Minerve)

Système Dual-Beam

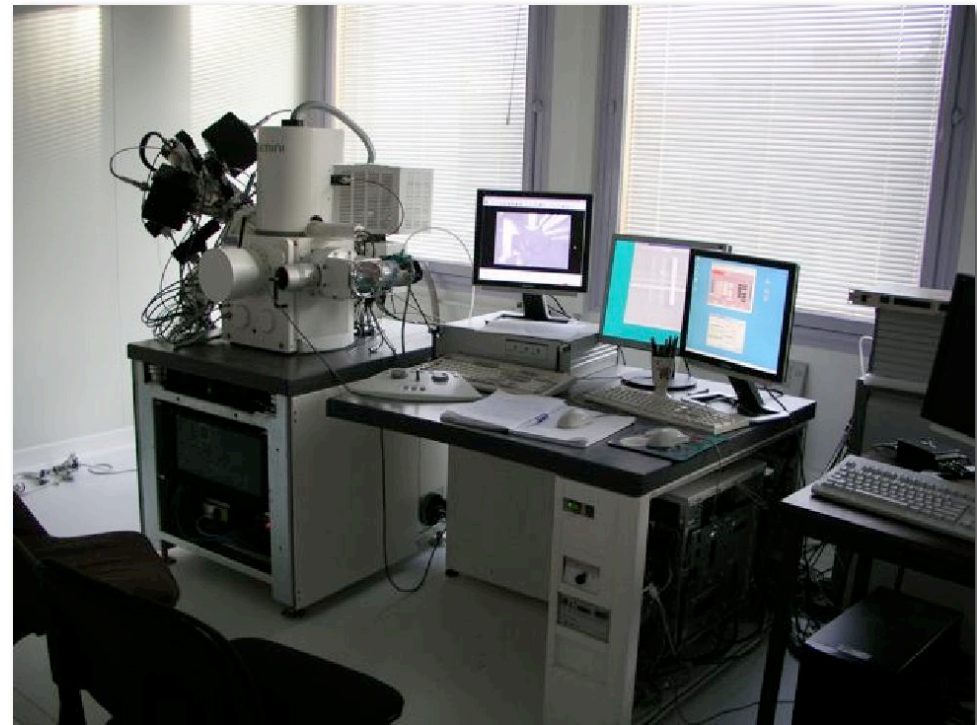
Couplage avec un Microscope Electronique à Balayage : imagerie pendant la gravure

Imagerie par FIB : Détection des électrons secondaires induits par le faisceau d'ions



Injection de gaz

Dépôt assisté par faisceau d'ions
Ex. : W, Pt

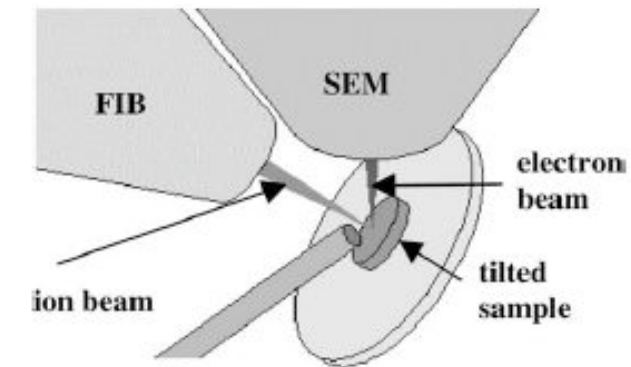


FIB (Focused Ion Beam) au CSNSM (Minerve)

Système Dual-Beam

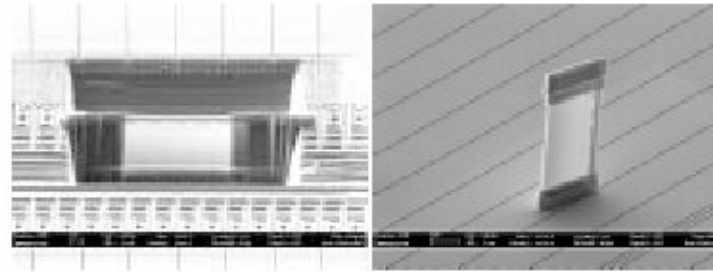
Couplage avec un Microscope Electronique à Balayage : imagerie pendant la gravure

Imagerie par FIB : Détection des électrons secondaires induits par le faisceau d'ions

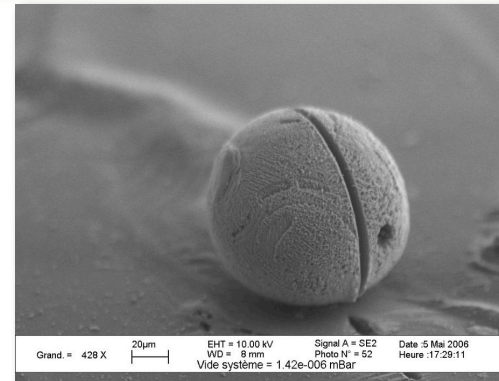


Injection de gaz

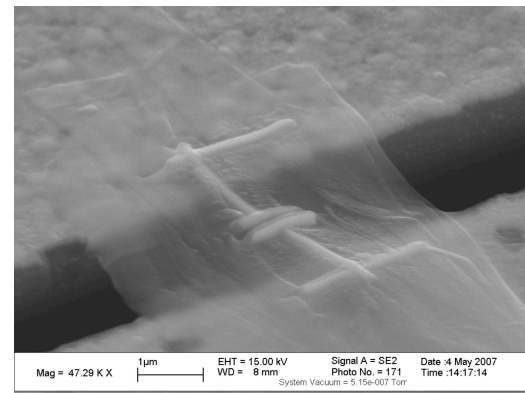
Dépôt assisté par faisceau d'ions
Ex. : W, Pt



Découpe
lames
minces
microscope
TEM



Découpe
micrométéorites



Fabrication
Nanostructures
(groupe
H. Bouchiat LPS)

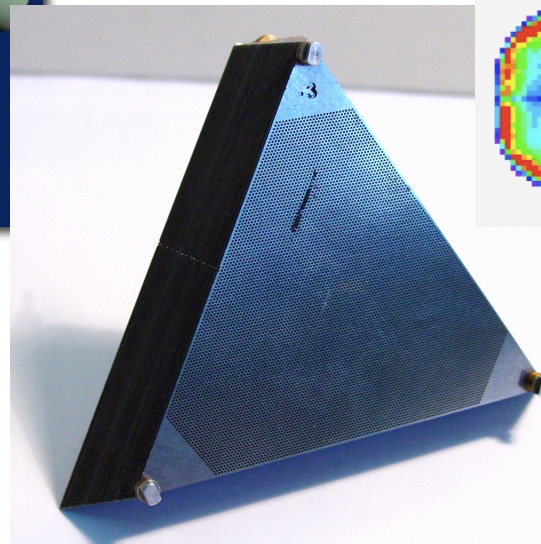
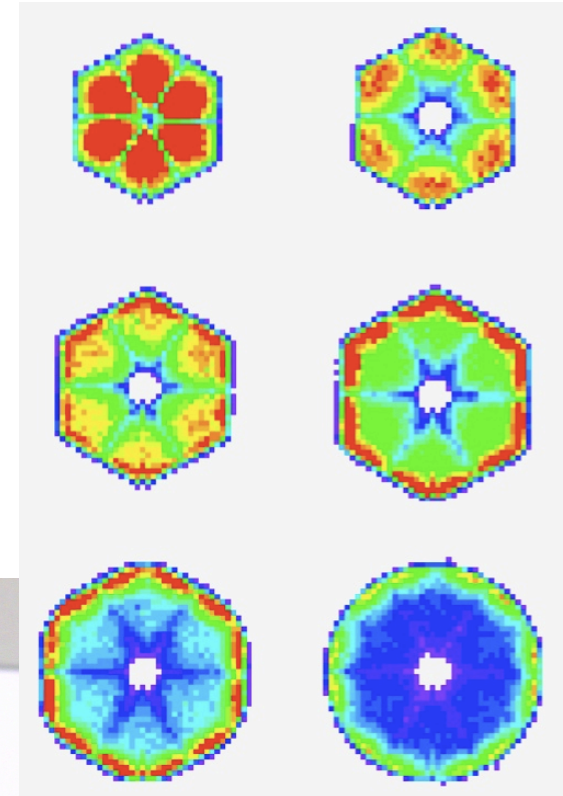
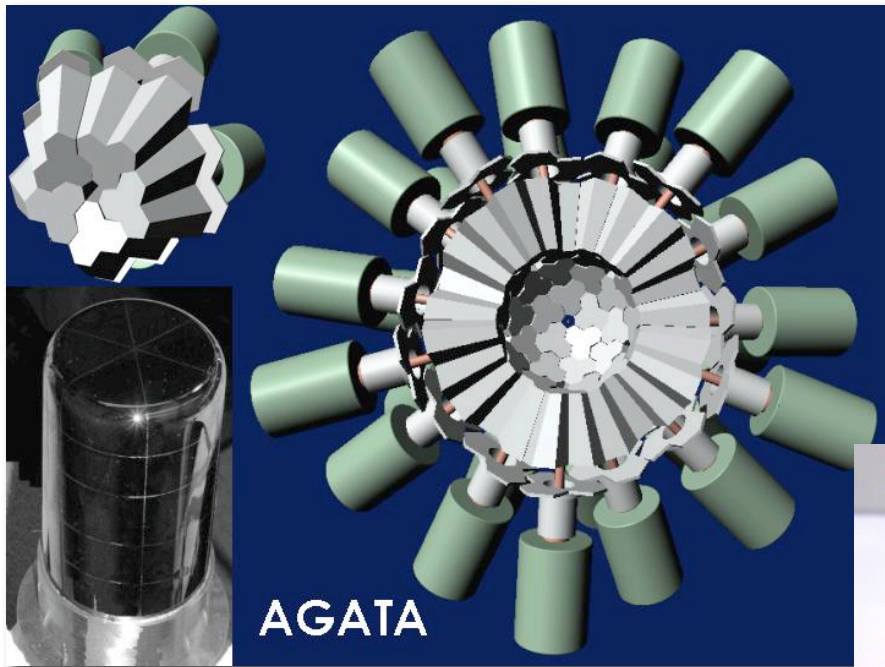
Structure nucléaire : spectrométrie gamma

- AGATA (tracking gamma)
 - Importante contribution du CSNSM
 - 3 team leaders
 - Responsabilités CSNSM
 - Étapes importantes: démonstrateur, conseil scientifique IN2P3 fin 2008, vers une demande construction partielle ($\approx \pi$ stéradians)



Projets majeurs du CSNSM

- AGATA (tracking gamma)



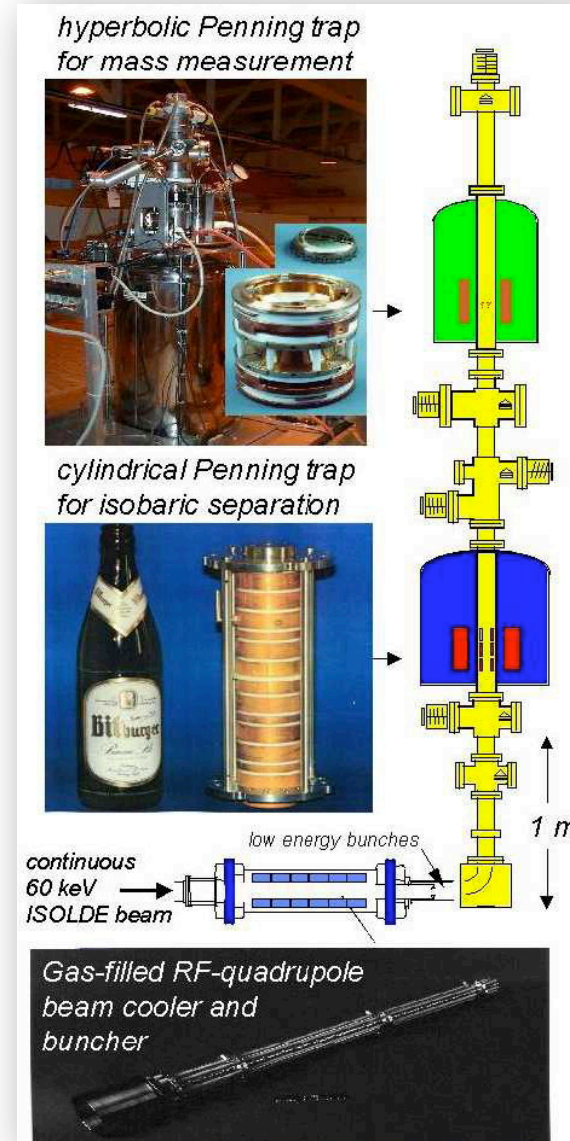
Mesures de masses atomiques

- Spectromètres de masse
- Pièges de Penning et de Paul
- Développements en vue de SPIRAL-2
- Vers la mesure de la masse de l'antihydrogène (collaboration CEA, CNRS, ETHZ, CERN, Tokyo) ?



Mesures de masses atomiques

- Spectromètres de masse
- Pièges de Penning et de Paul
- Développements en vue de SPIRAL-2
- Vers la mesure de la masse de l'antihydrogène (collaboration CEA, CNRS, ETHZ, CERN, Tokyo) ?

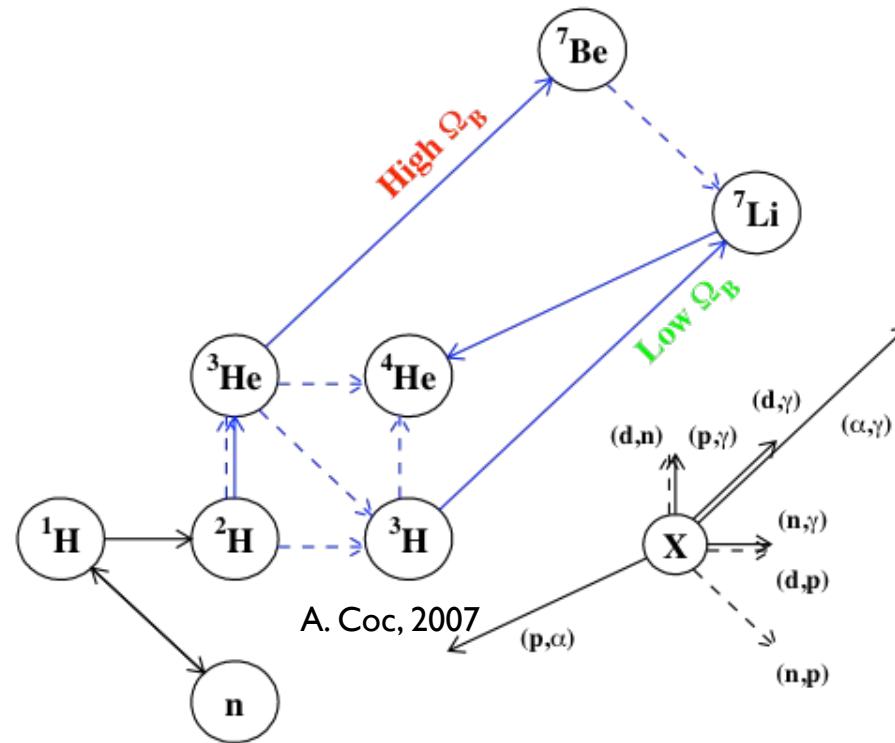


Astrophysique nucléaire

- Activité reconnue au meilleur niveau international sur nucléosynthèse primordiale et stellaire
- Synthèse critique des résultats
- Mesures de sections efficaces
- Tests cosmologiques
- Astronomie gamma INTEGRAL

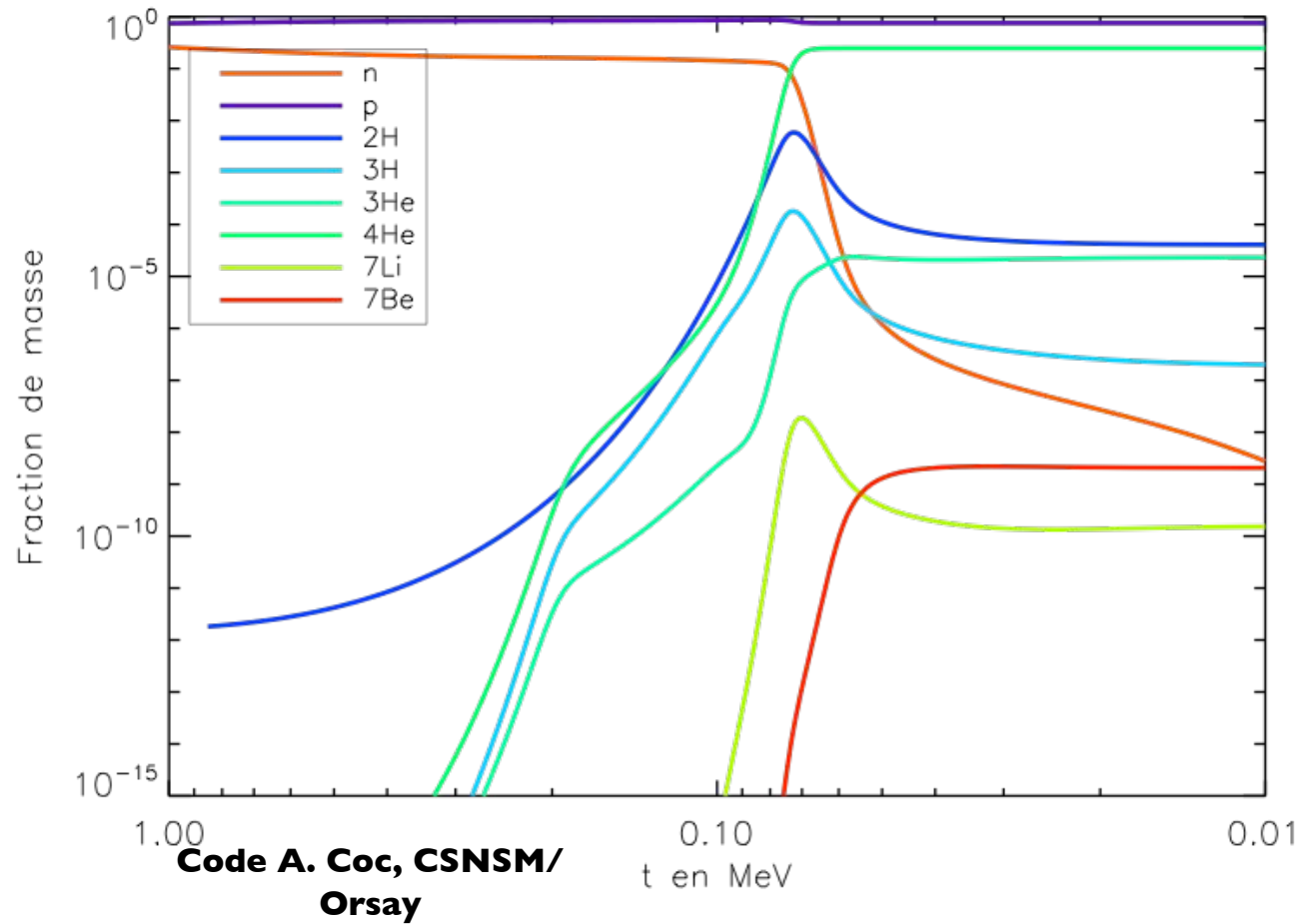
Standard Big-Bang Nucleosynthesis

- Trois premières minutes de l'Univers : fabrication des éléments nucléaires légers
- Réseau de réactions maintenant bien mesuré expérimentalement



Standard Big-Bang Nucleosynthesis

- Prédiction assez précise des abondances en fonction du temps



L'énigme du ${}^6\text{Li}$

- Valeur approximativement constante (« plateau ») du ${}^6\text{Li}$ pour étoiles « calmes »
- Valeur \approx deux ordres de grandeur supérieure à valeur prévue par BBN standard
- Production stellaire

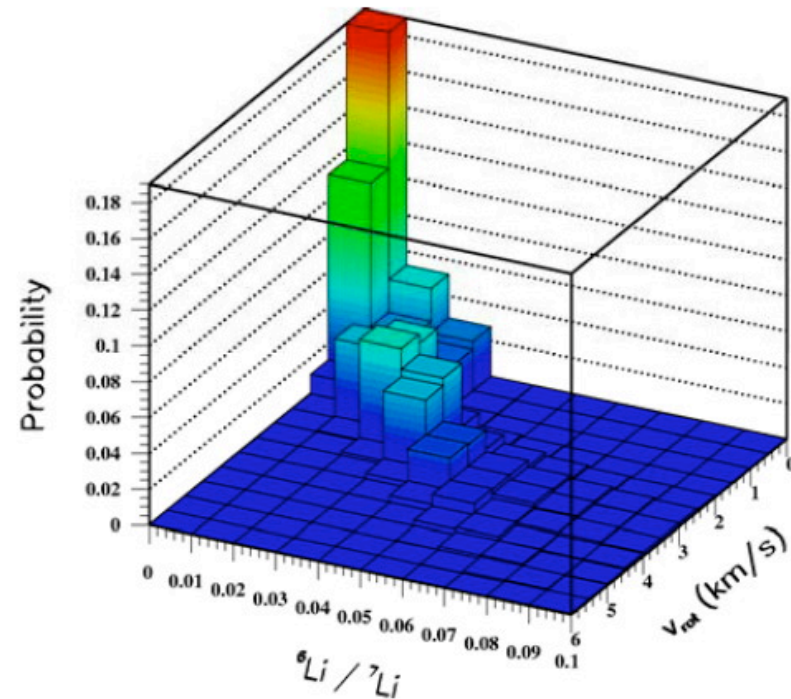


Figure 3: Double differential probability distribution showing the correlation expected between ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ and the stellar rotation velocity.

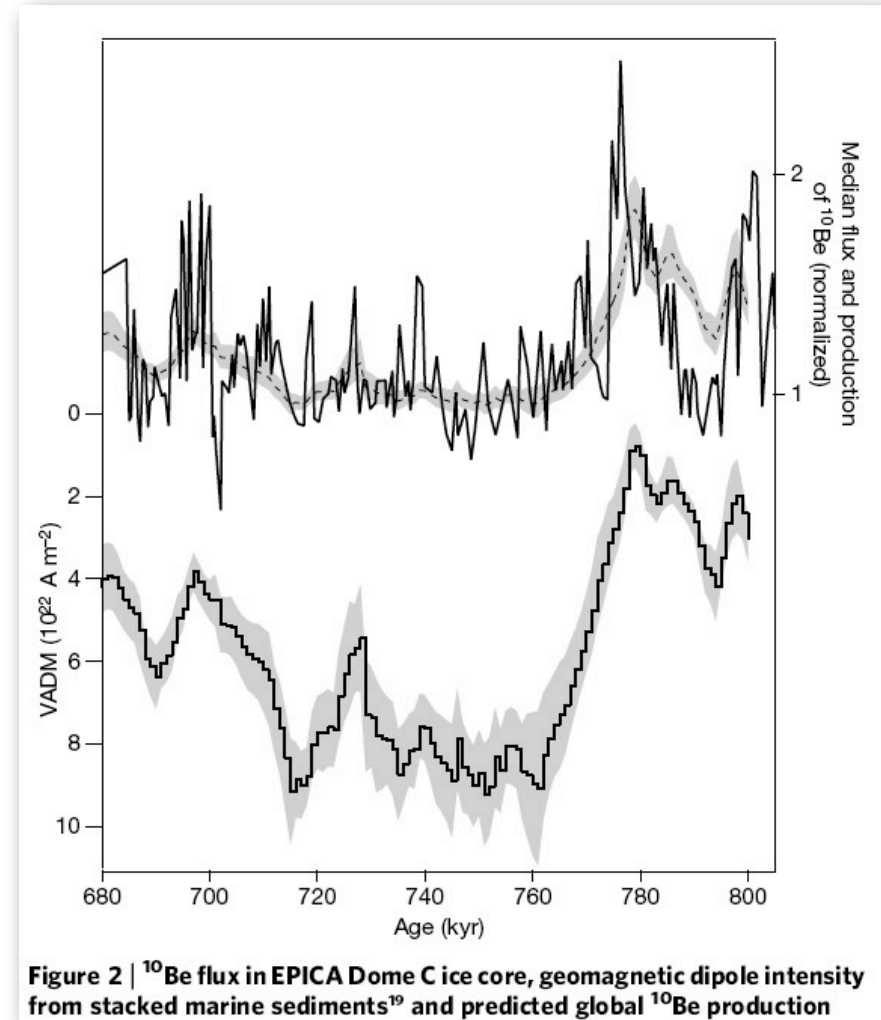
Prix Descartes pour EPICA

- EPICA : European Project for Ice Coring in Antarctica
- Forage de 3260 mètres de profondeur
- Vision de profondeur $\approx 800\ 000$ ans sur le climat terrestre
- Fondamental de calibrer l'échelle en temps aux profondeurs élevées du forage
- Mesure ^{10}B cosmogénique au CSNSM (G. Raisbeck)



Prix Descartes pour EPICA

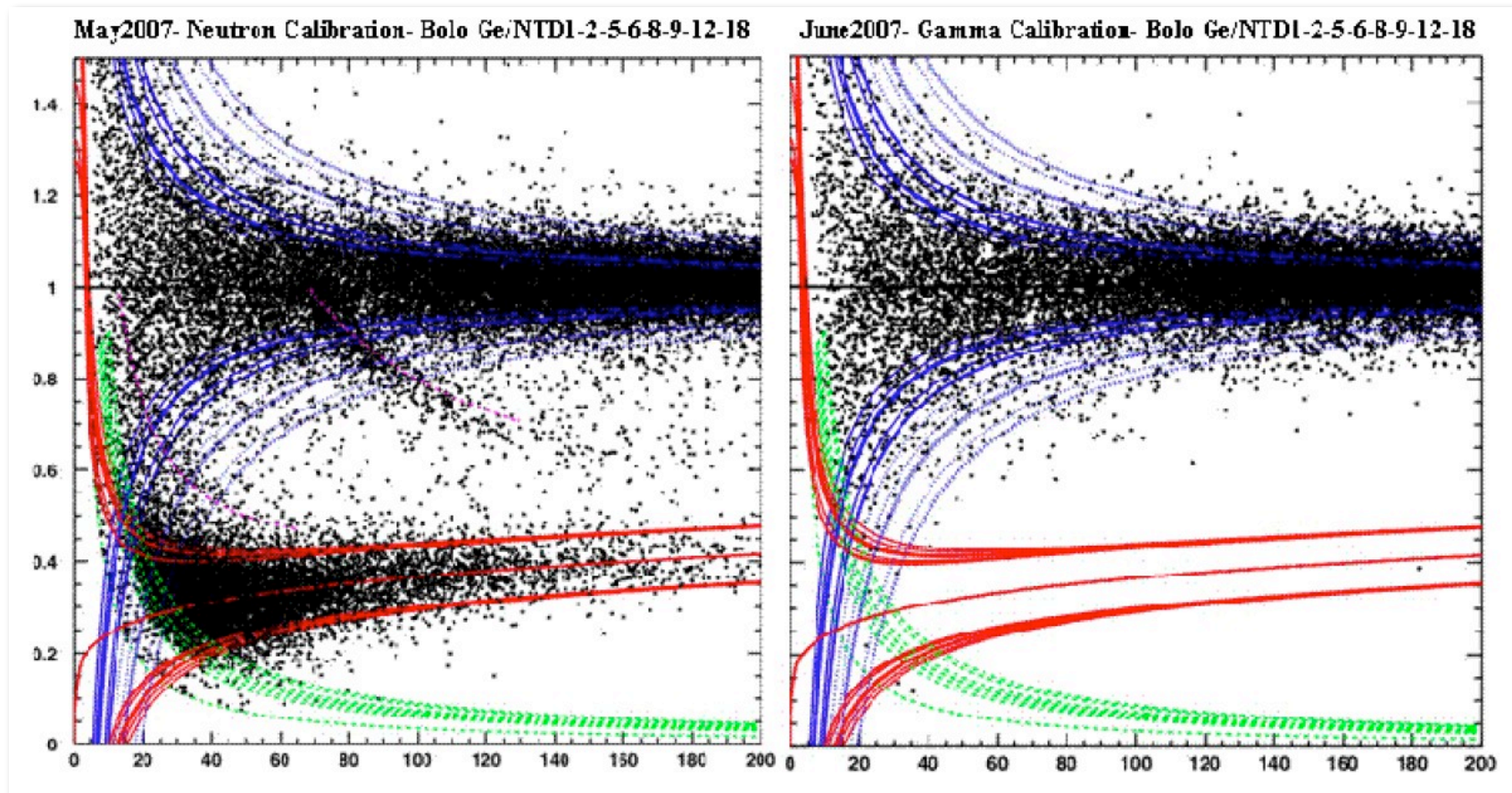
- EPICA : fondamental de calibrer l'échelle en temps aux profondeurs élevées du forage
- Mesure ^{10}B cosmogénique : repérer la production accrue de ^{10}B au moment de l'inversion du dipôle magnétique terrestre



Projets majeurs du CSNSM

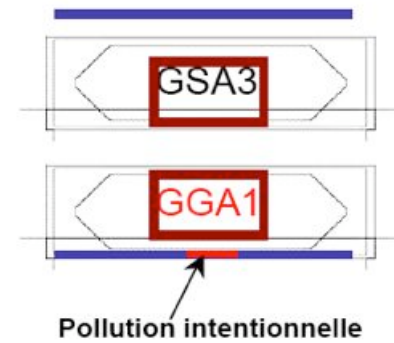
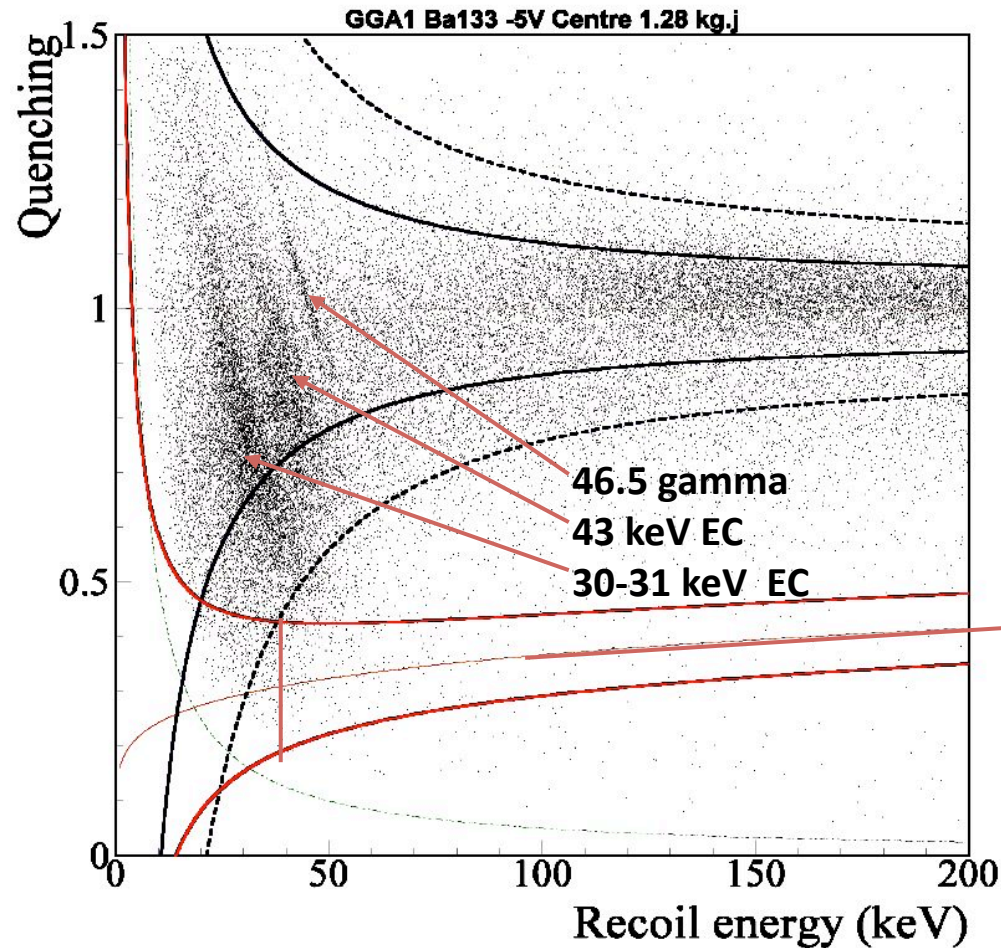
- EDELWEISS-2
 - Nouvelle phase ambitieuse de l'expérience
 - Début d'une exploitation novatrice
(cryostat 100 litres 10 millikelvin)
 - Deux types de détecteurs développés au CSNSM retenus pour la phase 100 détecteurs
 - Futur : expérience européenne EURECA
 - Détecteurs bolométriques comme contribution majeure dans EURECA

Détecter les WIMPs : identifier les reculs nucléaires

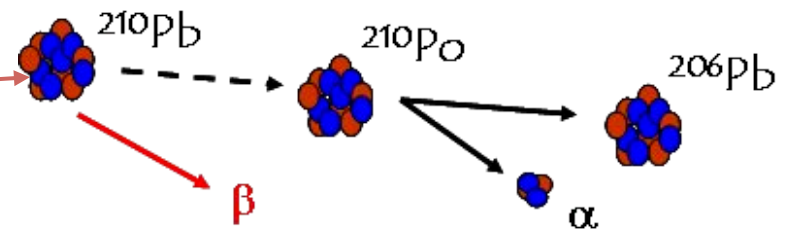


Détecteurs cryogéniques Edelweiss

Rejet parfait sauf... pour les événements de surface



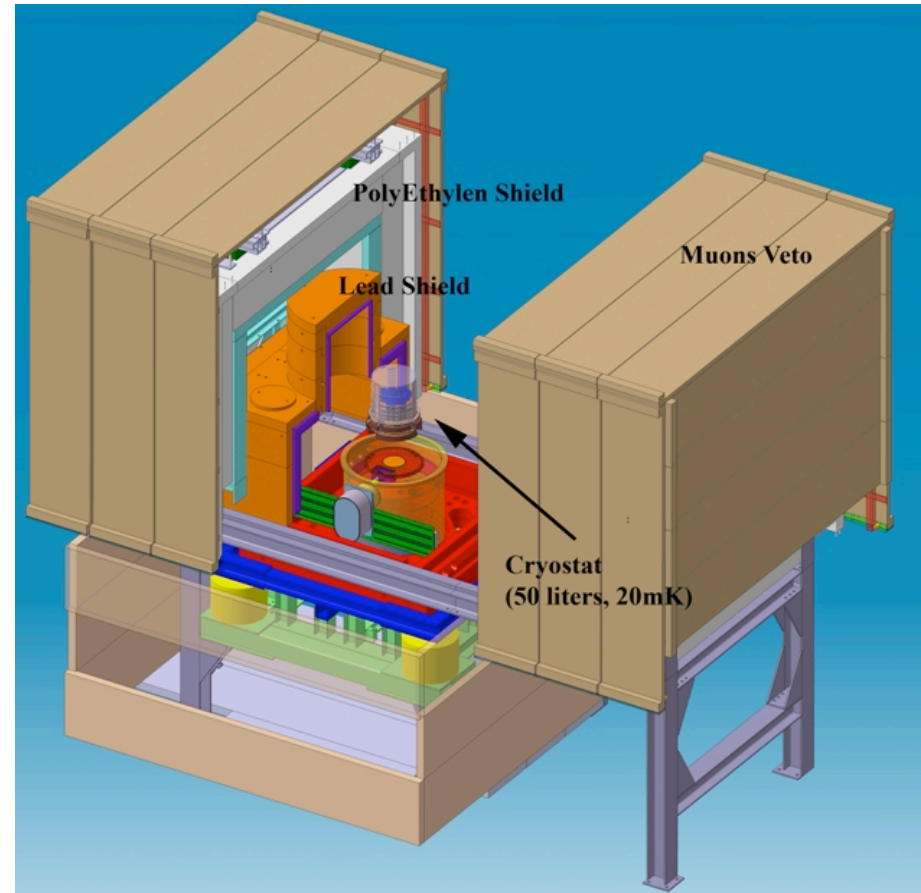
Source = 2500 fois EDW1
en alpha
⇒ 200(+/-100) evts/kg.j attendus
⇒ 130 mesurés dans ROI



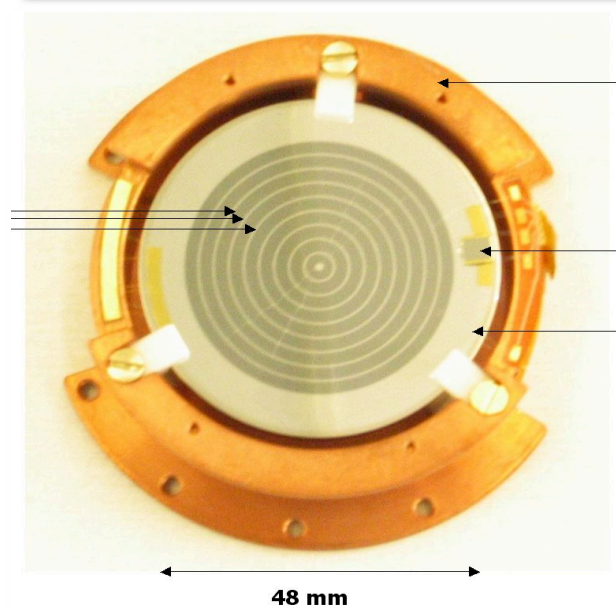
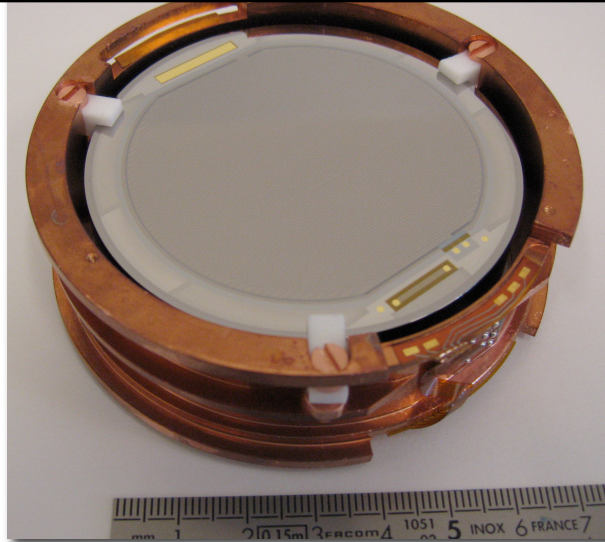
Env 2% des betas dans la zone
de recul pour $30 < E_r < 100 \text{ keV}$

Rejet beta de $\sim 1/1000$ nécessaire pour atteindre 10^{-8} pb!

Étape « 30 détecteurs » »



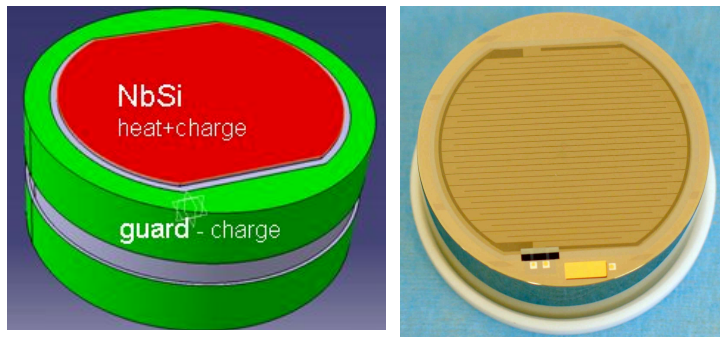
Contributions CSNSM à EDELWEISS-II



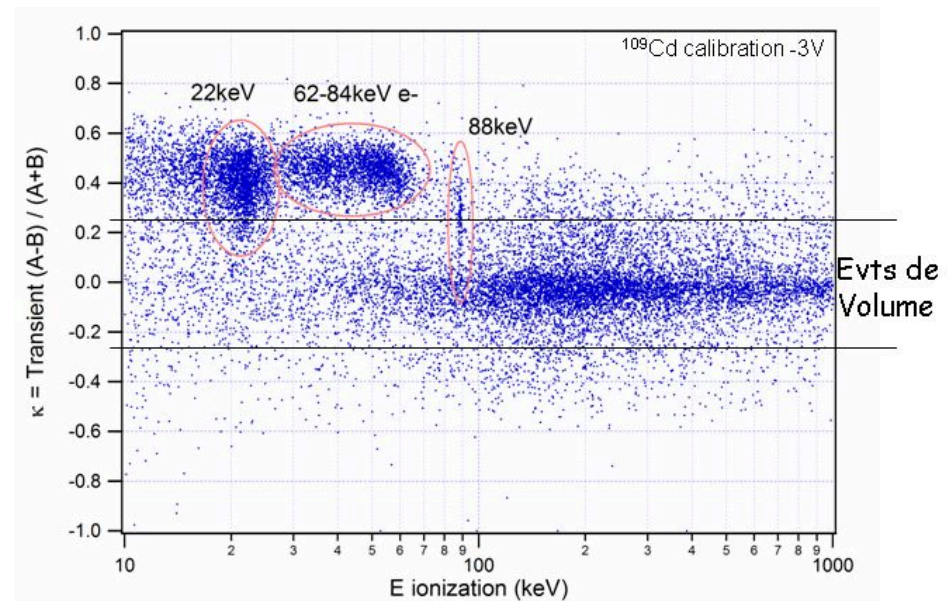
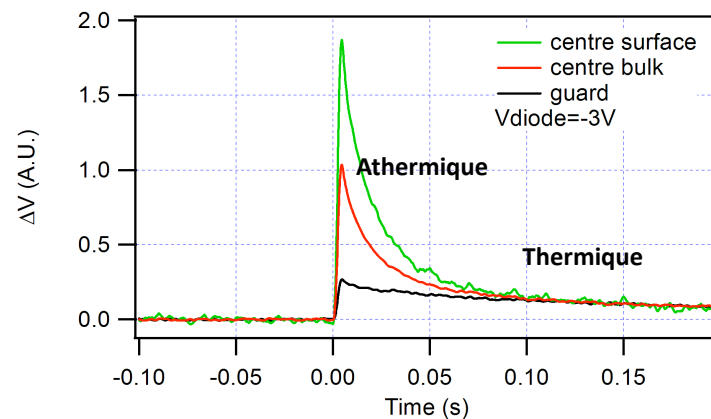
- Détecteurs bolomètres avec senseurs NbSi avec identification et rejet événements de surface
- Détecteurs Interdigitit avec identification et rejet événements de surface
- Câblage cryogénique très faible capacitance
- Expertise TBT et physique des solides

Ge/NbSi : principe de l'identification evts de surface

- Identification des evts de surface par **utilisation des phonons athermiques**
- Energie déposé par régime thermique



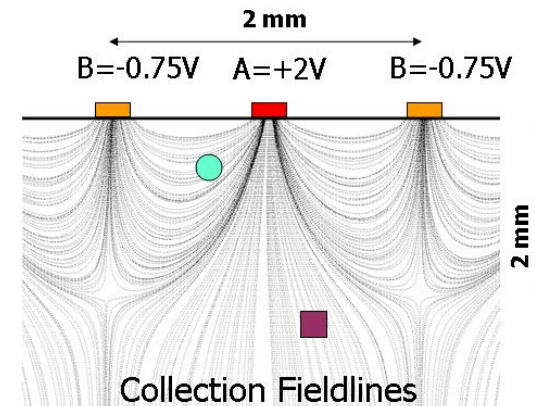
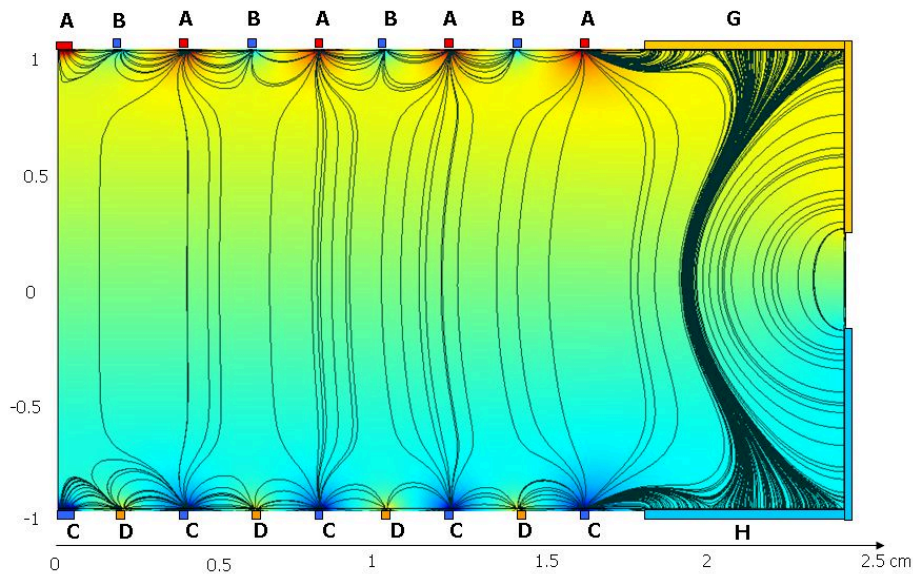
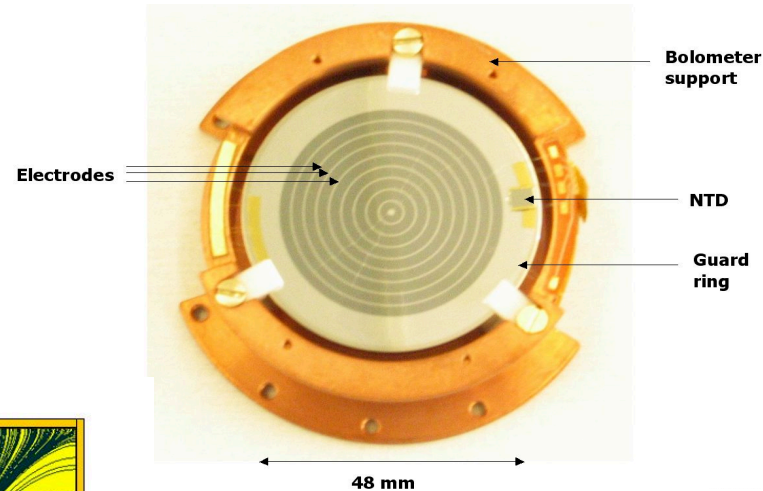
- **Sous-couche Germanium amorphe**
- **2 voies ionisation (3 possibles)**
- **2 voies chaleur film minces NbSi**



Ge/ID : principe de l'identification evts de surface

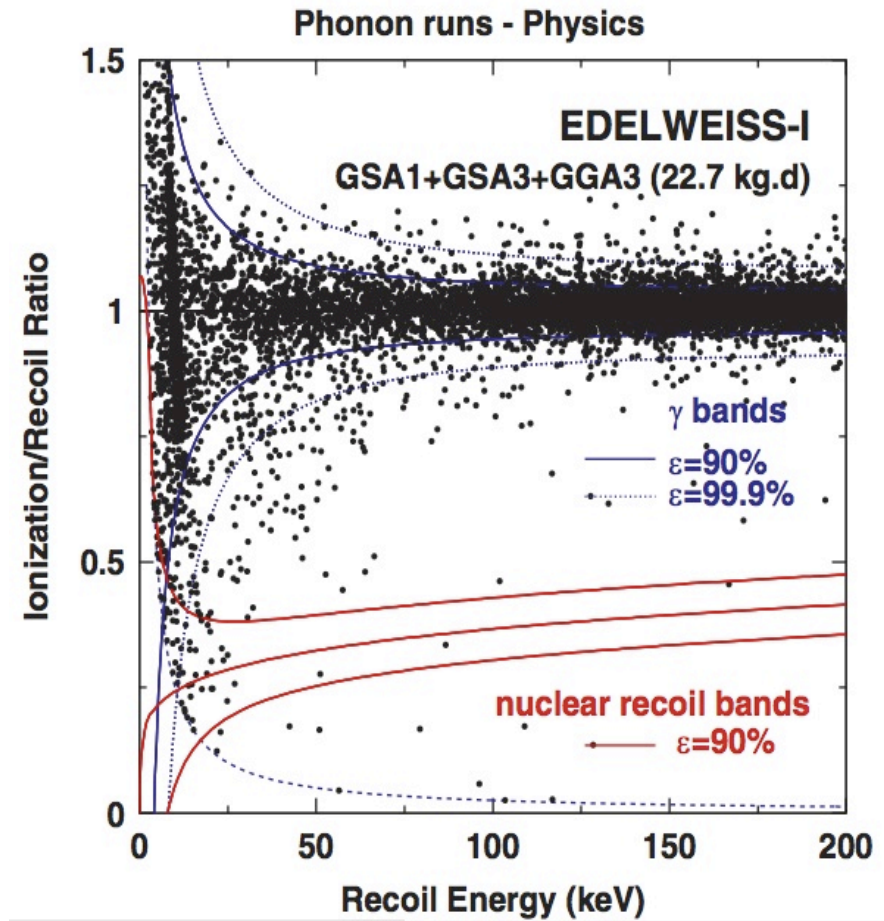
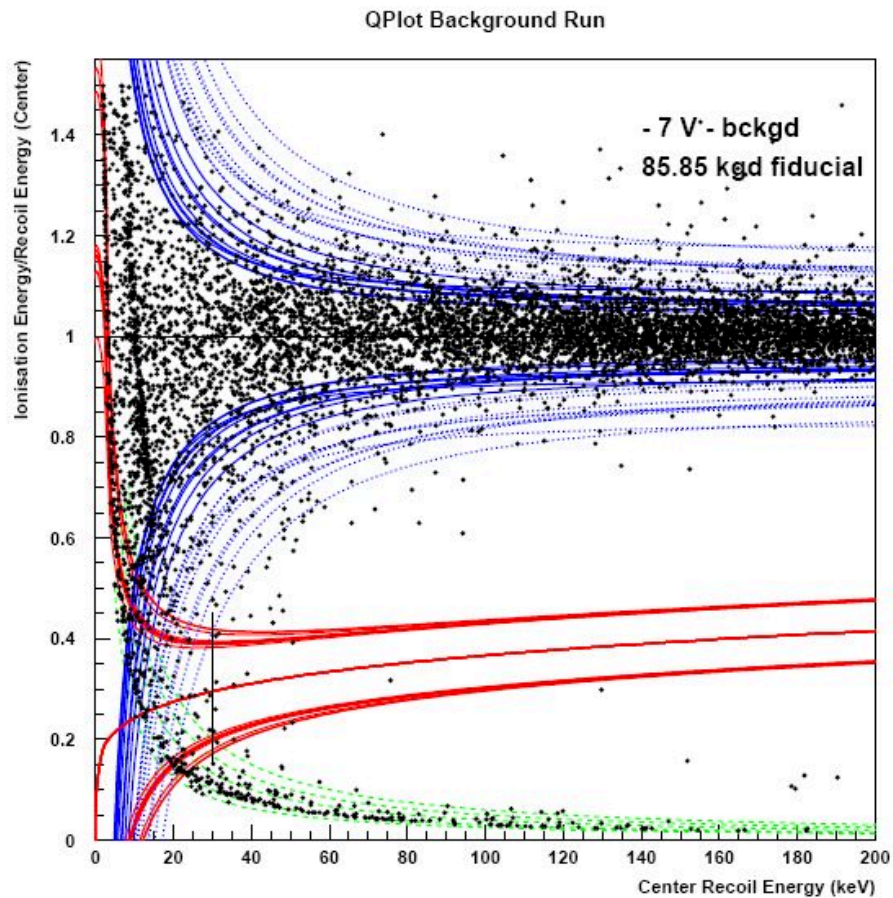
1^{er} Proto ID201 (juin 2007):

- 193g crystal
- Germanium amorphous underlayer
- 6 ionisation channels
- 1 heat channel (NTD thermometer)



- Identification des événements de surface par utilisation des voies ionisation
- Application de champs électriques verticaux dans le volume et horizontaux en surface
- Toute collecte sur B ou D signe un evt de surface

Premiers résultats Edelweiss-II



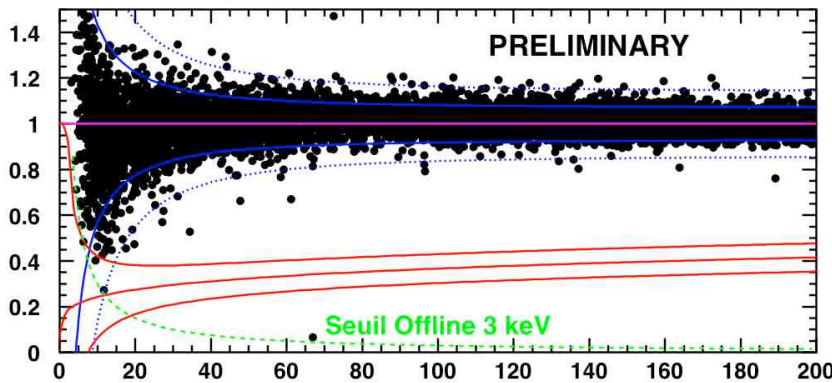
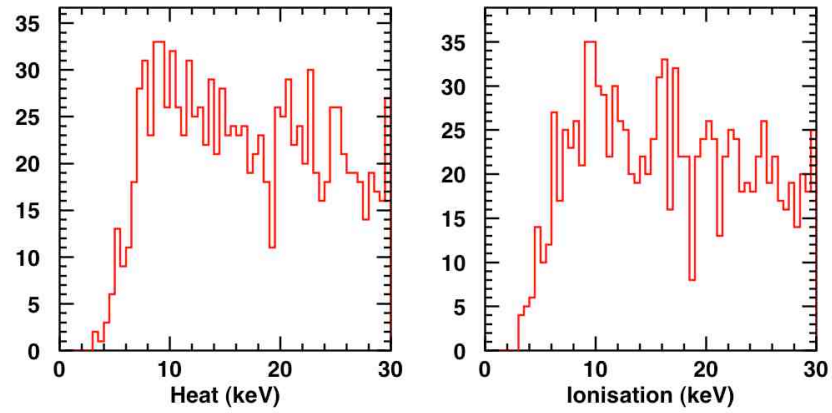
Taux recul $\sim 0.1\text{evt/kg/j}$ dans 30-200keV

Gain appréciable mais trop limité par rapport EDW-I...

Sensibilité 10^{-7} picobarn, puis nouvelle génération de détecteurs

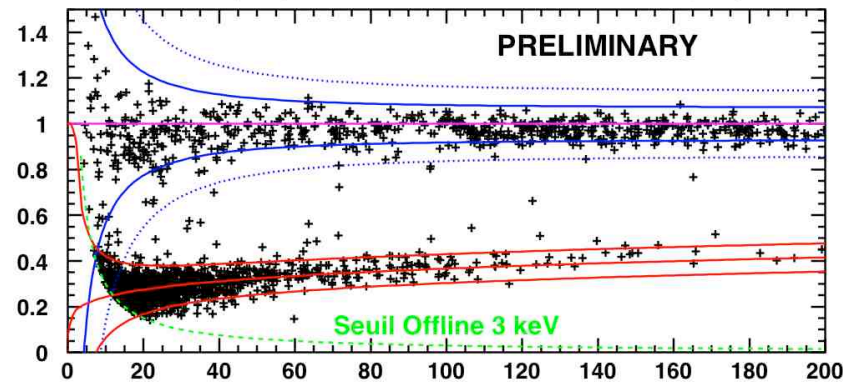
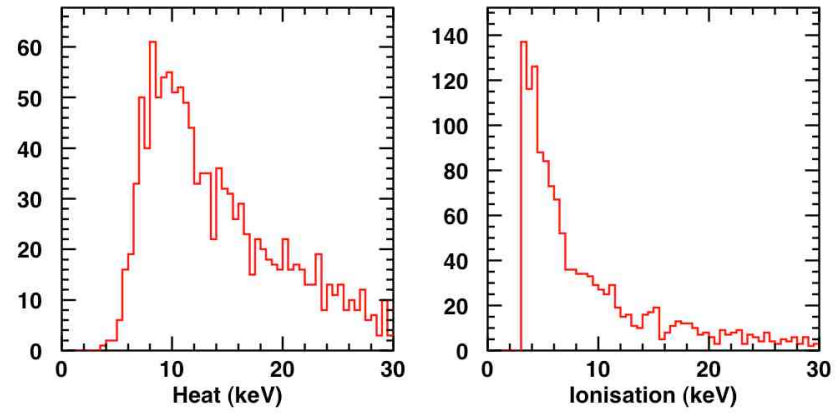
Premier détecteur InterDigit

ID - xx days - Fiducial selection



Calib γ
Rejet > 1/20000

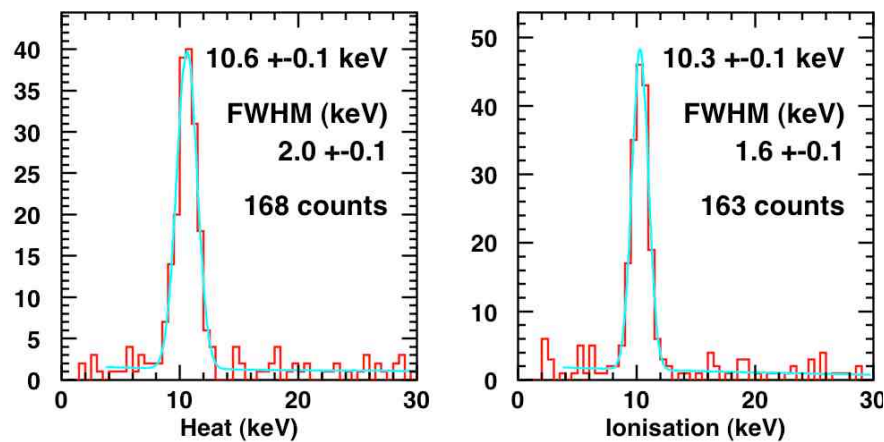
ID - xx days - Fiducial selection



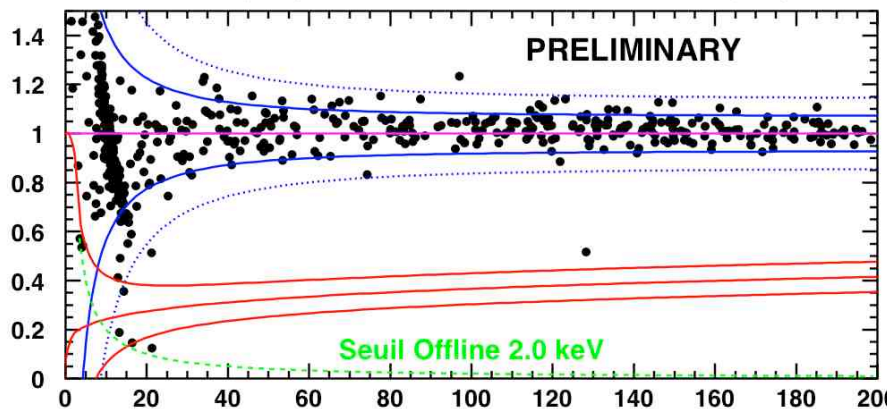
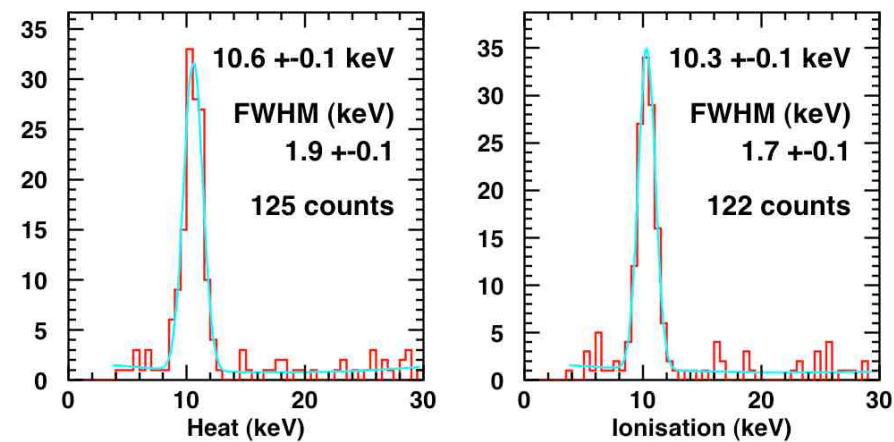
Calib n
Vfid~50%

Premiers résultats InterDigit excellents

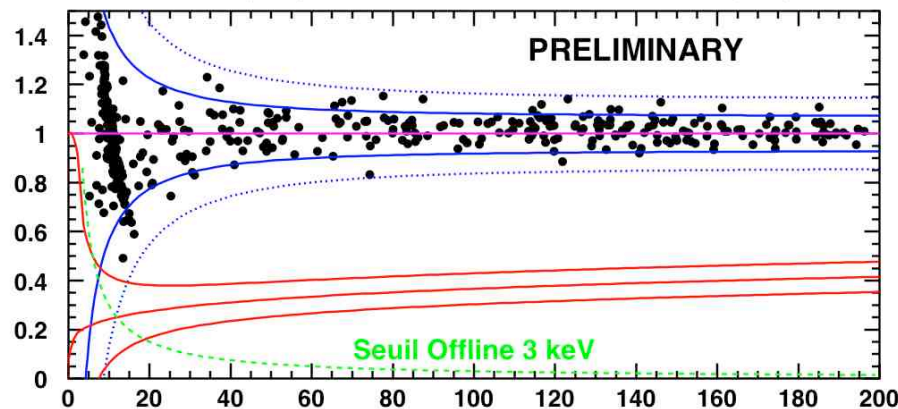
ID 60.82 fid. days. Cuts (ion,cha) = (1000, 1000) keV



ID 43.03 fid. days. Cuts (ion,cha) = (1.25, 2.5) keV



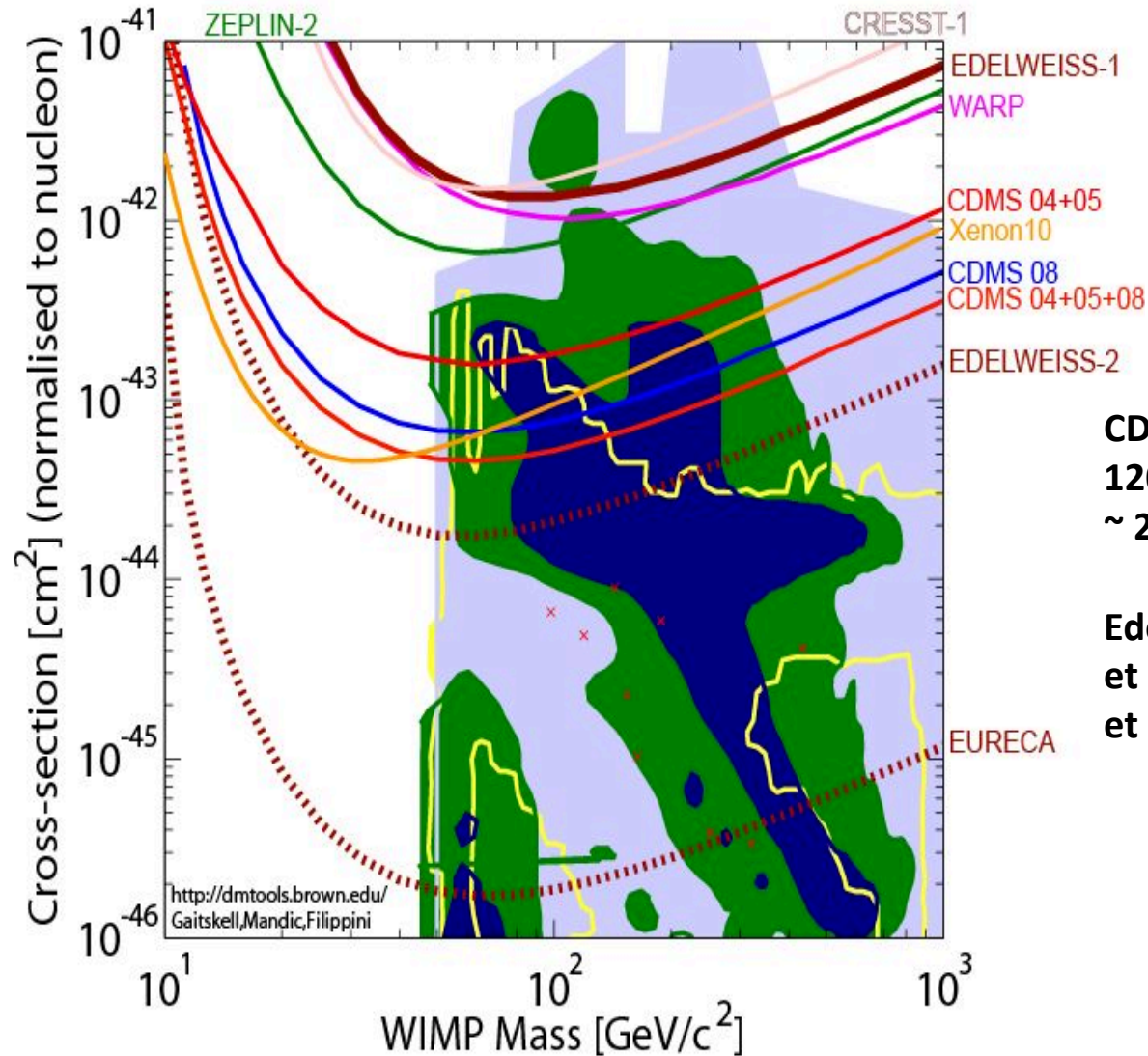
Pas de Coupure = 6.1 kg/j



Coupure qualité = 4.3 kg.j

Confirmer ce premier résultat en utilisant une dizaine de détecteurs...

Sensibilité Edelweiss-II et EURECA

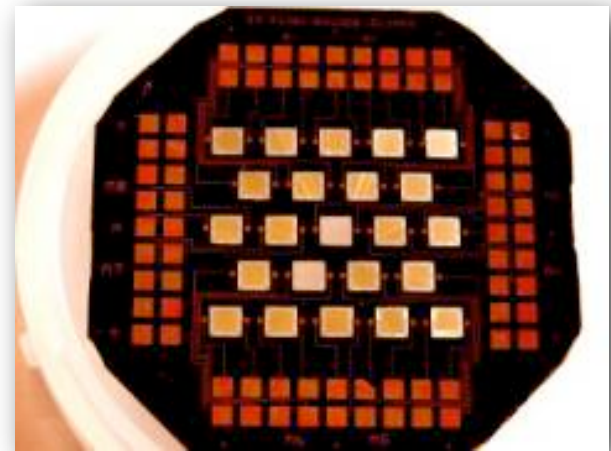
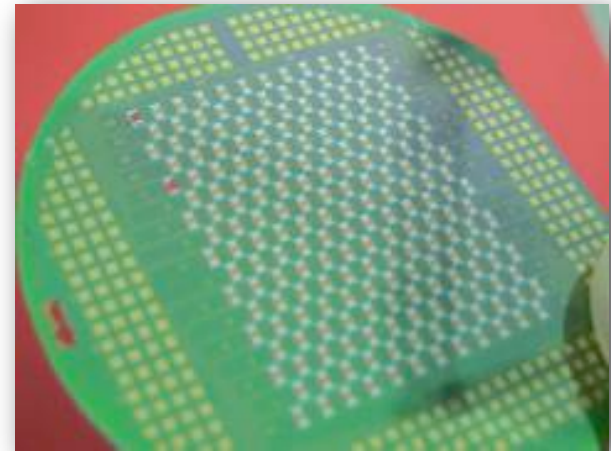


CDMS 2008 =
120 kg.j 0 evts > 10keV
~ 240 kg.j 0 evts > 20keV

**Edelweiss-II peut rattraper
et dépasser CDMS en six mois
et en utilisant 10 détecteurs ID**

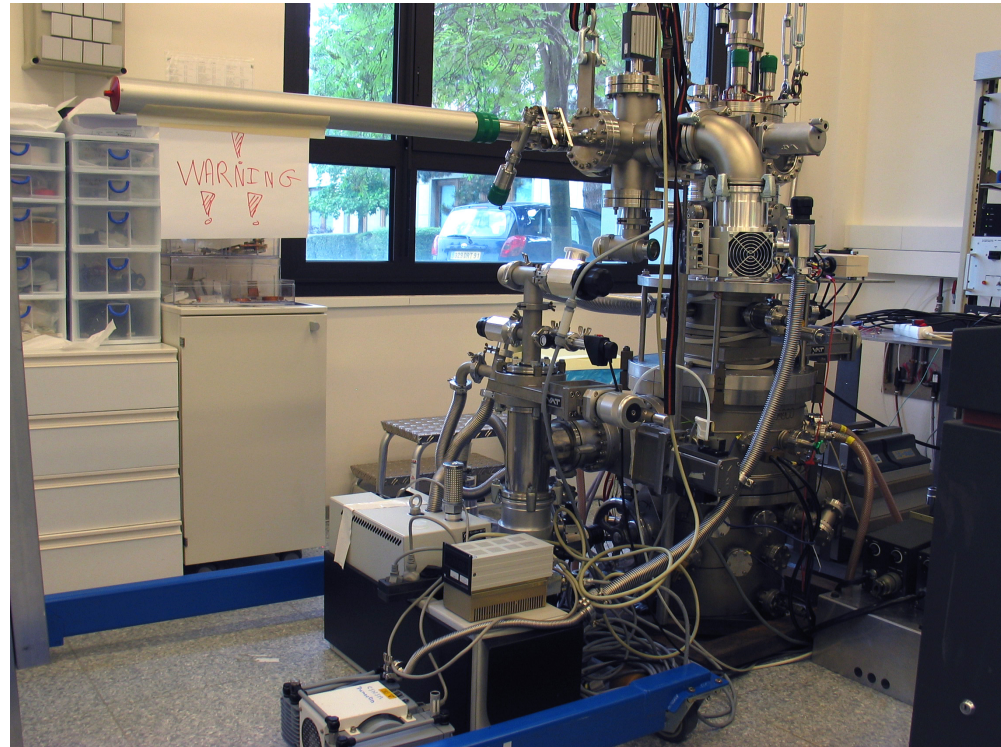
Matrices de bolomètres

- DCMB, matrices bolomètres
 - Financement CNES
 - Collaboration étroite avec Minerve
- Objectifs scientifiques
 - Olimpo, BRAIN Dôme C
- Collaboration avec Institut Néel Grenoble, APC Paris, IAS, Minerve, ...
- Objectifs scientifiques :
 - polarisation CMB
 - observations millimétriques

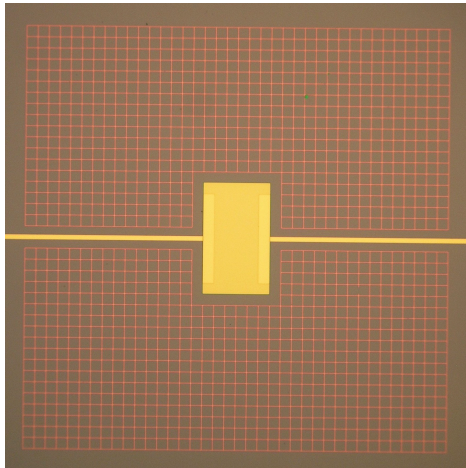


NbSi thin film fabrication

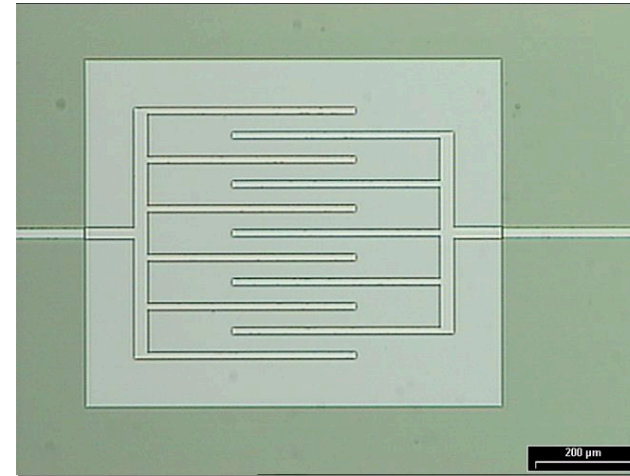
- ❑ Co-evaporation of pure Nb and Si
- ❑ Sample rotation at 3 RPM
- ❑ Evaporation rate 3 \AA s^{-1}
- ❑ Composition reproductibility $< 0.1\%$
- ❑ Sample size :
2 inches – 4 inches
- ❑ Thermal control



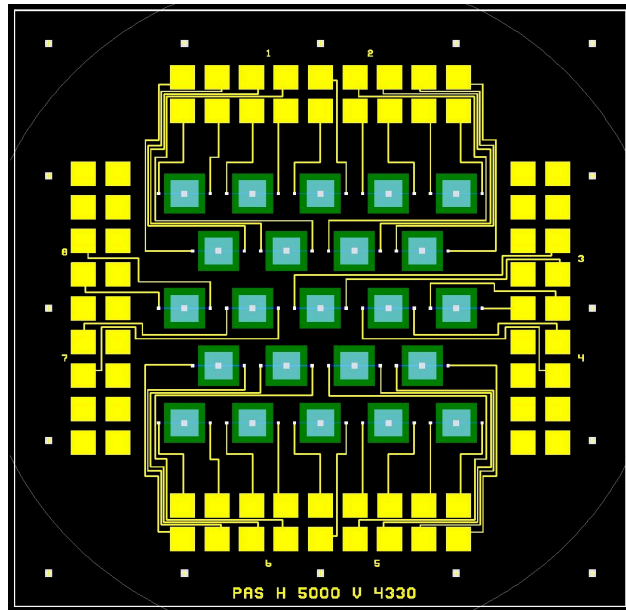
NbSi co-evaporation at CSNSM / Orsay



- High impedance NbSi sensor
(200 μm X 400 μm X 100 nm)
- Grid absorber 2X2 mm² ($Z_C = 377 \Omega$)

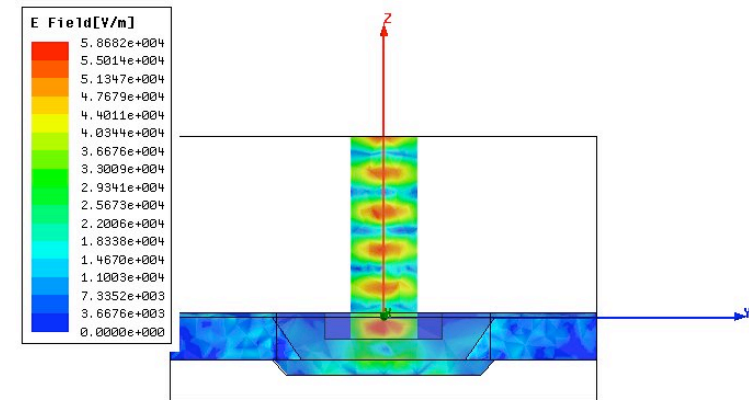
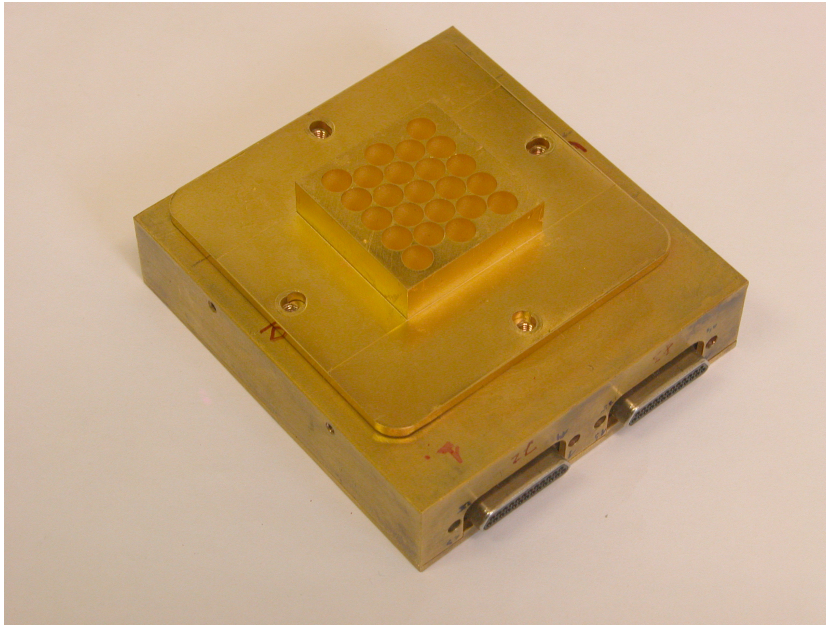


TES NbSi sensor
($x = 15\%$, $T_c = 335 \text{ mK}$, $R_n \sim 0.8 \Omega$)

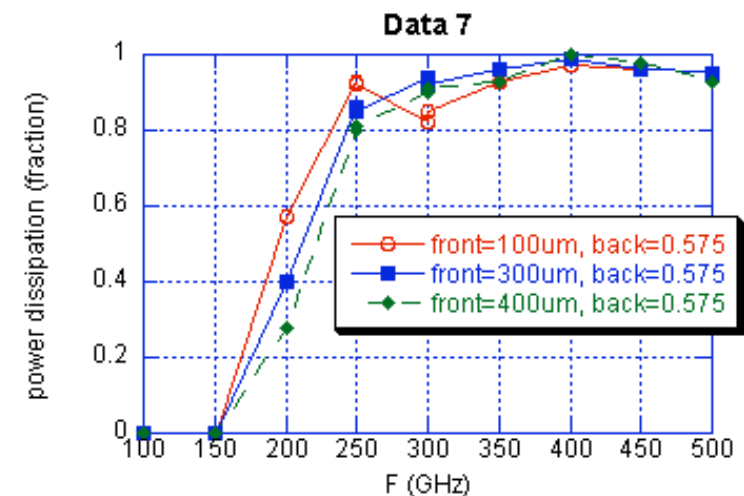


- Classical architecture on full or structured LS-Si₃N₄ membranes
- Deep etching process developed at IEF / Orsay or standard wet etching can be used (KOH, TMH)
- NbSi thermometers :
 - Anderson insulator for Nb < 9%
 - TES for Nb > 12% (adj. T_c 50 mK – 1K)

First matrices for OLIMPO (CMB)

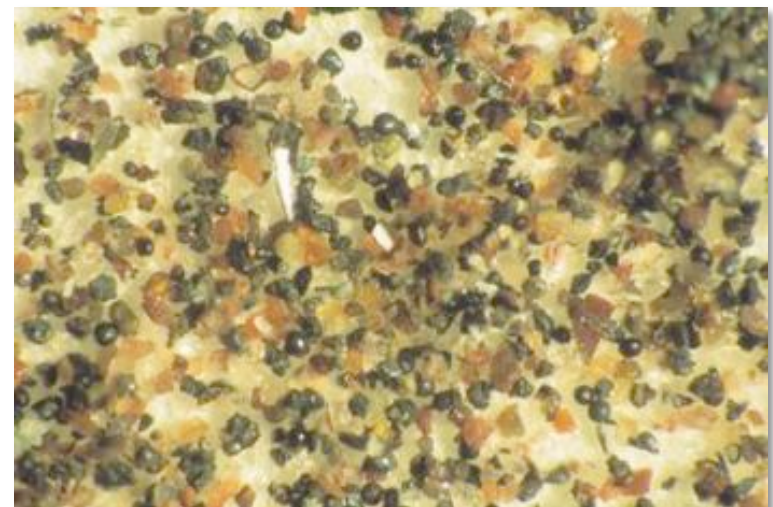


- Small prototype arrays of 23 pixels @ 300mK
- Frequency channels 500-600 GHz and 380-440 GHz (TBC)
- Resonant cavity design
- Backshort / front distances $\lambda/4$ (2nd wafer)
- Crosstalk < 1%



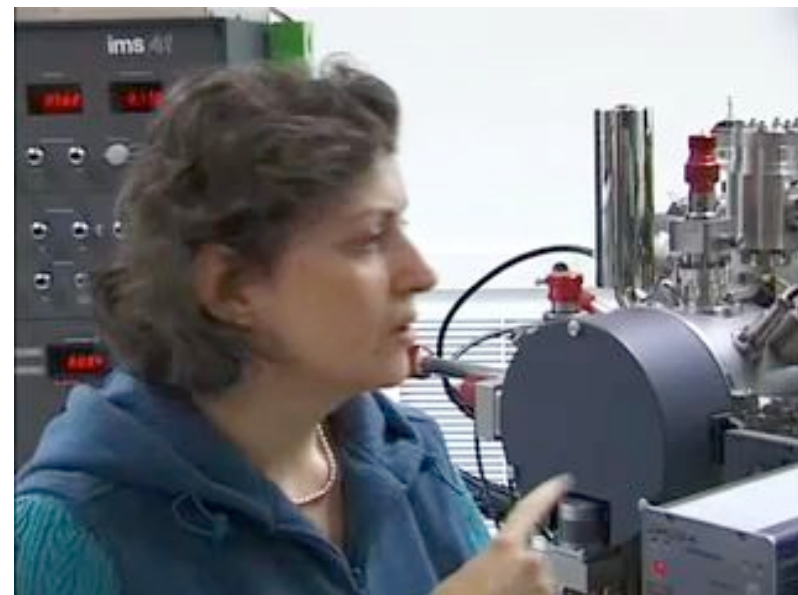
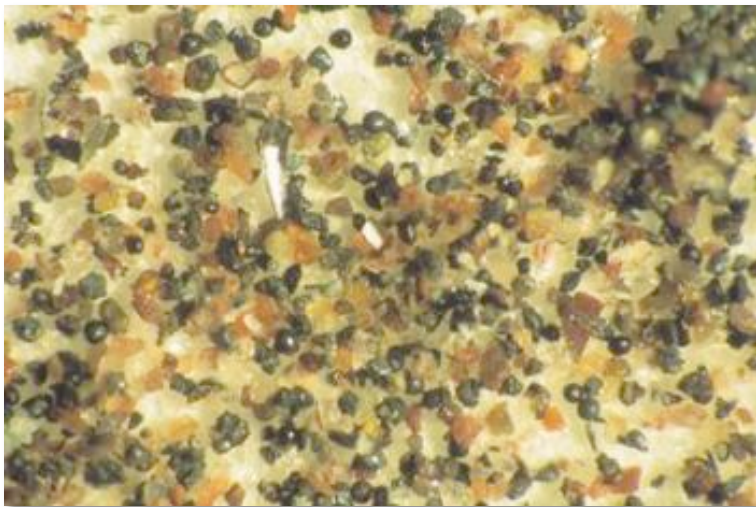
Astrophysique solide (micrométéorites)

- Collection unique de micrométéorites Concordia (Antarctique)
- La majeure partie de la matière extra-terrestre qui tombe sur Terre : sous forme de micrométéorites
- Identification par analyse isotopique



Astrophysique solide (micrométéorites)

- Collection unique de micrométéorites Concordia (Antarctique)
- La majeure partie de la matière extra-terrestre qui tombe sur Terre : sous forme de micrométéorites
- Identification par analyse isotopique

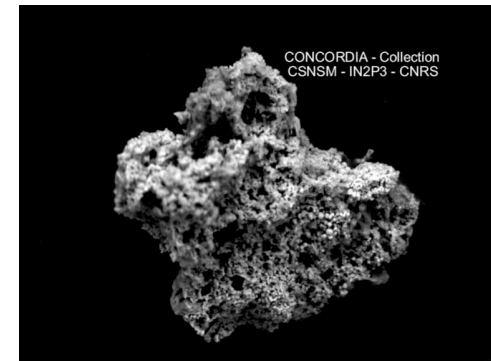
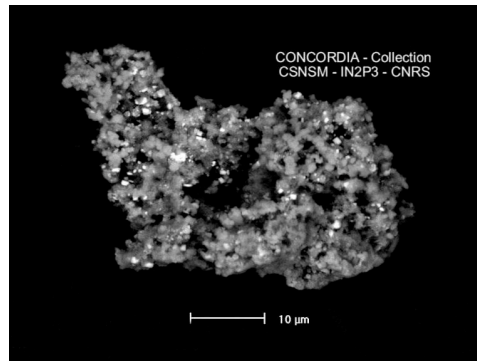
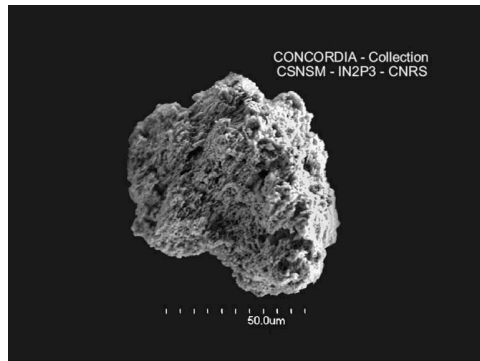
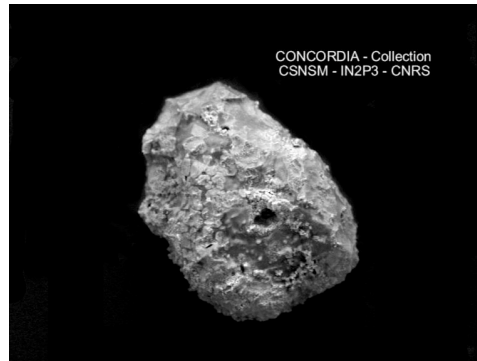
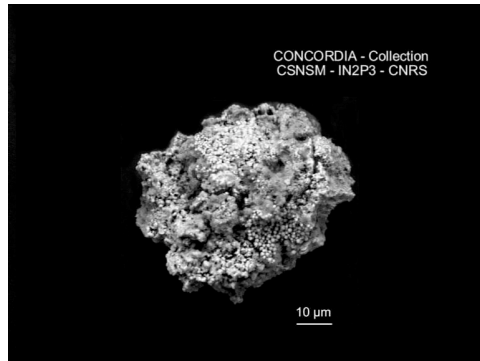


Astrophysique solide (micrométéorites)

- Collection unique de micrométéorites Concordia
 - Financement CNES, IPEV, programme planétologie, SBNA
 - Microsonde ionique comme outil privilégié d'analyse
 - Projet de développement d'un nouveau modèle de microsonde
 - Un exemple d'application...

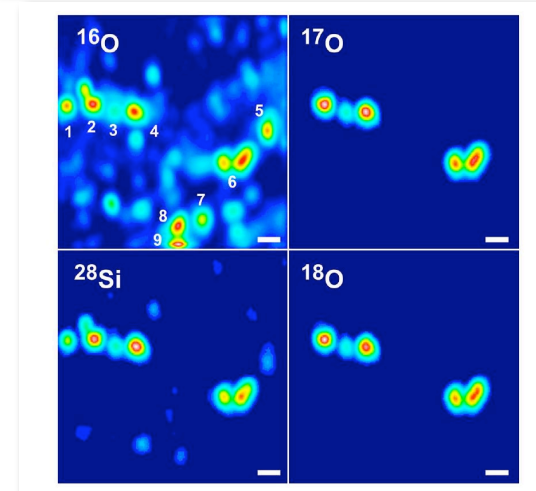
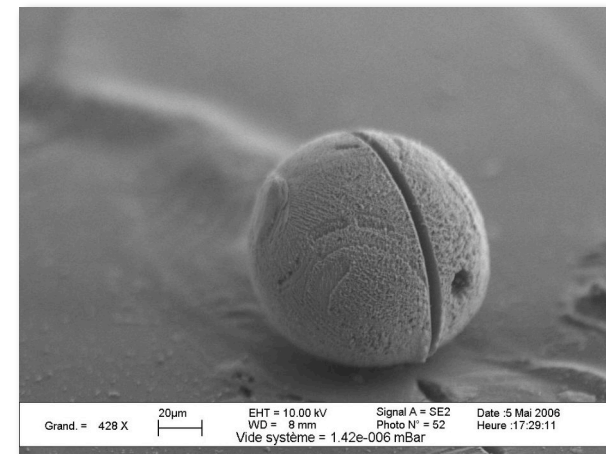


Exemples de micrométéorites



Astrophysique solide (micrométéorites)

- Collection micrométéorites Concordia
- Analyser la composition isotopique des micrométéorites à l'échelle micronique (voir figure ci-jointe)
- Manipulation et découpe fine des micrométéorites par faisceau ion (Focused Ion Beam, FIB)
- DVD « Poussières du Pôle » réalisé par Jean Duprat et al.



Conclusions partielles

- Le CSNSM présente (en dépit de son nom) un vaste champ d'activités interdisciplinaires
- Autour de la physique nucléaire, importantes composantes :
 - astrophysique
 - physique du solide
 - physique des matériaux
 - physico-chimie du solide
 - micrométéorites – origine planétaire
 - détecteurs cryogéniques
- Contributions originales, instrumentales, analyse ou modèles
- Importance de la maîtrise des faisceaux d'ions :
programme JANNuS, structuration de la matière, matériaux