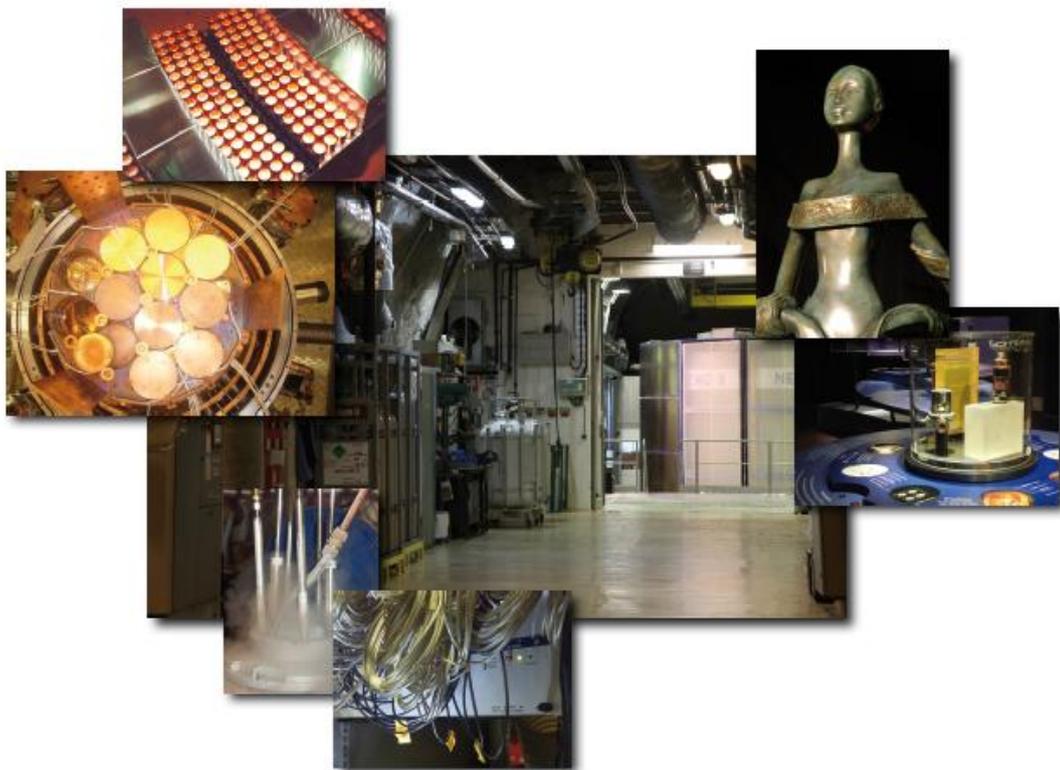


# Laboratoire Souterrain de Modane

UMR 6417 / IN2P3 - CNRS / IRFU – CEA

## Rapport d'activité 2007-2011



Carré Sciences LSM - 1125 route de Bardonnèche - 73500 MODANE  
Tel. +33 4 79 05 22 57 - Fax. +33 4 79 05 24 74 - <http://www-lsm.fr>

**COMPTE-RENDU D'ACTIVITES**  
**2007 - 2011**

## INTRODUCTION

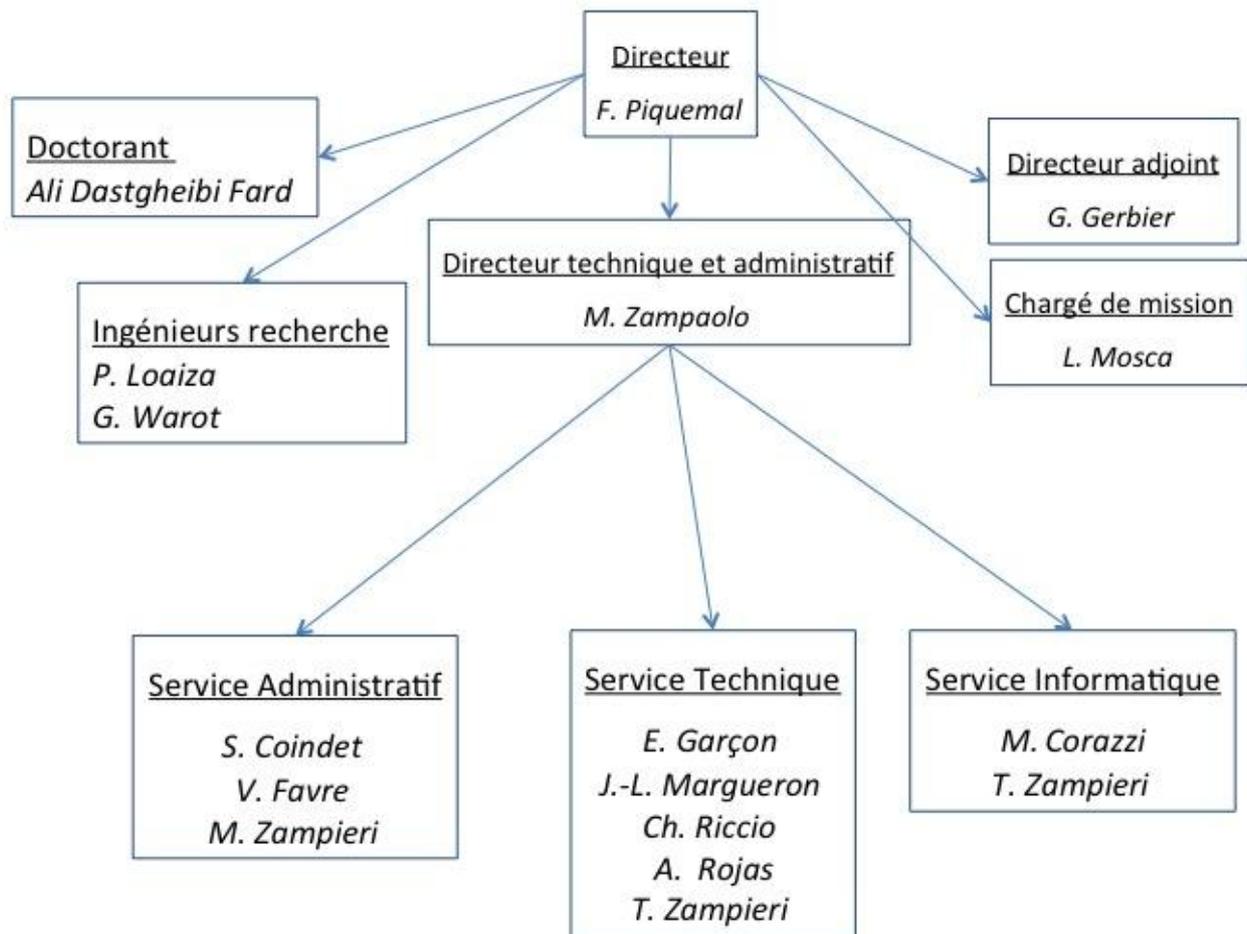
Le Laboratoire Souterrain de Modane est une unité mixte de recherche CNRS et CEA. Les années 2007 -2011 ont été très riches pour le LSM. Tout d'abord, les expériences EDELWEISS (matière noire) et NEMO3 (neutrinos) ont publié des résultats qui ont atteint les meilleures limites mondiales dans leur domaine respectif. De nouveaux spectromètres gamma appartenant à l'IRSN, au LSCE (Gif/Yvette) et au LSM ont été installés. Désormais le LSM accueille 14 spectromètres gamma très bas bruit de fond ce qui constitue le plus grand parc au monde en laboratoire souterrain très profond. L'activité de recherche du LSM s'est développée pour améliorer les performances des spectromètres gamma dans le cadre du programme européen ILIAS et en réalisant des mesures de très faible radioactivité pour les différentes expériences installées au laboratoire. Le développement des mesures de spectroscopie gamma très bas bruit de fond a permis à de nouveaux utilisateurs d'utiliser les détecteurs présents au LSM notamment l'EDYTEM (Université de Savoie) pour l'étude de l'effet de l'homme sur l'environnement et le LGGE (Université de Grenoble) pour des études de glaciologie et climatologie notamment. Le LSM a également accueilli des prototypes de détecteurs comme la TPC Sphère pour la détection des neutrinos de supernovae ou BiPo pour la mesure de feuille mince en Thallium 208 au niveau du microbecquerel par kilogramme. Dans le cadre de la convention de Laboratoire International Associé avec le JINR Dubna (Russie) et l'Université Technique de Prague (République Tchèque), des détecteurs neutrons et radon ont été développés pour le LSM. Le laboratoire s'est également doté des moyens nécessaires pour être en mesure de faire de la radiochimie pour les expériences de physique fondamentale mais aussi pour les recherches environnementales et les applications des mesures de très basse radioactivité. Une activité de valorisation a été également démarrée pour permettre dans le futur au LSM de développer ses ressources propres.

La sécurité est la priorité du laboratoire, de nombreux investissements ont été effectués pour l'améliorer. Le laboratoire a aussi mis en place un service informatique pour la maintenance du réseau, des systèmes d'information notamment reliés à la sécurité, la gestion du parc informatique du LSM et des expériences.

En 2009, le laboratoire a emménagé dans ses nouveaux locaux financés par la CNRS, le CEA, la région Rhône-Alpes, le conseil général de Savoie et les fonds européens FEDER. Ils nous ont permis de rassembler sur le même site, les bureaux des permanents et des visiteurs, les locaux techniques et des chambres d'hôte. Le nouveau bâtiment accueille également une exposition permanente sur les activités du laboratoire avec un succès croissant puisque 2 ans après son ouverture, elle a accueilli plus de 4000 visiteurs.

L'augmentation de l'activité du LSM se retrouve également dans l'évolution du personnel avec une augmentation de 25% des effectifs.

Depuis 2006, le LSM travaille également sur un projet d'extension du laboratoire en profitant des travaux de la galerie de sécurité du tunnel routier du Fréjus.



Organigramme du Laboratoire Souterrain de Modane

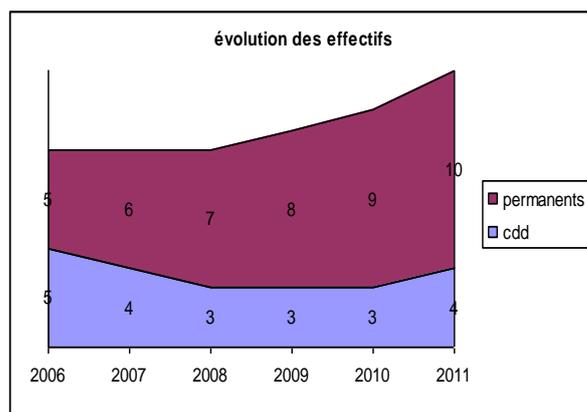
## Effectifs et budget

### Evolution des effectifs de 2006 à 2011 au LSM

Le déploiement des activités propres du LSM et la volonté du CNRS de fixer les agents sur le site de Modane, ont conduit à une augmentation notable des effectifs permanents au LSM sur la période 2006-2011.

Fin 2010, les effectifs se répartissent de la manière suivante :

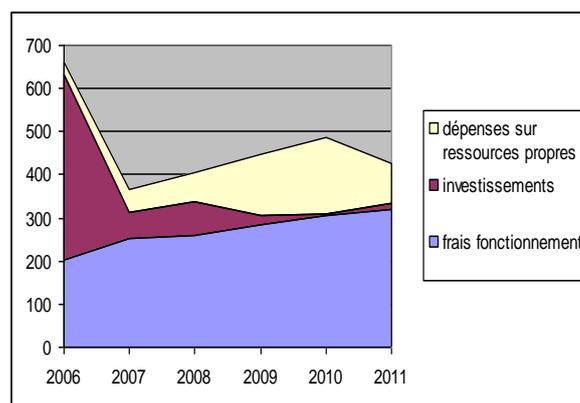
- 3 techniciens
- 5 assistants d'ingénieurs
- 5 ingénieurs et chercheurs
- 1 doctorant



### Les budgets du LSM

Le graphique ci-contre rend compte de l'évolution de la répartition des budgets du laboratoire. A l'exception de l'année 2006, au cours de laquelle ont été modernisés les systèmes de distribution électrique et de climatisation du laboratoire, la progression des budgets, donc des dépenses, suit une courbe légèrement ascendante correspondant au développement des activités du laboratoire et à l'augmentation des effectifs. On notera toutefois la part de plus en plus notable des ressources propres dans les budgets du

### laboratoire



## Développement de détecteurs HPGe ultra-bas bruit fond

*P. Loaiza, G. Warot*

### Détecteur Ge Planaire

Au cours de la période 2006-2007, un détecteur Ge pour la spectrométrie gamma a été développé en collaboration avec la société CANBERRA et le Centre d'Etudes de Bordeaux-Gradignan.

L'amélioration de la sensibilité passe par la réduction du bruit de fond intrinsèque du détecteur. Nous avons optimisé la configuration du cryostat à l'aide des simulations Monte Carlo. Ce développement a comporté aussi la sélection de tous les matériaux utilisés dans la construction du cryostat et la conception du blindage. Le détecteur est installé au LSM depuis Septembre 2007 (Fig. 1).



Fig. 1 : Détecteur Ge planaire ultra-bas bruit de fond développé par le groupe LSM

### Résultats :

Ce développement et les performances du détecteur sont maintenant publiés (Ref 1 cf Publications). L'objectif d'un niveau de bruit de fond inférieure à 0.5 coups/jour dans les principales raies gamma a été atteint, à exception de la raie à 46 keV du  $^{210}\text{Pb}$  avec  $(1.5 \pm 0.25)$  coups/jour, comme nous illustrons sur la Fig. 2. Ce niveau de bruit de fond est tout à fait compétitif avec ceux des détecteurs le plus sensibles qui ont été développés par le groupe de G. Heusser et sont installés au Gran Sasso. Un résultat majeur est la sensibilité atteinte pour la mesure du  $^{210}\text{Pb}$  (46 keV) et  $^{238}\text{U}$  ( $^{234}\text{Th}$  : 63 keV et 93 keV) avec des limites:  $^{210}\text{Pb} < 9$  mBq/kg et  $^{238}\text{U} < 3$  mBq/kg pour un échantillon d'Aluminium de 1 kg et 15 jours de comptage.

La détermination de la teneur de radioactivité des matériaux nécessite la détermination des efficacités de détection du rayonnement  $\gamma$  qui sont calculés par simulation car la grande diversité des géométries et composition des échantillons rend impossible l'utilisation d'échantillons standards. La Fig. 3 illustre l'accord des efficacités simulées avec les résultats mesurés utilisant le matériel de référence IAEA-RGU.

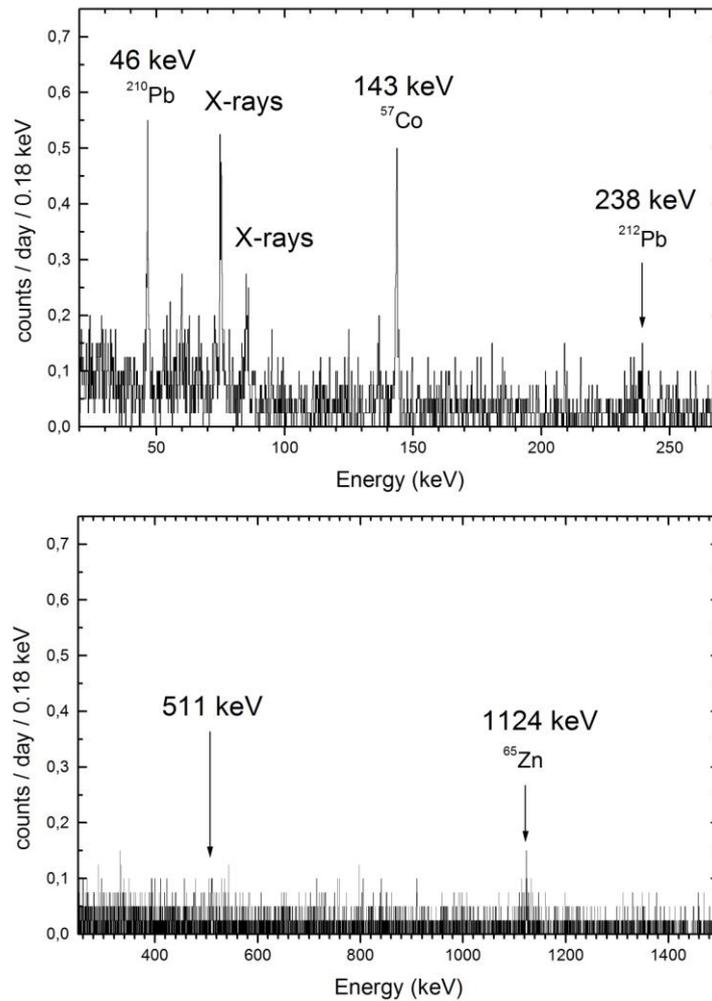


Fig. 2 : Spectre de bruit de fond du détecteur Ge planaire pour la spectrométrie gamma en 40 jours de comptage. Les raies à 143 keV ( $^{57}\text{Co}$ ) et à 1124 keV ( $^{65}\text{Zn}$ ) sont de radioisotopes produits par cosmogénèse dans le cristal de Ge.

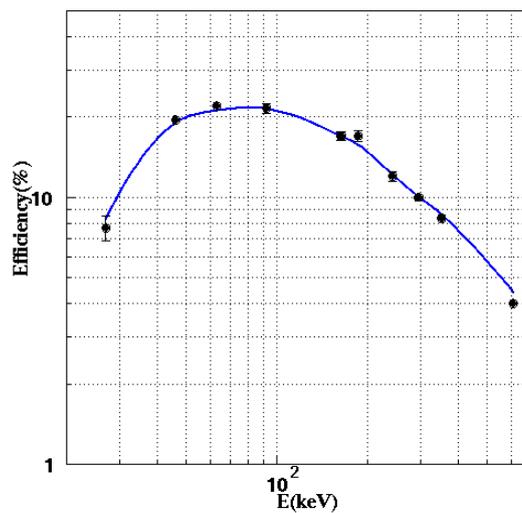


Fig. 3 Efficacité de détection du détecteur Ge ultra-bas bruit de fond pour les raies de descendants de l'Uranium. Les mesures (points) sont comparées avec les résultats des simulations (ligne).

Il est intéressant de comprendre l'origine du bruit de fond résiduelle du détecteur Ge. Nous avons donc réalisée des simulations de la contribution des plusieurs sources : éléments du cryostat, éléments du blindage et radioactivité ambiante. Les études par simulation montrent que les sources étudiées rendent compte seulement partiellement du bruit de fond mesuré, comme illustré sur la Fig. 4.

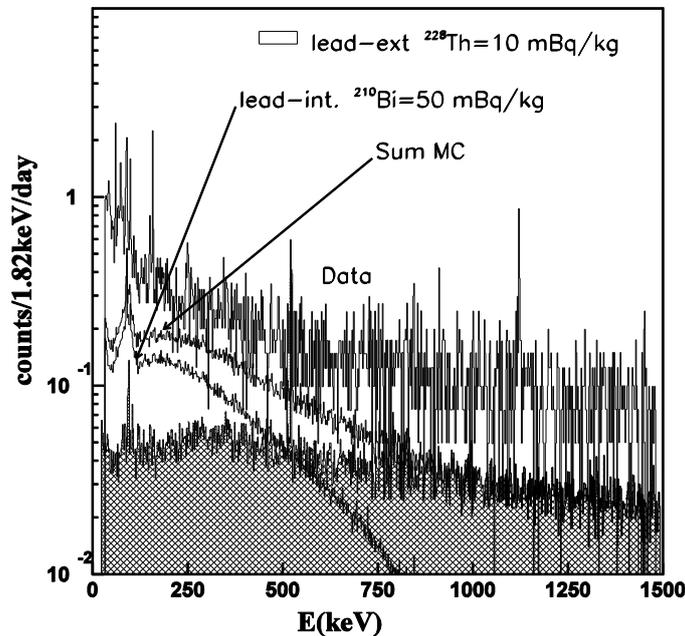


Fig 4 : Bruit de fond du détecteur Ge planaire. Les mesures sont comparées avec les résultats de la simulation de contributions plus importantes : le <sup>210</sup>Pb présent dans le blindage interne et le <sup>228</sup>Th présent dans le blindage externe.

#### Détecteur Ge Coaxial pour SuperNEMO:

Le neutrino peut théoriquement être identique à son antiparticule. Cette éventuelle nature du neutrino, supposée par les théories au delà du Modèle Standard, doit engendrer un processus de désintégration appelé double beta sans émission de neutrino ( $\beta\beta 0\nu$ ). L'expérience SuperNEMO a pour but la détection de la désintégration  $\beta\beta 0\nu$  à partir d'une source de 100 kg d'isotopes enrichis de <sup>82</sup>Se.

Le groupe de LSM a développé pendant l'année 2010 en collaboration avec CANBERRA un détecteur Ge coaxial de 600 cm<sup>3</sup> qui a été acheté par le groupe de Czech Technical University (Prague) et le JINR (Dubna) et qui servira principalement à la sélection de matériaux de l'expérience SuperNEMO. Le détecteur est maintenant au LSM et sera mis en opération début 2011.

#### Sélection des matériaux ultra-faible radioactivité

*P. Loaiza*

Depuis la mise en route du détecteur Ge planaire en début 2008, l'équipe du LSM réalise l'étude des niveaux de radioactivité des matériaux utilisés dans les expériences installés au laboratoire.

Un **détecteur gazeux basé sur une géométrie sphérique** est installé au LSM depuis 2008. Ce type de détecteur sera utilisé pour la spectrométrie de neutrons de thermiques jusqu'à plusieurs MeV. Un nouveau détecteur utilisant des matériaux de basse radioactivité, qui permettra de réduire le bruit de fond, est en construction par l'IRFU-CEA depuis 2009 et devrait être finalisé vers avril 2011. Le groupe de LSM a la responsabilité de la sélection des matériaux utilisés dans la construction de ce nouveau détecteur. Outre l'étude des niveaux de radioactivité de composants, le LSM a aussi la responsabilité de la construction du blindage.

Le LSM est engagé dans une structure de Laboratoire International Associé, LIA, avec l'*Institut of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University* de Prague. Dans ce cadre, le groupe de LSM participe à l'étude de **détecteurs Si pixélisés** pour la recherche de la désintégration  $2\nu\text{EC}/\text{EC}$ , qui n'a jamais été observé directement jusqu'à présent (le seule résultat positif a été reporté par une expérience de géochimie pour  $^{130}\text{Ba}$  :  $(2.2 \pm 0.5) \times 10^{21}$  ans). La collaboration **TGV** a commencé un programme de R&D qui a pour but l'étude de détecteurs pixélisés de type TimePix, qui opérés dans le mode Time Over Threshold permettent la mesure de l'énergie déposée dans chaque pixel individuel. On peut ainsi augmenter largement le rapport entre le signal  $2\nu\text{EC}/\text{EC}$  recherchée et le bruit de fond. Le LSM réalise la mesure par spectrométrie gamma et sélectionne les matériaux de très faible radioactivité utilisés dans les détecteurs. Ces études ont fait l'objet de deux publications (Réf 3 et 4 cf. Publications)

Des mesures de niveaux de radioactivité pour les expériences **Edelweiss** et **NEMO/SuperNemo** ont été également réalisées pendant la période 2007-2010.

L'étude de matériaux entrant dans la construction des expériences qui ne sont pas installées au laboratoire ont été également réalisés : ceux pour l'expérience **Double Chooz** (2008) et **SIMPLE** (2009).

## Mesures de très faibles radioactivités – Applications en géosciences et micro-électronique

*P. Loaiza, G. Warot*

La concentration de radio-isotopes dans les couches sédimentaires permet la reconstitution de dynamiques environnementales passées. Les radio-isotopes  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{241}\text{Am}$  sont utilisés comme chronomètres pour la datation de couches sédimentaires lacustres et le  $^{210}\text{Pb}$  sert à l'étude de la cinétique et les bilans des transferts de matière dans les dépôts sédimentaires. Pendant l'année 2010 le LSM a collaboré avec le laboratoire EDYTEM de l'Université de Savoie et a fourni la mesure de teneurs radioactives de couches sédimentaires prélevées dans le lac du Bourget.

Les mesures d'ultra faible niveau de radioactivité trouvent une application dans le domaine de la microélectronique. Les neutrons cosmiques et les particules  $\alpha$ , issues de la radioactivité propre des matériaux composants, peuvent produire des erreurs logiques dans les circuits intégrés (par exemple dans les mémoires SRAM). En ce qui concerne la détermination de la contamination  $\alpha$ , l'approche adoptée dans la communauté de microélectronique est la mesure du nombre de particules  $\alpha$  émises à l'aide des compteurs proportionnelles. Nous avons proposé une méthode originale pour mesurer l'émissivité alpha avec information en énergie : à l'aide de spectrométrie-gamma ultra bas bruit de fond on mesure la concentration des émetteurs gamma des chaînes naturelles, ensuite, la concentration de la plupart des émetteurs alpha peut être déterminé par des considérations d'équilibre père-descendants, finalement l'émissivité alpha est calculée par simulation MC. Ce travail a démarré vers la fin de l'année 2008 en collaboration avec la société IROC Technologies et pendant la première partie de 2009 les résultats obtenus avec la mesure directe par compteur proportionnel (IROC) et par la méthode de spectrométrie (LSM) ont été comparés. Par la suite, ces études ont été présentées dans des conférences et ont fait l'objet d'une publication (Ref. 7 cf Publications).

**Essai interlaboratoires :** Nous avons participé à l'essai interlaboratoires 96 SL 300, portant sur la mesure de la radioactivité naturelle dans un sédiment, organisé par l'IRSN au 1<sup>er</sup> semestre 2009. Tous nos résultats sont compatibles avec les valeurs assignées.

## **Participation aux expériences EDELWEISS et EURECA**

*P. Loaiza, G. Gerbier*

Un grand nombre d'observations, qui vont du fond diffus cosmologique, en passant par le rapport masse-luminosité des amas de galaxies jusqu'aux profils de vitesses galactiques, confortent la présence dans l'Univers d'une importante quantité de matière non-rayonnante connue comme matière noire. L'expérience Edelweiss est à la recherche de matière noire sous forme de WIMPs, particules qui découlent d'une des théories le plus solides pour une extension du modèle standard : la supersymétrie. Edelweiss utilise des bolomètres cryogéniques en germanium avec une mesure simultanée ionisation-chalet. Cette double mesure est essentielle car elle permet la discrimination du bruit de fond : dans le germanium, à énergie déposée égale, un recul de noyau engendre environ trois fois moins de paires de porteurs qu'un recul électronique. Il en résulte un taux de rejection du bruit de fond gamma très élevé. Il reste le problème des interactions générés par les émetteurs  $\beta$  proche des surfaces où le dépôt d'énergie a lieu près des électrodes et pour lesquelles la collecte de charges est incomplète, pouvant potentiellement être identifiés comme une interaction de type recul de noyau. Ce problème a été résolu avec le développement des détecteurs appelés Interdigit.

Le niveau de sensibilité atteint dans l'année 2009 (Réf. 6 cf. Publications) montre que, malgré le haut taux de rejection, la connaissance la plus précise possible du bruit de fond demeure un enjeu important. L'implication du groupe de LSM est l'étude du bruit de fond gamma à l'aide des simulations et de mesures de niveaux de radioactivité de matériaux. Un modèle qui décrit les données expérimentales de bruit de fond gamma a pu être établie comme nous illustrons sur la Fig. 5. De cette étude découle que les contributions dominantes sont les écrans thermiques le plus éloignées de détecteurs et les éléments de la électronique en dehors du cryostat.

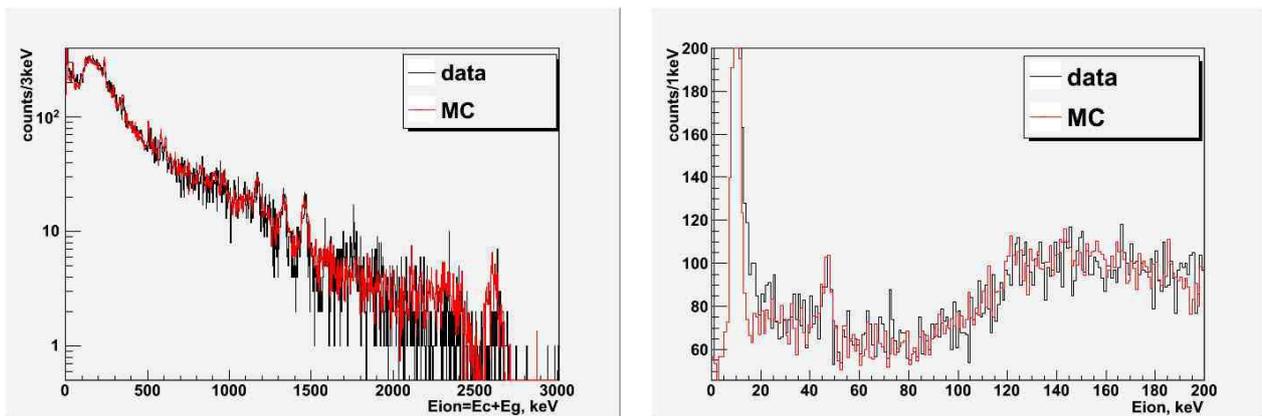


Fig. 5 : Spectre gamma mesuré dans Edelweiss-II comparé au résultat de la simulation, qui tient compte de contributions de tous les composants.

Le groupe du LSM est engagé dans le projet EURECA qui est le successeur de l'expérience Edelweiss, et qui regroupe également les expériences CRESST et ROSEBUD. Le but de ce projet est la construction d'un détecteur de 1 ton pour la recherche de matière noire utilisant des détecteurs cryogéniques et qui serait sensible aux sections efficaces WIMP-nucléon de l'ordre de  $10^{-10}$  picobarn. EURECA utilisera des détecteurs en germanium comme ceux d'Edelweiss et des détecteurs scintillants en  $\text{CaWO}_4$  comme ceux de CRESST. Des études de R&D sont nécessaires pour réduire les impuretés présentes dans les cristaux de  $\text{CaWO}_4$  : pendant que le niveau de pureté requis est de l'ordre de 0,01 mBq/kg, les niveaux actuels restent 3 ou 4 ordres de grandeurs plus élevés. Avec l'Institute for Nuclear Research de Kiev, Ukraine, nous avons participé à l'étude de l'impact sur les radioimpuretés de la refonte et recristallisation comme processus supplémentaires dans la fabrication des cristaux de  $\text{CaWO}_4$ . Les résultats, qui doivent être vérifiés ou réfutés car ils pourraient être la conséquence d'un protocole mal maîtrisé, pointent vers une tendance du  $^{210}\text{Pb}$  à rester dans la phase

solide du cristal pendant que le  $^{238}\text{U}$  resterait dans la phase liquide. Le processus de recristallisation réduit donc efficacement l' $^{238}\text{U}$  mais il est inefficace dans la réduction du  $^{210}\text{Pb}$ . Une solution envisageable serait de faire croître des cristaux à partir de la phase liquide qui a été utilisée préalablement pour fabriquer un cristal, mais dans ce cas, les impuretés de  $^{238}\text{U}$  seront toujours présentes dans le cristal de  $\text{CaWO}_4$ . Le choix reste fonction des impuretés les plus critiques pour la performance de détecteurs ainsi que des niveaux de pureté initiales de poudres de  $\text{CaWO}_4$ . Cette étude démarrée en 2009 a été récemment publiée (Réf. 2 cf. Publications)

## Participation aux expériences NEMO3 ET SUPERNEMO

*P. Loaiza, F. Piquemal*

L'expérience internationale NEMO3 (France, R-U, Russie, USA, Japon, République Tchèque, Slovaquie, Espagne) recherche la double désintégration bêta sans émission de neutrino dont l'existence prouverait que le neutrino est sa propre anti-particule et pourrait permettre d'accéder à sa masse. Le détecteur est composé d'une feuille source centrale d'une épaisseur de 40-60 mg/cm<sup>2</sup> disposée entre 2 plans de chambres à dérive (6180 cellules) fonctionnant en régime Geiger pour la détection des électrons et la reconstruction de la trajectoire. L'ensemble est entouré d'un calorimètre constitué de 1940 scintillateurs plastiques couplés à des photomultiplicateurs Hamamatsu très basse radioactivité. Le détecteur est installé depuis 2003 au Laboratoire Souterrain de Modane (France). La résolution en énergie est comprise entre 14 et 16% (FWHM à 1 MeV) en fonction de la dimension des scintillateurs. Un solénoïde est installé autour du détecteur pour produire un champ magnétique de 25 Gauss qui permet de signer la charge des électrons. Le détecteur est blindé par 20 cm de fer contre les rayonnements gamma et de 30 cm d'eau contre les neutrons. Un événement double bêta est présenté sur la figure 8. Le détecteur contient diverses sources émettrices double beta, du <sup>100</sup>Mo (6.914 kg) et du <sup>82</sup>Se (932 g) pour la recherche de la désintégration  $\beta\beta(0\nu)$  mais aussi du <sup>130</sup>Te (454 g), <sup>116</sup>Cd (405g), <sup>150</sup>Nd (37g), <sup>96</sup>Zr (9,4 g) et du <sup>48</sup>Ca (6,99 g) pour la mesure du processus  $\beta\beta(2\nu)$  afin de fournir des données pour les calculs d'éléments de matrice. Les résultats sur le <sup>100</sup>Mo pour 693 jours de données. Les limites obtenues sont de  $T_{1/2} > 1.0 \cdot 10^{24}$  ans (90% CL) ce qui correspond à une limite  $\langle m_\nu \rangle < 0.47 - 0.96$  eV (90% CL). Pour le <sup>82</sup>Se, les limites obtenues sont  $T_{1/2} > 3.2 \cdot 10^{23}$  ans (90% CL) et  $\langle m_\nu \rangle < 0.94 - 2.5$  eV (90% CL). La contribution du LSM porte sur les mesures de très faibles, la maintenance et la participation aux étalonnages.



Le détecteur NEMO3 pendant son installation au Laboratoire Souterrain de Modane

Le LSM est aussi impliqué dans le projet SuperNEMO pour la sélection des matériaux et la purification des sources double bêta. Le détecteur reprendrait les principes de détection de NEMO3 pour pouvoir mesurer 100 kg de source double bêta. Il serait constitué de 20 modules chacun contenant 5 kg de source. Un module démonstrateur devrait être installé au LSM en 2013.

## Activités de valorisation

*Guillaume Warot, Michel Zampaolo, Pia Loaiza*

*The LSM hosts the biggest number of ultra low background germanium detector in the world. This fact leads the team to have contacts with industrial people to rent measure time. The main application is environmental measurement for legal control purpose. We also had contacts with medical institution, crystals maker and lead factory. We developed alpha and intend to develop beta spectrometry to enhance the possibilities of low level environmental measurement. Moreover electronic device was a field of close collaboration with industry. LSM hosts benchmark test for alpha induced error in electronic. To finish LSM has the project to develop natural radioactive tracker for agrifood and drugs.*

Le laboratoire souterrain de Modane dispose de nombreuses compétences liées aux recherches qui y sont menées. En particulier, le LSM a décidé de valoriser ses activités de mesure de la radioactivité. Le LSM accueille en effet le plus grand parc souterrain de détecteurs ultra bas bruit de fond qui peuvent être utilisés pour des mesures destinées aux collectivités ou aux industriels.

Tout d'abord l'application la plus directe de ce potentiel de mesure est la surveillance environnementale pour le compte des industriels du nucléaire ou des collectivités locales. Les mesures qui sont demandées dans ce cadre ont une valeur légale. Elles attestent de la régularité de la conduite d'installation ou de la contamination de l'environnement et donc ont des conséquences légales. Cette valeur légale de la mesure implique un contrôle strict et une habilitation du laboratoire de mesure. Pour ce domaine l'agrément est donné par l'Autorité de Sûreté Nucléaire après examen des compétences du laboratoire sur deux domaines : D'abord le laboratoire doit dans sa gestion satisfaire à des objectifs de qualité préconisés par la norme 17025 et surtout prouver sa capacité à mesurer la radioactivité en participant à une campagne inter-laboratoire organisée par l'IRSN. Le LSM a passé ces tests et obtenu l'agrément de l'ASN. Cet agrément est publié dans la décision 1<sup>er</sup> août 2010 pour les mesures 02\_09, 2\_10, 2\_11, 2\_12.

Parallèlement afin de renforcer cette démarche le LSM est un membre fondateur du Réseau becquerel de mesure de la radioactivité. Ce réseau vise à mettre en commun les compétences de 7 laboratoires pour pouvoir proposer une réponse commune sur des problématiques allant des très faibles radioactivités aux fortes doses. Le but de ce rapprochement est de pouvoir répondre plus efficacement à des appels d'offres en rassemblant des compétences de plusieurs laboratoires.

Dans la continuité de ce rapprochement le LSM a aussi déposé une offre détaillée sur le site de l'in2p3 qui est accessible depuis le site internet de l'in2p3 mais aussi depuis la base de données du CERN.

Les sites nucléaires doivent dans le cadres de la loi TSN informer le grand public sur leurs activités par le biais de commissions locales d'information. Le conseil général de l'Isère qui gère les CLI du département a récemment déposé un appel d'offre pour avoir des mesures indépendantes des sites nucléaires de l'Isère. Le LSM a réuni des partenaires et se prépare à répondre à l'appel d'offre.

Le LSM a aussi rencontré le milieu hospitalier en visitant le CHU de la Tronche. Nous avons proposé de mesurer les effluents de la médecine nucléaire. Il nous est apparu que les activités mises en jeu par cette spécialité sont trop importantes pour que les mesures réalisées à Modane soient utiles

Les mesures de très bas bruit de fond permettent aussi d'autres investigations

Le plomb est toujours légèrement contaminé par du plomb 210 et ceci constitue un problème pour les blindages des détecteurs de radioactivité. Les fonderies de Gentilly sont souvent amenées à réaliser des blindages pour des applications nécessitant de faibles radioactivités. Le LSM a fait une proposition de détection du plomb spectrométrie gamma.

Le LSM avait collaboré avec Crismatec devenu Saint Gobain crystals. Le but à l'époque était de qualifier les scintillateurs produits par l'entreprise en termes de contamination radioactive. Ce type d'application ne rencontre plus de marché pour l'instant.

Les demandes de mesures liées aux basses radioactivités concernent non seulement les mesures réalisées avec un détecteur germanium. La mesure d'émetteurs alpha et bêta est elle aussi demandée. Nous avons pu bénéficier à travers l'accord Joule d'un détecteur alpha et d'un transfert de compétence sur la fabrication des sources. Nous avons aussi commencé à développer avec le CENBG un banc de mesure de rayonnements bêta bas bruit basé sur les optimisations du détecteur NEMO3 et SuperNEMO.

Le laboratoire est aussi engagé dans une démarche de contrôle de l'origine des produit et d'étendre des procédé développés par le CENBG pour le sel à d'autres produits tels que les médicaments ou les AOC.

## Activité de Radiochimie

G. Warot

*The radiochemistry is completely new field in Modane. Investigation became possible due to the new building and especially the chemistry room. Joule's agreement allows LSM people to go in Dubna and learn source production for alpha measurement. This agreement provides also an alpha detector for alpha measurement. Finally this Joule framework is developing a method for purification of Selenium for NEMO sources.*

L'activité de radiochimie au LSM est une activité totalement nouvelle. En effet, la construction du nouveau bâtiment a permis de construire une salle de chimie dédiée à la radiochimie. Les buts premiers de cette salle sont de pouvoir effectuer les mesures des pères de chaîne uranium et thorium dans l'environnement. Cette mesure est plus efficace en alpha ; les rayonnements alpha ont une très faible pénétration dans la matière ce qui oblige à fabriquer des sources minces. Ces sources minces doivent être le plus mince possibles car cela détermine la résolution du spectre alpha.

Le LSM est engagé dans l'accord Joule qui permet un transfert de matériel entre le JINR et le LSM. Cet accord nous a permis de transférer un spectromètre alpha et son électronique associée du JINR au LSM. Avec ce spectromètre un échange scientifique s'est mis en place tout d'abord pour la préparation des sources. Lors d'un séjour à Dubna du personnel LSM a pu apprendre le savoir-faire du laboratoire des problèmes nucléaires en matière de préparation de source. Les besoins du LPN en particulier en termes de résolution ont imposé la fabrication de source extrêmement fine allant quelques micromètres à la source d'une molécule d'épaisseur. Cette grande variété d'épaisseur permet d'effectuer un compromis entre la synthèse de la source et l'épaisseur désirée. Ces procédures sont ensuite couplées à nos procédures classiques d'extraction des radioéléments des échantillons naturels. Les possibilités de radiochimie ont aussi été mises à disposition des expériences qui requièrent un bas bruit drastique en particulier EURECA. L'expérience utilise des cristaux de  $\text{CaWO}_4$  qui doivent être purifiés. Le radioélément le plus perturbant est le plomb 210. Au LSM sa mesure a été effectuée par spectrométrie gamma et le LNGS avait lui mesuré le polonium 210 par comptage global alpha. Les deux mesures étaient très différentes ; une radiochimie spécifique a due être développée pour départager les deux mesures. Le  $\text{CaWO}_4$  a été dissout et le polonium spécifiquement extrait avec un traceur pour connaître le rendement de l'opération. La mesure a permis de confirmer la mesure germanium sans toutefois exclure un déséquilibre entre le plomb et le polonium.

L'expérience SuperNEMO repose sur la mesure de source de sélénium 82. Les contraintes de radiopureté ne sont pas satisfaites par le matériau actuel de l'expérience il faut repurifier ce sélénium. NEMO3 avait déjà purifié le matériau source (Molybdène 100) par une méthode reposant sur la coprécipitation baryum/radium. Cette méthode nécessite de posséder du baryum très pur qui a été consommé pour les sources NEMO3. La possibilité de trouver du baryum, ici chlorure de baryum, très pur est laissé à nos collègues américains. Le LSM et le LPN ont commencé à développer une méthode de purification n'utilisant pas de chlorure de baryum. Nous développons une méthode basée sur la reverse chromatographie pour purifier directement le sélénium. La méthode repose sur une séparation sur résine et la méthode reverse permet de laver la résine ce qui diminue grandement le volume de résine à utiliser.

Le Sélénium modifie les propriétés de la résine et nous allons mesurer ces nouvelles propriétés en utilisant des isotopes de l'uranium, thorium et radium produits par spallation d'une cible de thorium. Ces isotopes sont des émetteurs gamma ce qui nous permet de mesurer très efficacement les coefficients de distribution de la résine.

Les perspectives de ce travail seront d'étendre cette purification à d'autres matériaux tels que les isotopes candidats à la double bêta Néodyme 150, Calcium 48, Tellure 130, Zirconium 96, Molybdène 100 ou autre isotopes disponibles pour SuperNEMO.

## Activités de recherche interdisciplinaire

G. Warot, P. Loaiza, M. Zampaolo

*Electronic becomes smaller every day. This size makes it sensitive to natural radioactivity as well as neutron or alpha. Radioactive interaction induces soft error in the chip. Underground laboratories provide a neutrinoless environment which allows measuring the alpha contribution to soft error. Moreover collaboration to improve contamination's measurement has been settled.*

La largeur des pistes des circuits électroniques gravés dans le silicium est passée de 130 nm à 65 nm et bientôt 45 nm, 32 nm, 22 nm. Les charges électriques qui portent l'information peuvent être perturbées par les radiations ionisantes. Au niveau du sol elles sont principalement constituées des neutrons créés par les rayonnements cosmiques et des particules alpha issues de la désintégration radioactive d'impuretés du composant. La connaissance de la sensibilité des puces aux radiations est indispensable pour développer une nanoélectronique plus résistante. Il s'agit de mettre en évidence l'importance de la radioactivité interne des composants puisque l'autre source de perturbation, les neutrons des rayons cosmiques, sont pratiquement inexistantes au LSM.

Des tests de longue durée (2 ou 3 ans) sont menés au LSM pour remplir ces objectifs. Les partenaires du LSM pour ces tests sont IM2NP et la société IroC technologies.

La mesure des erreurs alpha permet de qualifier a posteriori la génération de puce développée. D'autres recherches visent à développer la mesure de la contamination des matériaux a priori. En effet la complexité des puces a cru avec leur miniaturisation, aujourd'hui ce sont plus de 50 éléments chimiques qui entrent dans la fabrication des puces. Pour remplir cet objectif il convient de minimiser les différents bruits de fond du détecteur. Un essai a été effectué avec IroC visant à diminuer le bruit de fond d'un détecteur en plaçant celui-ci en milieu souterrain entouré d'air déradonisé. Un autre essai fut l'accueil d'un compteur avec rejet actif du bruit de fond.

Ces tests ont été réalisés en collaboration avec des personnes ayant une sensibilité provenant de l'électronique et ils souhaitent avant tout mesurer les rayonnements alpha émis par les matériaux. Nous avons aussi développé une mesure de spectroscopie gamma qui permet une plus grande sensibilité. Mais la mesure d'isotopes gamma ne permet pas de mesurer directement l'émission d'alpha. Il faut passer par une étape de modélisation (par GEANT4) pour déduire l'émissivité alpha du matériau testé. Cette étape est pour l'instant mal acceptée par le milieu de la microélectronique.

La collaboration avec le milieu de l'électronique a aussi permis la production d'articles et l'intervention à des conférences de microélectronique et la participation d'électroniciens au projet ULISSE. Cette collaboration renforce le caractère interdisciplinaire du laboratoire et ouvre de nouvelles applications aux mesures de basse radioactivité.

## Mise en place d'une démarche qualité

*Ch. Riccio, M. Zampaolo, G. Warot*

Le laboratoire souterrain de Modane souhaite valoriser ses compétences de mesures de très basses radioactivités. Les enjeux sont une meilleure visibilité sur le plan national et la génération de ressources propres qui nous permettra une plus grande liberté financière.

Dans le cadre d'une amélioration continue de ses services, le laboratoire a entrepris une démarche qualité. Par la décision n° CODEP-DEU-2010-031543 du 15 juin 2010 de l'Autorité de sûreté nucléaire portant agrément de laboratoires de mesures de la radioactivité de l'environnement, le LSM a obtenu l'agrément pour les matrices sols pour les catégories isotopes de U, isotopes de Th, <sup>226</sup>Ra + descendants, <sup>228</sup>Ra + descendants.

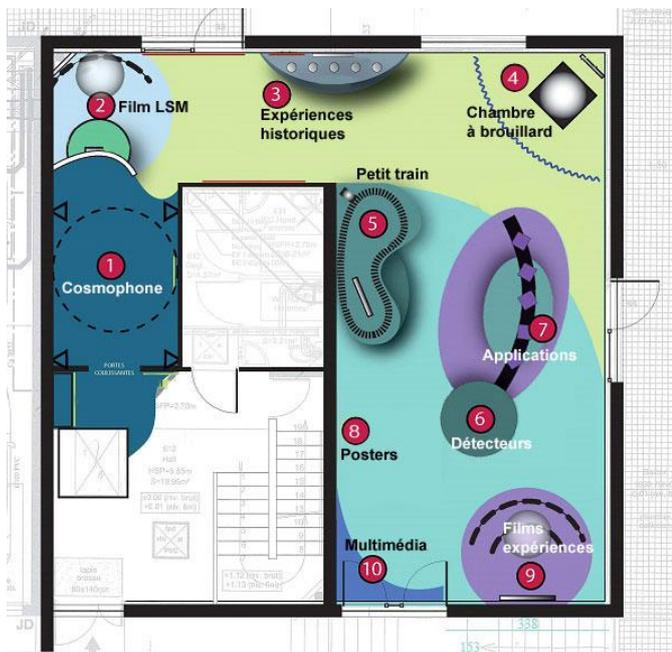
Cet agrément a été obtenu grâce à des mesures d'intercomparaison avec l'IRSN, la nomination de personnes, la rédaction du manuel qualité et de ses annexes, la sensibilisation du personnel concerné et l'adaptation des postes de travail.

## Communication et diffusion des connaissances scientifiques

La période 2006 - 2010 a connu une croissance forte pour la communication au LSM. Le point de départ a été en 2005 la mise en place du Village des Sciences Maurienne à l'occasion de la fête de la Science, 3500 personnes l'ont visité et il a été décidé de renforcer la communication vers le grand public mais aussi à destination des collégiens, lycéens et étudiants.

### Exposition permanente "Petits secrets de l'univers"

Avec le nouveau bâtiment Carré Sciences a été mise en place une exposition gratuite, didactique et interactive permettant une présentation de l'activité du laboratoire.



Un espace de 120 m<sup>2</sup> :

Le cosmophone : la musique du rayonnement cosmique

Pourquoi un laboratoire souterrain ? les activités et les projets du laboratoire

Des expériences historiques (tubes de Crookes, Becquerel, Marie Curie, neutrino, rayons X ...)

Les détecteurs de radioactivité

Les applications (datations, environnement, ...)

Le plomb archéologique

Chambre à brouillard : visualiser les traces de la radioactivité

Le petit train de la radioactivité naturelle

EDELWEISS : à la recherche de la matière noire

NEMO : qu'est-ce qu'un neutrino ?

Visite virtuelle du laboratoire et accès multimédia

A l'extérieur, une statue interactive

Depuis 2010, notre exposition "Petits secrets de l'univers" fait partie du réseau des musées de Maurienne. Un carnet d'exploration est proposé aux plus jeunes et aux éternels adolescents.



Depuis juillet 2009, date de l'ouverture de l'exposition, la fréquentation n'a cessé de croître. Des groupes de scolaires (15%) depuis le niveau CM1 jusqu'au lycée viennent enrichir leurs connaissances et découvrir le potentiel scientifique de leur vallée. Nous avons des habitués des lycées de Bayeux (Calvados) ou de Pons (Charente Maritime) qui viennent chaque année à l'occasion de classes de découverte dans notre région. Le LSM étant proche à la frontière italienne, des lycéens de Turin (Italie) ont fait le déplacement. Des étudiants en sciences physiques sont également ravis de mettre un pied sur le terrain et nous ne

manquons pas de leur proposer un poste de médiateur scientifique auquel nous avons recours lors des périodes de forte affluence.



En 2010 : 2301 visiteurs, on observe un pic de fréquentation à l'occasion de la fête de la science. Ces visiteurs sont pour 40% des touristes avec une forte affluence pendant les vacances de février ou de juillet/août. Les groupes (20%) sont des associations

locales (aînés ruraux, clubs d'astronomie, ...) ou des entreprises locales (EDF, SFTRF, ...). En plus de la gratuité de l'exposition, les visiteurs ont à leur disposition un vaste choix de documentation (publications du CEA et du CNRS).

## Découvertes du laboratoire

Des visites du laboratoire sont régulièrement organisées, à la demande de classes de lycéens, d'élus, de personnel d'autres laboratoires en réunion ou en colloque au CAES à Aussois par exemple, d'entreprises de la région ou encore à notre initiative. Des visites sont proposées à l'occasion d'événements comme la fête de la science ou en partenariat avec le CCSTI de Chambéry ou le festival d'astronomie de Haute Maurienne Vanoise. Ainsi, chaque année environ 500 personnes visitent le laboratoire.



## Actions à destination des scolaires



Le LSM se déplace dans les classes ! Un exemple : chaque année, pour une classe de cycle 3 de l'école primaire de Modane, un après-midi est consacré à faire mieux comprendre l'univers aux élèves juste après leur cours sur les planètes. Cette découverte est couplée à l'art, en effet chacun est invité à réaliser un dessin symbolisant ce qu'il a pu retenir, ces dessins sont ensuite exposés dans l'entrée de nos locaux. En 2009, les élèves ont eu, en plus, un temps de découverte des différentes techniques de sculptures avec Maricke, l'artiste qui a réalisé la sculpture située sur notre terrain. L'artiste a ensuite intégré les dessins des enfants avec leurs initiales sur la façade de la sculpture.



Le LSM s'investit régulièrement pour les lycées et collèges de la vallée, mais également pour des actions plus lointaines. Une rencontre est organisée chaque année avec les lycéens de Pons (région de Cognac), ces lycéens, avant de venir découvrir le LSM sur place, reçoivent un physicien du LSM. Le projet prend de l'ampleur avec des travaux pratiques : un détecteur de rayons cosmiques va être placé sur le toit du lycée !

De nombreux documents sont à disposition des visiteurs et régulièrement distribués aux professeurs (Passeport pour les 2 Infinis, livrets thématiques CEA, collections "Minipommes" et "Petites pommes du savoir", "docs des incollables", plaquette centenaire de la découverte de la radioactivité, plaquettes institutionnelles, ...)

## Vers le grand public

Le laboratoire participe chaque année à la fête de la science, aux journées du patrimoine, au carrefour des métiers pour les élèves de 3<sup>ème</sup> ou encore à des manifestations ponctuelles en partenariat avec la bibliothèque de Modane, le CCSTI de Chambéry ou le festival d'Astronomie Haute Maurienne Vanoise. Pour 2011, le LSM participe activement au festival Oufs d'Astros (planétarium de Vaulx en Velin).

Des conférences sont régulièrement tenues, quelques exemples : médiathèque de Bourg St Maurice, Café des Sciences "les Jeunes et les métiers scientifiques" (Muséobar de Modane), lycée de Pons, Fêtes de la science, ...

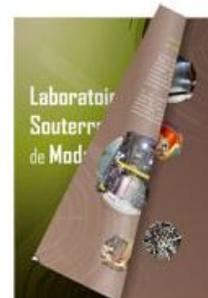


Des posters facilement transportables ont été réalisés.

## Site internet, plaquette et logo



Un soin particulier est apporté à la rédaction et à l'enrichissement du site internet. La charte graphique retenue est celle proposée par le CNRS. Outre les pages habituellement rencontrées dans un site internet, celui du LSM a été enrichi d'une visite virtuelle du laboratoire, une plaquette feuilletable, une visite interactive de l'exposition, un agenda en ligne pour les utilisateurs et le personnel, un outil de réservation en ligne, un accès aux données techniques en direct du laboratoire, ...



En 2009 le service communication de la délégation Alpes du CNRS nous a aidé à élaborer et a financé un nouveau logo ainsi qu'une plaquette. Avec ces nouveaux éléments graphiques a été réalisé un kit complet de modèles de documents.

## Presse

Nous recevons régulièrement des journalistes de la presse écrite, radio ou télévisuelle ou des réalisateurs de documentaires scientifiques.

Le 15 octobre 2009, des journalistes de grands quotidiens (Le Monde, Le Figaro, Le Dauphiné Libéré), de mensuels spécialisés dans les sciences (Sciences et Avenir, Science & Vie), de diffusions électroniques (Bulletins Electroniques.com, Science Actualités...), de radio (RFI), ou encore l'AFP venue en force avec un journaliste, un photographe et un cameraman ont été invités par les bureaux de presse du CNRS et du CEA à visiter le laboratoire.

Ce voyage de presse nous a valu de nombreux articles dont une page complète dans Le Monde et les dépêches AFP ont été reprises dans de nombreuses pages internet.



### Presse quotidienne régionale et parutions locales et régionales

- L'Info Hte Maurienne Vanoise (07/2010)
- Le Dauphiné Libéré (... & 19/01/2010)
- Savoie Mag (oct 2009)
- Terra Modana (02 & 09/2009)
- Maurienne Expansion (07 & 10/2008)
- France 3 Alpes (avril 2008)
- Rhone Alpes Mag (nov 2006)
- Rhônalp'1 (oct 2006)

### Presse spécialisée et publications des tutelles

- Sciences et Avenir (01/02/10)
- Le journal du CNRS (déc 2009)
- Talents du CEA (sept 2009)
- Pour la Science (Janv Mars 2009)



### Presse nationale

- France Info (09/02/2010)
- Le JDD (03/01/2010)
- Le Monde (2006 & 19/12/2009)
- Nouvel Obs.com (19/12/2009)
- L'Express (mai & dec 2009)
- AFP (17 & 19/12/2009)
- Le Figaro (17/12/2009)
- Sud Ouest (11/06/2009)
- Libération (14/10/2006)
- RCF (nov 2006)

### Presse internationale

- Il Sole 24 Ore Nord Ovest (22/09/2010)
- Die Zeit Wissen (avril 2010)
- CNRS International (avril 2010)
- Radio Suisse Romande (05/02/2010)
- RFI (24/01/2010)
- Al Jazeera Children's Channel (dec 2007)



## **Service administratif et technique**

*M. Zampaolo, M. Zampieri, V. Favre, S. Coindet, J.-L. Margueron, A. Rojas, Th. Zampieri, Ch. Riccio, E. Garçon, M. Corazzi,*

### **Les investissements marquants**

#### *Le remplacement du TGBT*

En 2006, le tableau de distribution basse tension du laboratoire a été remplacé pour recevoir les nouvelles expériences qui réclamaient une puissance alimentée plus importante. Le régime de neutre a été modifié à cette occasion.

#### *Nouvelle capacité des installations de climatisation*

La conséquence immédiate d'une augmentation de consommation électrique dans un espace confiné tel qu'un laboratoire souterrain s'accompagne inévitablement d'une augmentation des besoins de climatisation ; en 2006, la puissance des unités de climatisation ont été portés de 60kW à 180kW. Le principe consiste à produire de l'eau glacée à 10°C environ pour alimenter les aérothermes.

#### *Construction d'un bâtiment de surface*

Les activités croissantes de recherche dans le laboratoire ont conduit le LSM à rechercher un immeuble de surface capable de rassembler toutes les activités : bureaux, ateliers, garages, hébergement. L'option retenue a été de construire un bâtiment neuf qui a été conçu pour présenter, dans un espace de médiation dédié, les domaines scientifiques explorés par le laboratoire. Le CNRS en a assuré la maîtrise d'ouvrage, et le cabinet d'architecture Chambre et Vibert de Chambéry a réalisé la maîtrise d'œuvre.

Ce bâtiment est opérationnel depuis juillet 2009

#### *Mise en ligne des données techniques (Labview)*

En 2007 et 2008, dans l'objectif de fournir un service au plus près des attentes des expériences hébergées au LSM, un système d'acquisition de l'ensemble des données techniques du laboratoire a été installé pour mettre à la disposition de chacun, à travers le web, les informations en temps réel et les enregistrements des paramètres tels que température, hygrométrie, débit d'air, taux de radon, climatisation, défauts d'alimentation électrique, ...

### **L'évolution des règles de sécurité au LSM**

La constante préoccupation de la sécurité des personnes au laboratoire a amené d'importantes évolutions dans les règles applicables et dans les équipements :

### *Dans le tunnel*

- Le demi-tour devant le laboratoire est devenu strictement interdit ; on retourne vers les bureaux de surface à Modane en passant par l'extrémité italienne du tunnel avant de faire demi-tour.
- Le port des gilets réfléchissant pour tous les passagers des véhicules est obligatoire
- Tous les véhicules du LSM comportent dans leur coffre des gilets de secours avec réserve d'air comprimé à 300 bars, capable de maintenir un débit d'air suffisant pendant plus de 20 minutes, temps largement suffisant pour permettre de rejoindre un abri anti-feu en toutes circonstances.
- Chaque véhicule comporte une caméra thermique pour faciliter l'acheminement à pied vers les abris de secours en cas de fumées opaques
- Les agents autorisés à conduire les véhicules suivent une formation à la conduite en tunnel et à l'encadrement de leurs passagers.
- Une radio HF dans chaque véhicule permet une communication avec le poste de sécurité du tunnel mais aussi avec le réseau téléphonique public

### *Dans le laboratoire*

- En cas d'urgence, on évacue dans l'abri situé devant le laboratoire ; les pompiers du tunnel ont en charge l'évacuation des personnels présents
- Le site est équipé d'un système de détection d'incendie précoce ; l'extinction au halon a été démantelée lors de la mise en application des règles d'interdiction de ce gaz.
- En cas d'anomalie d'atmosphère, une centrale d'analyse DRAGER déclenche une alarme.
- Des clapets coupe-feu pilotés isolent l'atmosphère du laboratoire en cas défaut de qualité d'air entrant ou en cas d'incendie.
- Des réserves d'air comprimé sont stockées dans le laboratoire.
- Un service d'astreinte hebdomadaire, assuré par les techniciens du laboratoire permet de faire face dans les meilleurs délais aux situations qui pourraient mettre en péril la sécurité.
- Les portes coupe-feu du laboratoire sont sous surveillance continue.
- Un comptage automatique des personnes présentes est maintenant opérationnel.

De nombreuses autres améliorations ont été effectuées sur les installations permettant d'améliorer la sécurité du laboratoire, des agents, des tiers exploitant le tunnel : démantèlement de l'extinction automatique au halon, changement du TGBT, remplacement du transformateur au PCB, changement de l'automate de sécurité, rénovation de l'installation électrique et changement du régime de neutre, révision de l'ensemble des procédures et consignes de sécurité et d'exploitation des installations (enregistrement des personnes au départ des bureaux du LSM, consignes de sécurité et d'exploitation astreinte, chauffeurs, personnels...), mise en place de trousse de secours, réserve d'eau potable..., réalisation d'exercices de sécurité avec la société en charge de l'exploitation du tunnel, mise en place d'un « Réseau Donneur d'Ordres ».

## **Le service informatique**

*M. Corazzi, Th. Zampieri*

Missions conduites par le service : Exploitation des infrastructures informatiques.

- Administration systèmes et réseaux (2 sites)
- Serveurs de données.
- Systèmes de sécurité spécifiques (site d'expérience en milieu souterrain).
- Vulgarisation scientifique (espace grand public).
- Communication internet spécifique (Agenda, réservation hôtelière ,transport,...).

Nature et suivi des prestations.

Le fonctionnement du laboratoire nécessite un large éventail de compétences informatiques:

- Administration systèmes et réseaux : la localisation du laboratoire fait du réseau informatique un maillon essentiel de sa production de données.
- Webmaster : L'existence au sein du laboratoire d'un espace dédié à la vulgarisation des thèmes scientifiques du laboratoire ainsi que les services proposés (hébergement) font du site internet du laboratoire un outil essentiel à son bon fonctionnement.
- Développement de logiciels spécifiques :
  - La spécificité des expériences du LSM nécessite le développement de logiciels adaptés (développement d'un logiciel d'acquisition et de traitements des données des détecteurs Germanium basses-radioactivités).
  - La localisation du site des expériences (milieu souterrain) nécessite des logiciels de sécurité et de surveillance propres au LSM.

Destinataire des prestations:

Le LSM, de par ses spécificités accueille des expériences de physique des particules et de physique nucléaire nécessitant une protection contre le rayonnement cosmique. Ces expériences contrôlées localement génèrent un flux de données qui est réparti sur l'ensemble des laboratoires partenaires.

La communauté scientifique autour du LSM.

Les expériences menées au LSM sont issues d'une large communauté nationale et internationale de la physique des particules :  
CNRS (LAL, CENBG, CSNSM, IPN Lyon, LSCE)

CEA (IRFU, DRECAM, DASE)  
ITEP Moscou, JINR Dubna, IEAP Prague, IK Karlsruhe, ..

### Contraintes de service :

Le LSM fonctionne 365 jours par an.

La sécurité des personnes et des biens ainsi que le fonctionnement continu des détecteurs font des liaisons informatiques un maillon essentiel pour le bon fonctionnement du LSM.

#### *Connexions par fibres optiques*

Les besoins croissant des expériences de physique des particules en capacité de traitement et de stockage des données a conduit le LSM à faire établir une liaison rapide des données avec le centre de calcul de l'IN2P3 à Villeurbanne. Une fibre optique a été installée entre CCIN2P3 et LSM et autorise aujourd'hui une vitesse de transmission de l'ordre 100Mbits par seconde.

#### *Liaison hertzienne*

Le bâtiment de surface du laboratoire profite lui aussi de cette liaison à grand débit grâce à une antenne hertzienne qui fait, depuis 2009, le lien entre les bureaux du LSM et la fibre, à l'entrée du tunnel. Bureaux et laboratoire sont donc connectés au centre de calcul par le même réseau de fibres optiques.

## INFORMATIONS SCIENTIFIQUES

### CONFERENCES ORGANISES PAR LE LSM :

2nd LSM-Extension workshop on October 2009, Valfréjus

First ULISSE@LSM workshop, June 2008, Aussois

LRT 2006 Topical workshop in Low Radioactivity Techniques October 2006, Aussois

### PUBLICATIONS

#### 2011

1. 'Low background germanium planar detector for gamma-ray spectrometry', P. Loaiza et al, accepted for publication in NIM A, 10.1016/j.nima.2011.01.017
2. 'Effect of recrystallization on the radioactive contamination of CaWO<sub>4</sub> crystal scintillators', F. Danevich et al, NIM A 631, (2011) 44-53.
- 1.1 3. 'Use of silicon pixel detectors in double electron capture experiments', P Cermak, I Stekl, Yu A Shitov, F Mamedov, E N Rukhadze, J M Jose, J Cermak, N I Rukhadze, V B Brudanin and P. Loaiza, 2011 J. Inst. 6 C01057 doi: 10.1088/1748-0221/6/01/C01057

#### 2010

4. 'Background capabilities of pixel detectors for double beta decay measurements', Pavel Cermak, Ivan Stekl, Viktor Bocarov, Joshy M. Jose, Jan Jakubek, Stanislav Pospisil, Michael Fiederle, Alex Fauler, Kai Zuber, Pia Loaiza, Yuriy Shitov. Nucl. Instrum. Meth. A , Available online 18 June 2010. doi:10.1016/j.nima.2010.06.169
5. 'A detection system to measure muon-induced neutrons for direct Dark Matter searches', V. Kozlov et al, Astropart.Phys.34 (2010) 97-105.
6. 'First results of the EDELWEISS-II WIMP search using Ge cryogenic detectors with interleaved electrodes', E. Armengaud et al, Phys.Lett.B687:294 (2010) 294-298
7. 'Mesures de très faible radioactivité au Laboratoire Souterrain de Modane', G. Warot et P. Loaiza, REE 3, Mars 2010 p. 51.
8. "Alpha-Emitter Induced Soft-Errors in CMOS 130nm SRAM: Real-Time Underground Experiment and Monte-Carlo Simulation", S. Martinie, S. Uznanski, J.L. Autran, P. Roche, G. Gasiot, D. Munteanu, S. Sauze, P. Loaiza, G. Warot, M. Zampaolo, IEEE International Conference on IC Design and Technology (ICICTD'10), June 2-4, 2010, Grenoble, France.
9. "Soft-errors induced by terrestrial neutrons and natural alpha-particle emitters in advanced memory circuits at ground level", J.L. Autran, D. Munteanu, P. Roche , G. Gasiot, S. Martinie, S. Uznanski, S. Sauze , S. Semikh, E. Yakushev, S. Rozov, P. Loaiza, G. Warot, M. Zampaolo, Microelectronics Reliability, Vol. 50, 2010, p. 1822–1831

## **2009**

10. "Altitude and Underground Real-Time SER Characterization of CMOS 65nm SRAM", J.L. Autran, P. Roche, S. Sauze, G. Gasiot, D. Munteanu, P. Loaiza, M. Zampaolo, J. Borel, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 56, 2009, Vol. 56, N°4, p. 2258-2266.

11. 'EURECA – The Future of Cryogenic Dark Matter Detection in Europe', EURECA coll. , E. Pécontal, T. Buchert, Ph. Di Stefano and Y. Copin (eds) EAS Publications Series, 36 (2009) 249-255 DOI: 10.1051/eas/0936035

## **2008**

12. "Real-Time Neutron and Alpha Soft-Error Rate Testing of CMOS 130nm SRAM: Altitude versus Underground Measurements", J.L. Autran, P. Roche, S. Sauze, G. Gasiot, D. Munteanu, P. Loaiza, M. Zampaolo, J. Borel, IEEE International Conference on IC Design and Technology (ICICTD'08), June 2-4, 2008, Grenoble, France, p. 233-236.

13. 'Eureca- The future of cryogenic dark matter detection in Europe', Proc. of IDM 2008, édité en ligne dans Proc. of Science, (<http://pos.sissa.it/>)

## **2007**

14. 'Low Radioactivity Techniques, LRT 2006', Pia Loaiza (ed), AIP Conference Proceedings 897 (2007)

## **SEMINAIRES**

### **Fabrice Piquemal :**

Double beta decay review

Conférencier invité NNN 2010, December 2010, Toyama, Japon

Experimental status on neutrino reactors, double and single beta decay

Conférencier invité ICHEP 2010, July 2010 Paris

Beta decay experiments

Conférencier invité à Lepton-Photon 2007 XXIII International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energy, Daegu (Corée du sud)

Double beta decay experiments

Conférencier invité à TAUP 2007, X international conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics, Sendai (Japon).

Neutrino mass roadmap

ASPERA Roadmap Meeting, September 2007 Amsterdam, Pays-bas

Status of SuperNEMO experiment workshop, APPEAL 2007, Février 2007, Aioi, Japon

Status of european underground laboratories

Meeting annuel ILIAS, février 2007, Chambéry, France.

Séminaire sur le Laboratoire Souterrain de Modane à la société anglaise d'astroparticule AAP 2008, Oxford (R-U)

Séminaire sur la double désintégration bêta à l'IPHC Strasbourg (2008)

Séminaire sur SuperNEMO et le laboratoire Souterrain de Modane au CTU Prague (2008)

**Pia Loaiza :**

Séminaire invité en tant qu'experte extérieure, AARM (DUSEL) Mars 2010, Berkeley  
*Low Background gamma-spectrometry at the Laboratoire Souterrain de Modane,*

2nd LSM-Extension Workshop Oct 2009, Valfréjus, France  
*Ultra-low background gamma-spectrometry*

Séminaire invité 'ILIAS annual meeting', fev. 2008 à Jaca, Espagne  
*'Ultra-low radioactivity measurements with gamma spectrometry'*

Reunion JRA1, ILIAS, nov. 2007 à Zaragoza, Espagne;  
*'First results of the semiplanar Ge detector at LSM'*

**PARTICIPATION AUX COMITES INTERNATIONALES :**

**Pia Loaiza**

- Membre du 'International science advisory committee' Low Radioactivity Techniques 2010, LRT 2010, August 2010, Sudbury Canada
- Membre du 'International Scientific Advisory Group' du groupe AARM (Assay and Acquisition of Radiopurity Materials) dans le cadre de DUSEL.