

## Service Détecteurs et Instrumentation

*P. Stassi, J. Ballon, C. Barnoux, J. Berger, R. Blanc, T. Cabanel, O. Guillaudin, M. Heusch, M. Marton, G. Mondin, J.-F. Muraz, A. Nicollet, A. Pelissier, J.-P. Richaud, M. Tur, O. Zimmerman.*

*The Detectors and Instrumentation Service (SDI), is a team of engineers and technicians with various and different skills and experiences. The service has two objectives: - to construct systems of detection and instrumentation for laboratory projects, - to study and test new detection techniques.*

*The SDI has participated in all the projects listed below, sometimes in collaboration with other technical services of the laboratory.*

### ◆ ALICE

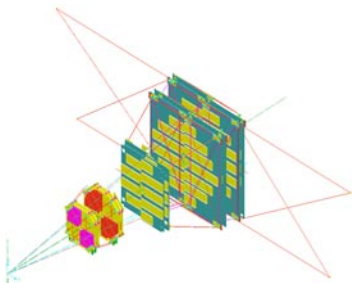
ALICE est la seule expérience exclusivement dédiée à l'étude des collisions d'ions lourds au LHC (CERN). La mise en évidence expérimentale du Plasma Quark-Gluon (PQG) et son étude s'obtiendront grâce à la mesure des différentes particules émises dans différents ensembles et sous-ensembles de détecteurs spécifiques. Plus particulièrement les muons issus des décroissances de résonances de quarks lourds seront identifiés grâce au spectromètre à muons. Ce spectromètre, disposé à l'avant du détecteur ALICE, est composé entre autres d'un absorbeur hadronique et de 10 plans de chambres à fils regroupées en 5 stations. Ces dernières permettent de reconstruire la trajectoire des muons, courbée par le champ d'un aimant dipolaire. Du fait d'éventuelles déformations et déplacements subis par les structures, une mesure de l'alignement de ces 10 chambres de trajectographie, à mieux que 50  $\mu\text{m}$  dans la direction de courbure des traces, est absolument nécessaire pour atteindre une résolution en masse invariante meilleure que 1%. Le GMS (Geometry Monitoring System) permettra de mesurer cet alignement (Figure 1). Il est constitué de lignes optiques BCAM [1] [2] et PROX [3] dont le nombre et la position ont été déterminés par simulation [4].

Pour permettre de valider ces simulations, les programmes de reconstructions géométriques ainsi que les études sur les effets dus à un gradient thermique sur la dispersion des mesures, etc. le LPSC a pris en charge l'étude et la réalisation d'un banc de test représentant à l'échelle 1 les demi-chambres des stations 6, 7, 8 du spectromètre (Figure 2). Les chambres sont réalisées en profilés d'aluminium. Elles permettent la fixation, dans les 4 coins, des éléments optiques tels qu'ils seront fixés dans l'expérience ALICE (Figure 3). La chambre centrale repose sur des tables motorisées qui permettent de la déplacer d'une valeur connue, que le GMS doit retrouver. La chambre 6 est équipée d'un dispositif chauffant et soufflant permettant d'étudier l'influence thermique des zones actives du détecteur sur la résolution des éléments optiques de mesure.

Notre service a pris en charge :

- la coordination technique de la réalisation du banc de test,
- l'étude et la réalisation du dispositif chauffant et soufflant,
- l'étude, le choix et la programmation (LabView) des 3 tables motorisées [5],
- le montage et le câblage complet du banc de test.

La campagne de mesure, à laquelle le service participera activement, devrait se dérouler de janvier à juin 2006. De plus le service a informé la collaboration de son intérêt à participer à l'intégration des 296 lignes optiques au CERN prévue à l'automne 2006.



**Figure 1:** Vue d'ensemble du GMS. **Figure 2:** Banc de test réalisé au LPSC. **Figure 3:** Quatre éléments optiques BCAM.

[1] <http://alignment.hep.brandeis.edu/Devices/BCAM/>

[2] <http://lyoinfo.in2p3.fr/alice/becam.png>

[3] <http://lyoinfo.in2p3.fr/alice/prox.png>

[4] [http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/01/06/85/index\\_fr.html](http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/01/06/85/index_fr.html) Thèse P. PILLOT (IPNL)

[5] <http://lpsc.in2p3.fr/ALICE/Echange/rapport%20stage.pdf> Stage ENSPG (M. Meziane, LPSC)

## ◆ AMS

L'objectif a été d'intégrer les 700 photomultiplicateurs (PM) qui constituent l'ensemble de détection de la matrice du détecteur Cherenkov (Rich) d'AMS. Une collaboration entre le service Électronique et le SDI a permis de mener à bien cette activité longue et complexe, qui a nécessité l'établissement d'une procédure pouvant être résumée de la façon suivante :

- appareillage de l'ensemble des PMs avec leur électronique puis tri par gain ;
- collage d'une gomme optique sur la fenêtre du PM (produit utilisé : gel Dow Corning 93-500, *potting*). Le dosage précis de la quantité de potting est effectué par une machine de dépose ;
- étuvage pendant 12 heures à 40° C ;
- intégration de l'ensemble PM+gomme dans une coque plastique servant de support mécanique et de moule pour le potting. Pour éviter les fuites de potting lors de l'opération suivante, un cordon de gel Dow Corning est appliqué entre la gomme optique et le fond de la coque, (polymérisation 8 heures) ;
- dosage précis du potting à 10%, puis dégazage long et minutieux du mélange pour l'évacuation complète de l'air emprisonné dans celui-ci ;
- le mélange est mis en seringue et injecté dans l'espace libre entre coque et PM, par un orifice prévu à cet effet (7 grammes de mélange par PM) ;
- une polymérisation de 12 heures à température ambiante termine l'opération.

Le rôle de l'opération de potting est le maintien mécanique du PM dans sa coque et l'isolement de l'électronique vis-à-vis des amorçages de la haute tension. Vient ensuite l'opération de coting, destinée à protéger et à isoler toute la partie visible de l'électronique, (connecteur flex, asic, etc.). Le produit utilisé est le Nusil CV 1152 de Silicone Technology, appliqué au pinceau, qui nécessite 12 heures de polymérisation.

Les PM ainsi préparés ont été expédiés à Madrid courant 2005. L'équipe s'est alors rendue sur place pour l'opération de collage des guides de lumière sur la gomme optique de chaque PM. Les guides ont d'abord été triés puis examinés à la binoculaire de façon à vérifier qu'ils ne présentaient aucun défaut mécanique, rayure, pixels pas sur le même plan, opacité. Ensuite, les opérations suivantes sont effectuées (Figures 4) :

- nettoyage des guides ;
- collage par dosage précis du potting 93-500 sur chaque pixel, par machine de dépose ;
- mise en place du guide et vérification optique de la bonne couverture du potting sur chaque pixel ; polymérisation 8 heures ;
- mise en place du fil de nylon qui maintient le guide en pression sur le PM, mise sous tension du fil, collage sur la coque par colle cyanoacrylate.

Par ailleurs, le service a également participé à la réalisation d'un banc de mesure optique permettant de caractériser et d'observer la transmission lumineuse des tuiles d'aérogels pour le RICH d'AMS (Figure 5).



Figures 4



Figure 5: Banc de mesure optique.

### ◇ CODALEMA

Dans le cadre de l'expérience CODALEMA, à laquelle le LPSC s'est rallié courant 2005, en collaboration avec le laboratoire de Subatech à Nantes, le SDI a conçu et déployé à l'automne 2005, un réseau de détection de rayons cosmiques. Celui-ci est composé de cinq stations de détecteurs à base de scintillateurs et photomultiplicateurs, stations identiques à celles utilisées pour l'expérience ULTRA. Ces détecteurs sont disposés de part et d'autre du réseau d'antennes décimétriques, exploité par le groupe de Subatech pour la détection des ondes radio émises par les gerbes cosmiques (Figure 6).

Le système d'acquisition de ces détecteurs est basé, du point de vue matériel, sur les cartes MATAQVME, développées par le LAL/DAPNIA, de façon à pouvoir s'intégrer au système existant sur le réseau d'antennes. Le service a mis en œuvre cette acquisition et a développé plusieurs programmes sous LabView permettant de récupérer et de stocker les données, d'effectuer un contrôle en ligne des taux d'événements ainsi que le pilotage des hautes tensions nécessaires aux photomultiplicateurs.

Avec l'aide du service informatique du LPSC, un système de sauvegarde automatique des données a été mis en place et le contrôle à distance de l'expérience peut s'effectuer de façon sécurisée à travers le réseau Internet.

L'objectif pour 2006, est de développer une application d'acquisition commune afin de pouvoir intégrer les acquisitions des détecteurs à scintillateurs et des antennes.

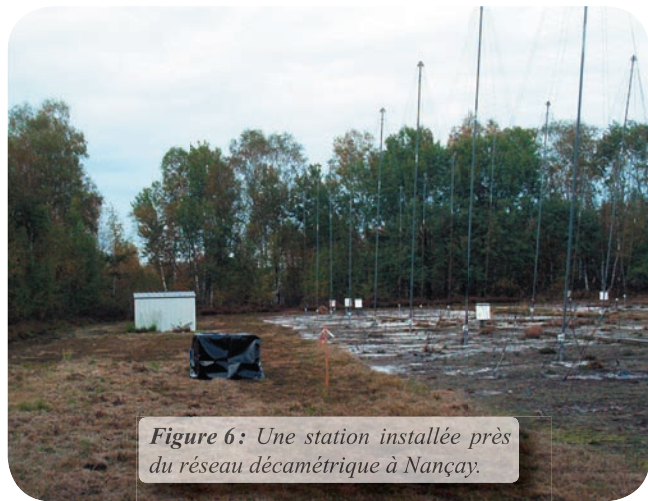


Figure 6: Une station installée près du réseau décimétrique à Nançay.

### ◇ ECRINS

L'Année Mondiale de la Physique en 2005 a permis au LPSC de promouvoir l'activité ECRINS (voir section correspondante du présent rapport), à laquelle le SDI a participé. Trois détecteurs de rayons cosmiques, à base de photomultiplicateurs et de scintillateurs, calqués sur ceux développés pour l'expérience ULTRA, ont ainsi été conçus et fabriqués. Ce réseau de détection, associé à un système d'acquisition basé sur des cartes électroniques développées par un laboratoire de Lisbonne (LIP) et une application LabView, a pu être installé avec l'aide du SDI, au début 2005 sur le toit du lycée Marie Curie d'Échirolles.

Le service s'est également largement investi, dès 2004, dans la formation d'un enseignant et des élèves du lycée impliqués dans cette activité, en organisant plusieurs séances de travaux pratiques sur la photo-détection (mesure de gain de photomultiplicateurs, etc.) et en formant l'enseignant responsable de cette activité aux techniques de programmation LabView.

En juin 2005, le service a participé à l'installation du dispositif ECRINS sur le site de QUASAR, près d'Aspres-sur-Buech (Hautes Alpes), pour participer à une animation de tourisme scientifique ayant pour thème le rayonnement cosmique (Grains cosmiques, figure 7).



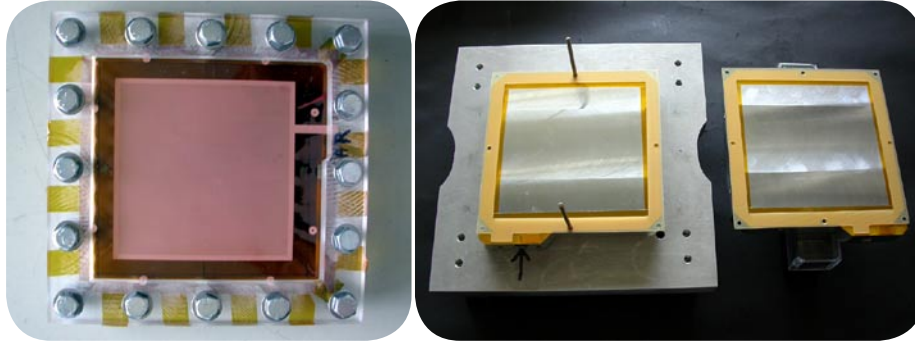
Figure 7: Une station ECRINS durant l'animation Grains cosmiques.

### ◇ MIMAC-He3

Le concept du détecteur MIMAC-He3 repose sur une matrice de micro-TPC (Chambre à Projection Temporelle) utilisant l'hélium 3 comme milieu sensible. Quatre personnes du service participent à ce développement. Le

projet est actuellement dans une phase de R&D avec pour objectif la construction et le test d'une micro-TPC à anode pixellisée, permettant la reconstruction des traces et la mesure d'énergie.

En 2005, le SDI a assuré le montage d'un premier prototype de détecteur gazeux utilisant des GEMs en cascade. Ce détecteur a permis de tester différents mélanges gazeux à base d'hélium et d'éthane pour la détection de rayons X et d'électrons de conversion de faible énergie.



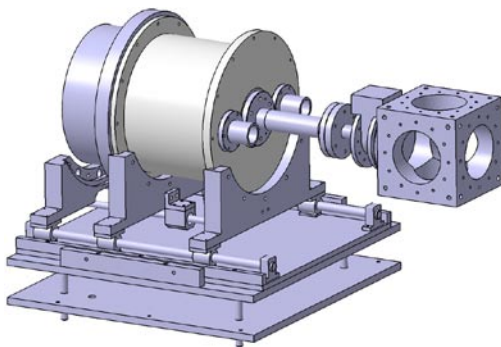
**Figures 8 :** À gauche, une GEM dans son cadre de tension en plexiglas épais. À droite, deux cadres époxy (0,5 mm) montés sur le système assurant le positionnement et le serrage des cadres sur la GEM.

Le service a également réalisé plusieurs sources nues de  $^{57}\text{Co}$  par évaporation d'une solution de  $^{57}\text{CoCl}_2$  sur des supports métalliques (or ou aluminium). Ces sources de faible activité (10 à 50 kBq) fournissent des électrons de conversion (7 et 13 keV) qui sont utilisés pour la calibration du détecteur.

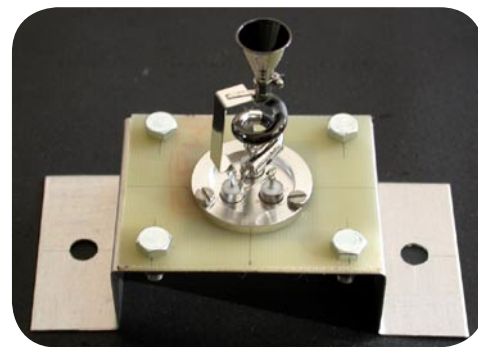
Un second prototype de TPC dont la mécanique a été conçue au laboratoire en 2005, sera couplé avec une source d'ions  $^3\text{He}$  de très faible intensité construite par le service des sources d'ions du LPSC (SSI). Ce dispositif est destiné à mesurer la trace et l'énergie libérée par un noyau de recul de quelques keV dans l'hélium 3 gazeux (Figure 9).

En 2005, le service est intervenu à plusieurs niveaux dans la phase d'étalonnage de la source d'ions :

- montage des détecteurs (Channeltron®, figure 10),
- fourniture de l'électronique et d'un système d'acquisition basée sur un oscilloscope numérique,
- montage de la membrane en nitrure de silicium (épaisseur 100 nm) qui servira d'interface entre la source d'ions (vide) et la TPC (hélium à la pression atmosphérique).



**Figure 9 :** La chambre MIMAC-He3 (conçue par un ingénieur du groupe Structure nucléaire), et son cube de couplage avec la source d'ions.



**Figure 10 :** Un channeltron® sur son support avant montage sur la flasque de l'enceinte à vide.

#### ◇ n-DVCS

Démarrée début 2003, notre participation à l'expérience n-DVCS [1] dans le hall A du Jefferson Laboratory (JLab, Virginie, USA) a consisté à concevoir et à réaliser le détecteur d'étiquetage des particules chargées (tagger). Le tagger est composé de 2 couches superposées et décalées de scintillateurs plastiques (57 éléments de 11 formes différentes), formant les  $\frac{3}{4}$  d'un cercle épousant la forme sphérique de la chambre à réaction de l'expérience DVCS.

L'objectif principal demandé était d'obtenir une très bonne uniformité de la réponse du scintillateur en regard du nombre de photoélectrons détectés suivant la zone du scintillateur traversée [2]. Pour y parvenir, nous avons mené à bien la phase de R&D et réalisé plusieurs prototypes permettant de déterminer le type et la forme des

scintillateurs [3], des guides de lumière, des photomultiplicateurs (PM) et de l'électronique. Ces études ont permis de sélectionner le scintillateur EJ 200 (ELJEN) de 2 cm d'épaisseur dont les faces usinées sont brutes de sciage diamanté. Chaque scintillateur est associé à un guide de lumière en PMMA collé avec de la colle UV DYMAX 3-20262-T. Les lattes ainsi constituées sont enveloppées dans du papier aluminium de 30  $\mu\text{m}$  d'épaisseur puis dans une feuille de TEDLAR noire et totalement opaque. Les photomultiplicateurs sont des Hamamatsu R7877 à 8 étages d'amplification choisis en raison du faible encombrement et de conditions expérimentales difficiles, i.e. en vue directe de la cible, à une distance de 1 m dans un environnement électromagnétique. L'interface entre le PM et le guide est constituée de gel optique BICRON BC630.

L'année 2004 aura été une année phare pour l'expérience avec la fabrication, l'assemblage et le montage sur site de l'expérience. Le montage au sein même du LPSC a démarré début 2004 pour se terminer en juin 2004. Le montage à JLab s'est déroulé du 28 juin au 8 juillet 2004.

Nous avons pris en charge :

- la réception des 57 scintillateurs et guides (contrôles dimensionnels, états de surfaces...);
- le collage des guides sur les scintillateurs (réalisation d'un outillage spécifique);
- l'habillage de chacune des lattes;
- le test de la réponse de chacun des 11 types de lattes + PM + électronique sur un banc cosmique;
- le montage des 2 couches de scintillateurs dans la structure mécanique réalisée au laboratoire par le SERM (Figure 11);
- l'intégration et le câblage des PMs et de l'électronique;
- l'expédition aux USA du détecteur entièrement monté (sauf PM et électronique);
- enfin, montage et intégration du tagger sur le site de JLab fin juin 2004; les prises de données se sont déroulées durant tout l'automne 2004 (Figure 12).



Figure 11 : Montage d'une des 2 couches de scintillateurs pour n-DVCS à JLab.



Figure 12 : Montage du tagger sur le détecteur.

[1] <http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/ndvcs.pdf>

[2] [http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note\\_1.pdf](http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note_1.pdf): Tagger Design Optimisation,

[3] [http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note\\_2.pdf](http://hallaweb.jlab.org/experiment/DVCS/Note_2.pdf): Tagger Paddles Characteristics JLAB-TN-04-041 (2004)

### ◇ n-EDM

Le projet n-EDM dans lequel le SDI est fortement impliqué depuis février 2005, a pour objectif la mesure du moment dipolaire électrique du neutron (n-EDM)  $d_n$  et l'amélioration de 2 ordres de grandeur de la valeur obtenue par l'équipe du Rutherford Appleton Laboratory-University of Sussex, ( $d_n \sim 2 \cdot 10^{-26}$  e.cm).

Le principe de la mesure est basé sur la méthode de Ramsey (ou principe des champs oscillants alternés) qui consiste en la *détermination d'un éventuel décalage de la fréquence de précession du spin du neutron*.

En pratique, on utilise un **spectromètre** dans lequel on fait précesser des neutrons ultra-froids (UCN) polarisés dans une enceinte où règnent un champ magnétique ( $\sim 1 \mu\text{T}$ ) et un champ électrique le plus élevé possible ( $\sim 15 \text{ kV/cm}$ ) (Figures 13 et 14), qui sont soit parallèles soit antiparallèles.

### Déroulement du projet

**Phase A – 2005 :** Cette phase a consisté à récupérer et faire fonctionner le spectromètre n-EDM de la collaboration RAL-Sussex-ILL, actuellement installé au niveau D de l'ILL. Un très gros travail de compréhension de l'appareillage, de remise en fonctionnement a été fourni par l'ensemble des personnes impliquées dans ce projet. Actuellement, tout le spectromètre est opérationnel, à l'exception de la haute tension (HT).

Une première mesure du champ B par la magnétométrie Hg a été obtenue en juillet 2005. Les performances obtenues en terme de précision du rapport signal sur bruit n'étaient alors que de 25  $\mu\text{Hz}$ . Un effort important a donc été fourni sur l'amélioration de ces performances : une précision du rapport signal sur bruit  $\cong 1 \mu\text{Hz}$  a été ainsi obtenue, mais avec un faible temps de relaxation des spins ( $Hg \cong 90 \text{ s}$  au lieu de 150 s). La chambre de polarisation a été démontée et nettoyée pour tenter d'améliorer le temps de dépolarisation des atomes  $^{199}\text{Hg}$ . Des décharges de gaz  $\text{O}_2$  et He sous HT sont également nécessaires pour améliorer ce temps de relaxation : le boîtier de contrôle-commande du débit de  $\text{O}_2$  est en cours de réalisation, et le système HT existant est en cours de diagnostic.

En septembre 2005, les performances obtenues ont quasiment atteint les performances optimales de l'installation.

Après un accident survenu en 2003 (rupture de vide), au cours duquel la feuille de polarisation a été brisée et a contaminé magnétiquement l'ensemble de l'installation, une anomalie magnétique persiste : elle a pour effet de dépolariser les neutrons et donc de réduire leur temps de relaxation. Un nettoyage chimique a donc été réalisé sur les électrodes et la chambre de stockage pour éliminer d'éventuelles particules magnétiques déposées sur les surfaces. Afin d'éliminer cette anomalie, il a été décidé de caractériser chaque élément (cellule de stockage, électrodes, vanne UCN). Les différentes pièces de la vanne suspectées d'être magnétiques seront caractérisées à Fribourg début 2006.

Une version existante du contrôle-commande et acquisition, développée par RAL-Sussex, a fait l'objet d'une prise en main et remise en état (adaptation au PC gestion turbine Steyerl de l'ILL, nouvelle version LabView du programme de gestion de la HT).

À la fin 2005, tout le système de vide est opérationnel (pompes turbo-moléculaires, pompes primaires, guide horizontal neutrons). On peut atteindre un vide poussé de  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ mb}$ .

De plus, un important travail de documentation (procédures notamment) a été réalisé (procédure vide, démontage/remontage chambre de polarisation, manuel utilisateurs du logiciel n-EDM, changement source Hg).

### Perspectives

**Phase B (→ juin 2006) :** le fait d'avoir à disposition ce spectromètre permet d'y apporter des améliorations et de tester diverses options pour la conception et la mise au point du nouvel appareillage n-EDM2 à PSI pour 2007-2008. Des travaux engagés en 2005 se poursuivent en 2006 : *reverse engineering*, inspection visuelle des guides de neutrons et leur remplacement éventuel. La cartographie du champ B et l'amélioration du design des bobines correctrices, le diagnostic de la HT et sa remise en fonctionnement, ainsi que la remise en conformité électrique de l'installation sont quelques exemples des points d'amélioration engagés en 2006.

### Bibliographie

Pour en savoir plus : <http://lpsc.in2p3.fr/UCN/index.html>

A high precision comparison of the gyromagnetic ratios of the  $^{199}\text{Hg}$  atom and the neutron, John Robert May, thesis University of Sussex, 1998.

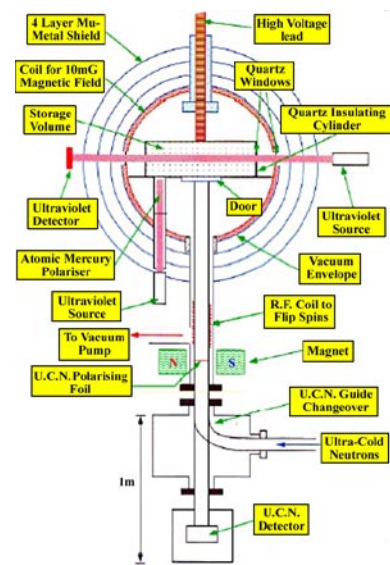
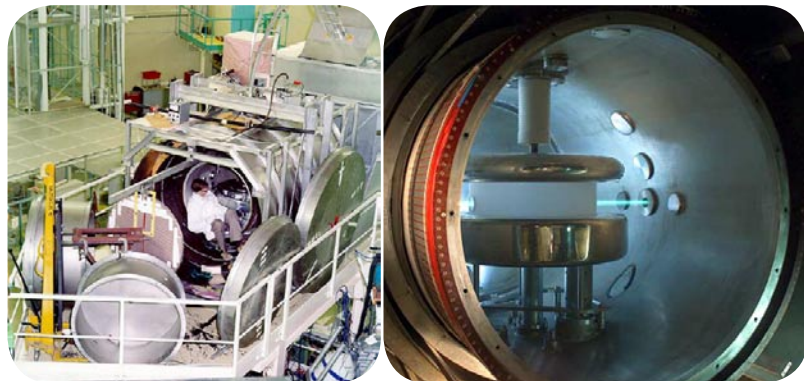


Figure 13: Principe du spectromètre n-EDM.



Figures 14: À gauche, les 4 couches de blindage, la chambre à vide et son système HT. À droite, la chambre de stockage et son faisceau UV pour la mesure de la fréquence de précession des atomes  $^{199}\text{Hg}$  pour déterminer B. (Photos RAL-Sussex).

### ◇ PEREN

Durant toute l'année 2004, les locaux devant recevoir le laboratoire de chimie du projet PEREN, environ 150 m<sup>2</sup> au sol, ont dû être complètement réhabilités. Le plafond, les sols et les murs ont été habillés de revêtements spéciaux. Une sorbonne, un sas d'entrée et un bureau ont également été installés.

L'équipement prépondérant du laboratoire est un ensemble de trois boîtes à gants destiné à la fabrication de cylindres de sels de fluorures fondus.

Pour gérer de façon très propre l'atmosphère intérieure des boîtes à gants, nous avons dû mettre en place un système fiable permettant de les alimenter en continu avec un gaz neutre. De plus, pour des raisons de sécurité, l'installation a été complétée par une détection oxygène ainsi que par une ventilation des locaux, permanente en journée et pouvant fonctionner jusqu'à cinq renouvellements par heure du volume d'air.

À la fin 2005, l'implantation des gros équipements est terminée ainsi que l'instrumentation du dispositif expérimental. Des tests préliminaires de fusion ont ainsi pu être réalisés.

**Le dispositif expérimental** est composé d'une chaîne de trois boîtes à gants en légère dépression, permettant d'assurer le confinement des matières (les poudres sont toxiques et réactives avec l'eau et l'oxygène) (Figure 15).

Une circulation d'argon et une unité de purification permettent de maintenir une atmosphère ayant des teneurs en eau et en oxygène de l'ordre de quelques ppm dans les boîtes à gants.

L'ensemble est équipé pour réaliser des essais sur des sels et des métaux liquides à petite échelle. Les boîtes à gants ont donc été dotées des dispositifs nécessaires à leur fonction :

**La première boîte** est destinée à la préparation des sels et est utilisée pour stoker des produits, peser, mélanger et dégazer des poudres.

**La seconde boîte** est destinée à la fusion des sels (Figure 16). Elle est également couplée à un four puits ① que nous avons conçu et fabriqué dans le but de réaliser des solidifications orientées. Ce four d'une puissance électrique de 12 kW comporte un corps de chauffe partagé en trois zones, d'égale puissance, indépendantes et régulées en température par un système programmable configuré par le service électronique du LPSC.

Le chauffage est donc programmable par zone, avec un écart de température de l'ordre du degré entre la partie la plus basse et la partie la plus haute du four. Cet ensemble fonctionne jusqu'à 1000° C. Pour manipuler des creusets ② pesant environ 15 kg, un palan à chaîne ③ et un panier support sont nécessaires. Pour chauffer l'intérieur du four à 900° C sans surchauffer la boîte à gants, une climatisation ④ est fixée au plafond, une bride froide à circulation d'eau ⑤ est soudée à l'interface boîte à gants-enceinte du four et un bouchon isolant ⑥ est prévu à l'extrémité de l'enceinte.

**La troisième boîte** est destinée au conditionnement des cylindres de sel. Elle permet l'usage (sciage et perçage) des cylindres de sel en adéquation avec les besoins expérimentaux.



Figure 15: Ensemble des 3 boîtes à gants.

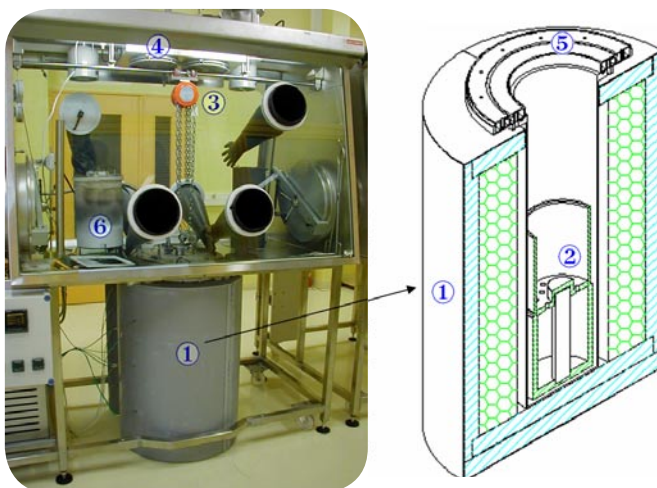


Figure 16: Détails de la deuxième boîte.

## ◆ Planck

### Cryo-générateur 20 K

Après les succès des tests du prototype (EQM) du système de commande du cryo-générateur 20 K (SCE) en 2003 (voir précédent rapport), la fabrication des modèles de qualification et de vol ont été confiées début 2004 à un industriel du spatial, CRISA-ASTRIUM en Espagne.

La livraison du premier modèle de qualification (EQM) dans le courant de l'année 2004 a permis de réaliser des tests couplés au cryo-générateur de vol en fin d'année, de nouveau sur le site du Jet Propulsion Laboratory (JPL), laboratoire NASA à Pasadena, USA.

Le service a été responsable de l'organisation de ces tests ainsi que du développement des outils logiciels de pilotage et de tests, développés sous LabView. La réalisation des premiers tests avec le cryo-générateur de vol, menée en étroite collaboration avec les services d'électronique et d'acquisition du laboratoire, a été, là encore, couronnée de succès et a permis la mise au point du logiciel embarqué dont le laboratoire est responsable.

Un deuxième modèle de qualification (CQM), identique en tous points aux futurs modèles de vol (Figure 17) mais construit avec des composants non qualifiés « spatial », nous a été livré au début de l'année 2005. Le service a organisé une deuxième campagne de tests au JPL au printemps 2005, toujours couplés au cryo-générateur de vol, juste avant sa livraison en Europe. Cette dernière campagne aux USA a permis de tester plusieurs procédures spécifiques nouvellement introduites dans le logiciel embarqué, dont les procédures de recouvrement automatique d'erreur de fonctionnement, nécessaires pour fiabiliser le système en vol. Les tests ont également inclus, en collaboration avec le service informatique, les premiers essais de la console de pilotage, développée suivant un standard spécifique (SCOS2000), qui sera utilisée au sol durant l'expérience pour contrôler le cryo-générateur en vol.



Figure 17: Le modèle de qualification du SCE.

Dès la fin de l'année 2005, l'intégration du satellite Planck a débuté chez Alcatel Space à Cannes, incluant le cryo-générateur et son électronique (Figures 18 et 19). Des campagnes de test sont déjà programmées.



Figure 18: Les cryo-générateurs et leur électronique en cour d'intégration sur le satellite Planck.

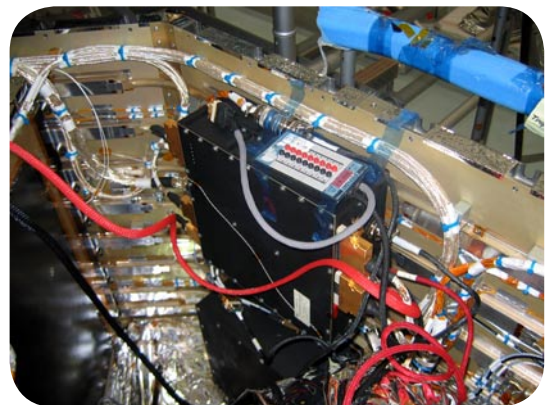


Figure 19: Le SCE intégré sur le satellite Planck.

En parallèle, durant l'été 2004, une activité de test et de validation systématique du logiciel spatial embarqué du SCE a débuté.

Ce processus adjoint au développement a pour but de fiabiliser le logiciel à toutes ses échelles (fonctions unitaires, modules intégrés et système sur cible). Il exige le concours de plusieurs testeurs, une forte implication des programmeurs et des ingénieurs système, et l'emploi d'une méthodologie plus familière de l'industrie des transports ou de la défense que des laboratoires.

Le SDI, déjà fortement impliqué dans le test des systèmes Planck au LPSC, a été chargé de coordonner et de piloter ce travail à la frontière de l'électronique, de l'informatique, du système et des méthodes de test. Une



équipe de test a été constituée avec des personnes des services Acquisition, Informatique et Instrumentation, mais aussi des chercheurs du groupe Planck du LPSC.

Une première itération de test unitaire a été confiée à un prestataire spécialisé recommandé par l'Agence Spatiale Européenne. Cette étape incontournable a toutefois montré ses limites: en effet les évolutions ultérieures du logiciel ont remis en cause la plupart des validations obtenues à cette époque, ensuite le prestataire a restreint le champ de ses responsabilités à des modules dont il maîtrisait le test.

Début 2005, cette prestation s'est terminée et l'objectif restait d'achever le test pour la livraison d'un module critique, le logiciel de *boot*, qui ne peut plus être modifié une fois implanté dans l'électronique. L'équipe de test logiciel a relevé ce défi en s'aidant, pour une part, de l'exemple et des résultats précédents, pour une autre part, de l'expertise du LSR (laboratoire Logiciels Systèmes Réseaux - INPG/UJF/CNRS), intéressé par notre démarche, et enfin d'une bonne dose d'imagination et d'esprit pratique.

Jusqu'en septembre 2005, deux stagiaires du LSR ont aussi apporté une importante contribution en complétant les tests unitaires sur la partie *applicatif* du logiciel à l'aide du logiciel Cantata++. Cette dernière phase sera formellement close début 2006, mais les scripts et les outils de test resteront indissociables du logiciel pendant toute la durée de la mission.

### Cryo-générateur 100 mK

Dans le but de tester et de valider le modèle de qualification et le modèle de vol du système de commande du cryo-générateur 100 mK (DCEU), tous deux fabriqués et livrés en 2004 et 2005, le service a réalisé sous LabView une application de test et de contrôle, capable de simuler l'interface de pilotage Planck-HFI (DPU) mais aussi de soumettre l'électronique à des commandes partiellement ou totalement erronées, de façon aléatoire et automatisée. Par ailleurs, et en collaboration avec les services d'électronique et d'acquisition du LPSC, le SDI a participé en 2004 aux tests couplés avec le DPU d'HFI, à l'IAS d'Orsay.

De plus, le service a pris en charge les activités d'Assurance Produit spécifiques au domaine du spatial, concernant le DCEU, incluant entre autres la traçabilité du produit et de ses constituants, la gestion de la configuration du produit et la constitution du dossier de livraison. Nous avons pu bénéficier de l'aide d'un expert dans ce domaine, prestataire du bureau Veritas, qui a travaillé avec nous durant quatre mois, fin 2004. L'expérience acquise pendant cette collaboration a été bénéfique pour le LPSC, mais elle a néanmoins démontré que le recours à des personnes expertes pour ces activités était irremplaçable.

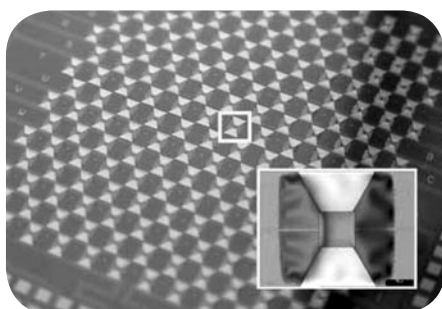
### ◇ R&D CMB

Pour l'étude du CMB (Cosmic Microwave Background), les expériences futures auront pour objectif la mesure de la polarisation du rayonnement. Le service s'est impliqué dans la collaboration DCMB (Développement Concerté de Matrices de Bolomètres) qui propose de passer du détecteur unique à des matrices de plusieurs centaines, voire milliers de bolomètres sensibles à la polarisation.

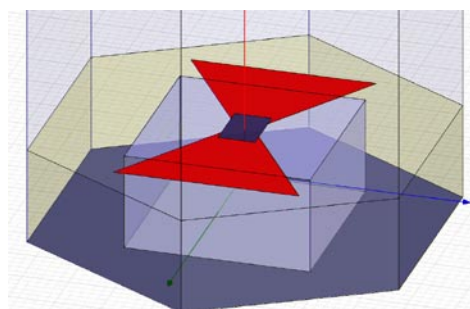
Depuis deux ans, le SDI s'est engagé sur l'étude du couplage du rayonnement avec le détecteur bolométrique. La voie explorée consiste à remplacer l'absorbeur et les filtres conventionnels par une antenne accordée en fréquence et sensible à la polarisation.

Ce développement s'appuie sur un logiciel commercial (HFSS) qui nous permet de modéliser l'interaction des ondes électromagnétiques avec les antennes disposées selon un réseau périodique, et cela pour une bande de fréquence allant de 50 à 300 GHz.

En collaboration avec le CRTBT, le LPSC a eu la responsabilité du projet de construction de la partie mécanique d'un interféromètre de type Martin-Puplett (MPI), appareillage dédié aux tests des matrices dans le domaine millimétrique et submillimétrique.

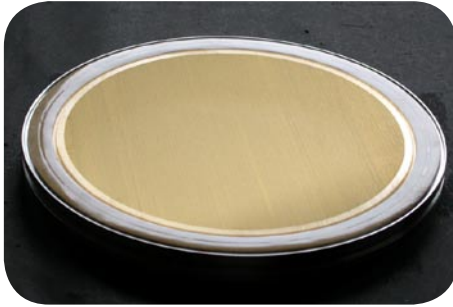


*Figures 20: À gauche, prototype de matrice hexagonale. À droite, modèle 3D d'un pixel avec une géométrie identique. On peut voir la résistance de charge (bleu foncé), le substrat de silicium (beige) et une cavité parallélépipédique creusée dans le substrat de silicium (bleu clair).*

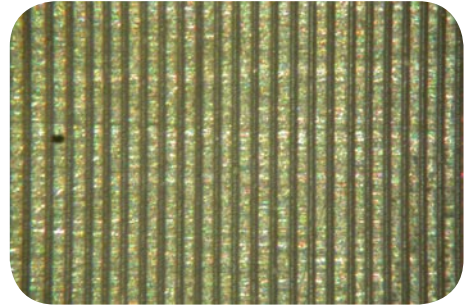


En 2004, le service a participé activement au dimensionnement de l'interféromètre et à la spécification de ses composants. Le service d'études et réalisations mécaniques du LPSC a ensuite conçu et réalisé l'ensemble des pièces du Martin-Puplett durant l'année 2005. Le montage final et l'installation au CRTBT se sont déroulés en décembre 2005 (collaboration de l'atelier et du SDI).

Le SDI a également assuré l'opération de tissage des polariseurs utilisés dans le Martin-Puplett. Ces polariseurs sont constitués de plans de fils fins (30 microns inox ou tungstène doré) tissés au pas de 75 microns sur des cadres métalliques de  $\sim 30$  cm de diamètre. Pour ces réalisations, le service a amélioré la mécanique de la machine à tisser du laboratoire afin d'augmenter la précision de positionnement des fils (Figures 21).



**Figures 21:** À gauche, un polariseur à fils de 300 mm de diamètre. Les fils de tungstène doré (30  $\mu\text{m}$ ) sont tissés sur un cadre en inox au pas de 75 microns et sont fixés par un collage époxy. À droite, vue rapprochée des fils d'inox.



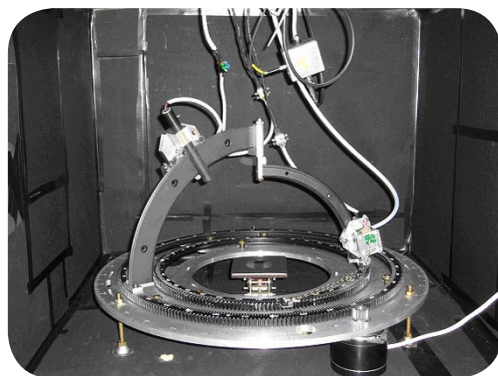
## ◇ ULTRA

L'année 2004 a vu l'expérience ULTRA prendre sa vitesse de croisière, à la suite de l'installation pour une durée de plus d'un an de l'ensemble de détection de gerbes atmosphériques, ET-Scope, sur le terrain de sport du laboratoire. Cet ensemble de 5 stations de détection a été équipé fin 2004 avec un système d'acquisition plus compact, développé par des collaborateurs de l'expérience du LIP au Portugal. Celui-ci est constitué de 4 cartes au standard PCI, comprenant chacune 6 voies ADC flash 100 MHz avec trigger programmable, le tout piloté par une application LabView sous Linux. Le dispositif a été également complété par 2 autres détecteurs développés par le SDI (Belenos) et un troisième conçu par les collaborateurs de l'IASF à Palerme (UV-Scope). Ces détecteurs sont destinés à mesurer les signaux Ultra Violet (250-450 nm) associés aux gerbes atmosphériques.

Les prises de données auxquelles le service a largement participé, se sont déroulées quasiment en continu jusqu'au printemps 2005, et ont permis, malgré le niveau élevé de bruit de fond lumineux ambiant, de caractériser la lumière Cherenkov associée aux gerbes cosmiques.

L'expérience a ensuite été déplacée en avril 2005, à la surface de la mer en Sicile (Capo Granitola, Italie) avec une configuration très proche de celle utilisée à Grenoble. Là, grâce au faible bruit de fond nocturne, la détection de la lumière Cherenkov réfléchie a pu être effectuée (voir partie physique). L'ensemble des cinq stations a été rapatrié à Grenoble, fin décembre 2005.

En parallèle, et afin de mesurer la réponse spectrale de la réflectivité effective des sols, sur les sites d'expérience ULTRA, le spectro-gonio-reflectomètre UV conçu fin 2003 (voir rapport 2002 - 2003) a été réalisé comme prévu au premier trimestre 2004 (Figure 22). Celui-ci est constitué d'une lampe refroidie de deutérium, couplée à un spectromètre accordé à la longueur d'onde choisie, et d'un faisceau de fibres de quartz. Le faisceau de fibres est ensuite introduit dans une boîte étanche à la lumière ambiante puis fixé sur un des deux bras à déplacement semi-sphérique d'un goniomètre. La tête du faisceau de fibres, équipée d'un objectif, illumine un secteur horizontal au centre du goniomètre où on peut placer un échantillon. L'autre bras est équipé d'un tube photomultiplicateur R960 de chez Hamamatsu, avec une fenêtre UV. La sensibilité de ce photomultiplicateur permet une gamme dynamique de  $10^3$ . Le courant de l'anode du PMT est lu sur un oscilloscope piloté en GPIB par une application LabView sur PC (cette activité a fait l'objet d'un stage IUT mesures physiques, au sein du service en 2004).



**Figure 22:** Le spectro-gonio-reflectomètre dans la boîte noire.

Les mesures effectuées avec ce dispositif ont permis de déterminer la fonction de réflexion diffuse bidirectionnelle (BDRF, Bidirectional Reflectance Diffuse Function) de différents matériaux, comme le Tyvek, le Teflon et même de l'eau de mer, soumise à un flux d'air constant pour simuler des vagues (voir section physique).