

Service Détecteurs et Instrumentation

J. Berger, J. Ballon, C. Barnoux, R. Blanc, T. Cabanel, P. Cavalli, O. Guillaudin, M. Heush, M. Marton, G. Mondin, J.-F. Muraz, A. Pelissier, J.-P. Richaud, P. Stassi, M. Tur, O. Zimmermann

<http://lpsc.in2p3.fr/sdi/index.html>

The Detectors and Instrumentation Service (SDI), since 1998, is a team of engineers and technicians from various groups of the institute. 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 the other technical services of the laboratory.

► Planck

Cryo-Générateur 20K

Durant l'année 2002, le prototype du système de commande du cryo-générateur 20K développé par la NASA, a été fabriqué. Deux campagnes de tests en 2002 et une en 2003 ont été nécessaires pour qualifier les aspects matériels et logiciels de ce dispositif.

Ces tests ont eu lieu en étroite collaboration avec les services d'électronique et d'acquisition du LPSC, et en liaison avec le Jet Propulsion Laboratory, laboratoire de la NASA à Pasadena, (USA), où se trouvait le prototype du cryo-générateur. Le SDI, qui est responsable d'une partie du management technique du projet, a organisé ces tests ainsi que les procédures associées. Il a également assuré le développement et la mise en œuvre d'un système de commande et d'une application interactive sous LabVIEW[®], permettant de piloter l'ensemble du dispositif en simulant les interfaces du satellite (voir figure 1). Ces campagnes de vérification ont été un grand succès, démontrant le caractère judicieux des solutions de design proposées par le laboratoire, ainsi que le bon fonctionnement de la communication entre les équipes du LPSC et du JPL. L'efficacité de l'ensemble du personnel du LPSC impliqué a été largement saluée par l'équipe NASA à cette occasion.

De plus, en matière d'Assurance Produit, des études de recouvrement de défaut par le logiciel de bord ont été entreprises en collaboration avec les spécialistes du JPL en 2003. Les résultats de ces études devront être implémentés dans le logiciel embarqué des modèles de vol.

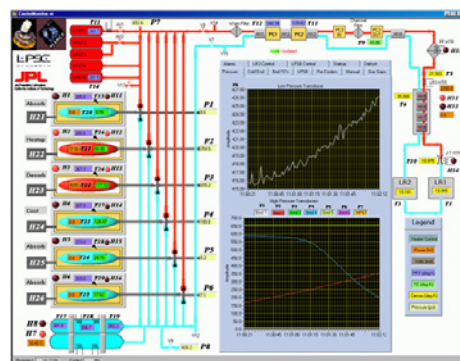


Figure 1 : Application de commande du cryo-générateur 20K de Planck.

Cryo-Générateur 100mK

Après une longue période de définition des caractéristiques et des interfaces, le prototype du système de commande du cryo-générateur 100mK a pu être fabriqué à la fin de l'année 2003. Les tests de qualification de ce système se dérouleront courant 2004, sur le site d'Air Liquide à Sassenage, fabricant du cryo-générateur.

Le service est actuellement occupé à développer un système de commande et une application sous LabVIEW, capables de simuler le dispositif de pilotage définitif (DPU) développé par le LAL à Orsay.

ULTRA

ET-Scope

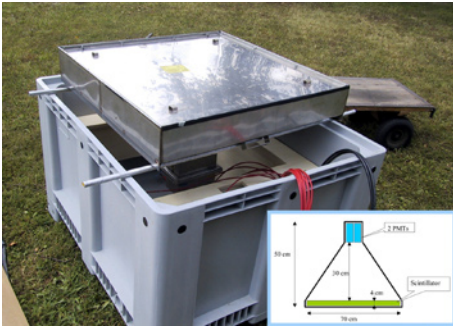


Figure 2 : un détecteur de l'ET-Scope d'ULTRA.

Ces deux dernières années ont été riches en activité pour le service en ce qui concerne l'expérience ULTRA. Le SDI a largement contribué à la fabrication et à la mise en œuvre de l'ensemble ET-Scope, destiné à détecter les particules des gerbes atmosphériques (voir section Physique) en collaboration avec des équipes de Turin et Palerme, Italie. Ces détecteurs au nombre de cinq, constitués de larges plaques de scintillateurs associés à des photomultiplicateurs (voir figure 2), ont été déployés sur le site de mesure, près du barrage du Mont Cenis en Savoie (voir figure 3), lors de deux campagnes de mesures de deux semaines, en octobre 2002 et juin 2003. Durant ces campagnes, le service a assuré la mise en œuvre du dispositif sur site, la logistique, ainsi que la mise à disposition d'un système d'acquisition de données constitué de modules NIM standard et d'une application LabVIEW spécifique. Ce système sera amené à être remplacé dans l'avenir par un ensemble plus compact développé par des collaborateurs du LIP au Portugal. Les prises de données auxquelles nous avons largement participé, se sont effectuées lors de nuits sans lune, conditions nécessaires pour les mesures.



Figure 4 : Détecteur Belenos pour ULTRA.

De plus, un nouveau type de détecteur (Belenos) a été développé (voir figure 4), destiné à mesurer les signaux Ultra Violets (250-450 nm) associés aux gerbes atmosphériques. Les tests préliminaires effectués en juillet 2003 sur le premier prototype ont démontré l'efficacité de ce dispositif.

À la fin de l'année 2003 l'ET-Scope a été installé sur le site du LPSC pour effectuer des tests et des mesures de longue durée. La prochaine phase sera un déploiement de l'ensemble de détection sur la mer, type de surface qui sera vue par le détecteur EUSO à 70 % du temps.

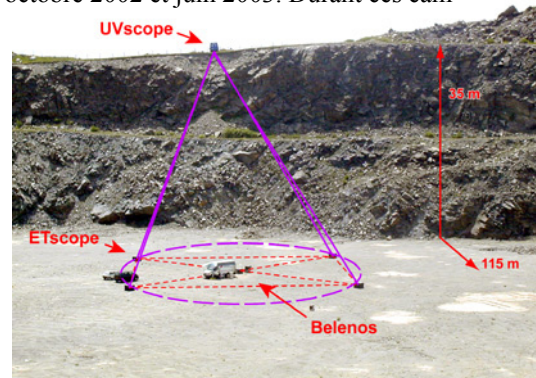


Figure 3 : Dispositif ULTRA sur site.

Spectroradiomètre UV

Afin de mesurer la réponse spectrale de la réflectivité effective des sols, sur les sites d'expérience ULTRA, un spectroradiomètre UV doit être utilisé.

Une étude de marché a été effectuée et cela a conduit le SDI à envisager la réalisation d'un spectroradiomètre UV pour des raisons de coût et d'adéquation aux spécifications des besoins. Le design du spectroradiomètre retenu permettra une mesure spectrale sur un angle solide de 2π stéradians (voir figure 5).

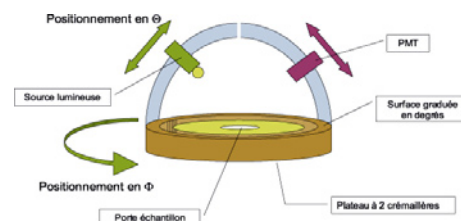


Figure 5 : Spectroradiomètre UV pour ULTRA.

Le système est semi automatisé dans un premier temps. Le détecteur est un photomultiplicateur sensible à la gamme spectrale spécifiée (250-450 nm). Le système d'acquisition et de contrôle commande sous LabVIEW a été réalisé fin 2003. Les phases de réalisation et de calibration sont en cours et vont se poursuivre en 2004. L'échéance de la réalisation mécanique de l'ensemble est planifiée pour fin avril 2004.

► Pré échantillonneur central d'ATLAS

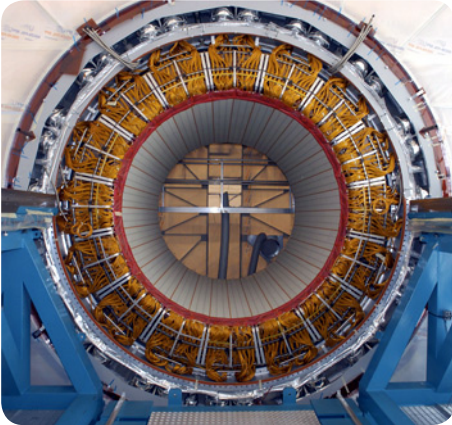


Figure 6 : 32 secteurs de pré échantillonneur montés sur la face interne du calorimètre électromagnétique.

La conception du pré échantillonneur central d'Atlas a débuté au LPSC il y a 11 ans.

Dès le début, le SDI a été impliqué et un de ses membres a été affecté à temps plein sur toute cette durée. Le service a participé activement aux choix technologiques lors de la phase R&D, à la rédaction et au suivi de 5 marchés publics, à la mise en place de la chaîne de production de contrôle et de test des secteurs de pré échantillonneur au LPSC, mais aussi au KTH de Stockholm.

La construction et la validation au LPSC de 41 des 66 secteurs de pré échantillonneur a duré 2 ans et demi de décembre 2000 à mai 2003. Quatre membres du service ont été impliqués dans cette phase de réalisation.

L'insertion au CERN des 64 secteurs du pré échantillonneur sur le calorimètre électromagnétique s'est déroulée en deux phases : 32 secteurs ont été insérés en 4 semaines en novembre

2002 et 32 autres ont été insérés en 3 semaines en juillet 2003. Pour chacune de ces deux étapes, quatre membres du service ont été impliqués à temps plein (voir figure 6).

Le SDI a également participé aux tests électroniques combinés du calorimètre et du pré échantillonneur après l'insertion du calorimètre dans le cryostat.

Enfin, 2 secteurs de pré échantillonneur ont été montés au CERN en septembre 2003 sur un ensemble représentant une tranche azimutale du détecteur Atlas.

► LBA - PEREN

Depuis le second semestre 2002 le service a pris de nouveaux engagements d'une part au sein du Laboratoire Basse Activité en participant aux analyses réalisées (voir ci-dessous) et d'autre part au sein du projet PEREN en concevant un laboratoire de chimie permettant de travailler sur les fluorures (pour plus de détails voir les activités du groupe des Réacteurs concernant le projet PEREN).

► Réalisations spécifiques

Pour le LBA

Pour la recherche fondamentale et des sociétés privées, un grand nombre de mesures de faibles radioactivités ont été faites sur des échantillons variés. (Voir détails rubrique LBA)

Pour l'expérience MACHe3

Réalisation d'une source nue de ^{57}Co à partir d'une solution de $^{57}\text{CoCl}_2$ de 20 Bq.

Cette source sur support d'or a pour caractéristique une très faible radioactivité (1 Bq) et permet de sortir des électrons de conversion interne d'énergies de 7 et 13 keV.

Pour la R&D du Tomographe

Étude et réalisation de shifters de longueurs d'ondes par dépôt sous vide de P-terphényle et de fluorure de magnésium sur disques de verre et de quartz.

GRAAL

Le SDI assure toujours la maintenance de l'instrumentation LabVIEW de GRAAL.

La fin de l'année 2003 a été marquée par la validation d'une régulation d'appoint pour la collimation du faisceau laser sur le faisceau d'électrons. Cet outil devrait conduire à une amélioration sensible des taux moyens d'acquisition, tout en facilitant la mise en route et la conduite des « run ».

En partant des instruments existants sur la ligne et en étroite collaboration avec l'expérimentateur, le SDI a développé un polarimètre à lame de Brewster, plus robuste et plus adapté aux conditions expérimentales de GRAAL que le polarimètre de Stokes précédemment installé. Un prototype complet est en cours de test sur la ligne.

À l'heure où d'importantes évolutions techniques (travaux d'installation d'une cible polarisée) et organisationnelles (transfert progressif de responsabilités aux membres italiens de la collaboration) viennent modifier le cours habituel des acquisitions, les performances offertes par cette instrumentation sont meilleures que jamais.

R&D CMB

Antennes

L'étude d'un instrument de prochaine génération dédié à l'observation de la polarisation du CMB (Cosmic Microwave Background) dans les bandes millimétriques et submillimétriques exige d'explorer la voie des matrices bolométriques de haute densité. Les dernières évolutions technologiques permettent d'envisager la réalisation d'une matrice de bolomètres couplée à une matrice d'antennes avec un pas de matrice adapté à la résolution spatiale souhaitée. Cet ensemble serait ensuite placé au plan focal d'un télescope pour l'imagerie directe du CMB.

Dans ce contexte, les antennes sont chargées de sélectionner la polarisation et de collecter l'énergie de l'onde millimétrique puis de la guider vers une résistance de charge dont la température sera mesurée par le bolomètre.

Ce développement s'appuie sur la modélisation de l'interaction des ondes électromagnétiques avec l'antenne grâce à un logiciel de simulation commercial récemment acquis au laboratoire. Ce logiciel 3D (HFSS) utilise la méthode des éléments finis et prend en compte toutes les caractéristiques physiques du dispositif :

- la permittivité (ϵ) et la perméabilité (μ) des différents matériaux ainsi que l'angle de perte ($\tan\delta$) en fonction de la fréquence de fonctionnement ;
- les dimensions et la forme exacte des différents éléments du dispositif ;
- la fréquence et la direction de polarisation de l'onde électromagnétique.

Après une phase de prise en main du logiciel (avec l'aide d'un stagiaire du CRTBT : V. Lukovac), nous sommes actuellement capables de modéliser un réseau d'antennes pour les bandes de fréquences souhaitées (entre 30 GHz et 3 THz).

La figure 7 montre la vue d'une antenne papillon métallique de 1,8 mm (en rouge) mo-

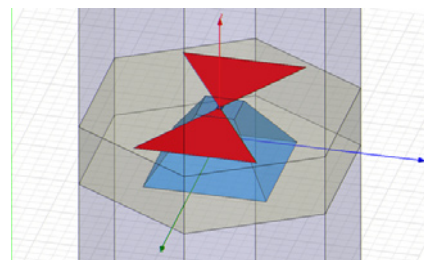


Figure 7 : antenne papillon métallique de 1,8 mm modélisée à l'aide d'HFSS pour R&D CMB.

délimitée à l'aide d'HFSS. Cette antenne appartient à une structure périodique hexagonale au pas 2 mm. On peut également voir la résistance de charge (bleu foncé), le substrat de Silicium (beige) et une cavité creusée dans le substrat (bleu clair).

Interféromètre Martin Puplett

Les récepteurs, les filtres ainsi que les matériaux utilisés dans la construction d'un instrument capable de fonctionner en ondes millimétriques et submillimétriques doivent être parfaitement caractérisés dans la bande spectrale prévue pour son fonctionnement (50 GHz - 1 THz).

La technique retenue est celle de la spectroscopie par transformée de Fourier (FTS) qui utilise un interféromètre de type Martin Puplett (MPI). Cet interféromètre, qui permet de couvrir une large gamme spectrale en lumière polarisée, sera construit en collaboration avec le CRTBT (A. Benoit, P. Camus).

La précision des mesures requise impose la construction d'un banc automatique, le SDI a étudié et déterminé les spécifications qui permettront l'étude et la réalisation mécanique par le SERM. La partie froide (cryostat pour la détection) est à la charge du CRTBT.

La phase A de définition du concept du MPI, commencée début Novembre, est quasiment terminée et la phase B de pré développement est planifiée pour courant 2004.

En parallèle, le service a commencé à étudier la réalisation de polariseurs haute fréquence à fils qui seront utilisés dans l'interféromètre. Pour répondre aux besoins spécifiques de cet instrument, ces polariseurs seront constitués de plans de fils de 25 microns tissés au pas de 60 microns sur des cadres circulaires d'au moins 25 cm de diamètre, soit pas moins de 4 000 fils.

► GØ – deuxième phase

Compteurs Čerenkov

Pour mémoire le SDI est très impliqué depuis 1998 dans la réalisation des détecteurs français de l'expérience GØ au laboratoire Jefferson en Virginie. Ce fut pour la première phase, en collaboration avec le service RDD de l'IPN d'Orsay, la réalisation des quatre octants (FPD) français de la collaboration. Ces détecteurs étaient opérationnels au JLab (Jefferson Laboratory, Newport News, Virginia, Etats Unis) en septembre 2001, et sont encore en acquisition de données en 2004.

Voir :

- Expérience GØ : <http://lpsc.in2p3.fr/hadrons/hadrons.html> ; GØ ; physique - dispositif
- Photothèque in2p3 GØ : http://phototheque.in2p3.fr/EXP_GØ

La deuxième phase concerne l'expérience aux angles arrières, donc le retournement du détecteur et l'adjonction dans le domaine angulaire des octants, de CED et de compteurs Čerenkov. Depuis 2002, le service travaille avec les physiciens et le service d'études et de réalisations mécaniques du laboratoire pour l'étude, la réalisation et le montage de quatre des huit compteurs Čerenkov nécessaires (compteurs Čerenkov à radiateur en aérogel d'environ 550 mm par 620 mm et 150 mm d'épaisseur). Voir : http://lpsc.in2p3.fr/hadrons/annual_report_lcmi/annual_report_lcmi.html

Le service s'est très impliqué dans une première phase sur l'étude des photomultiplicateurs permettant la détection au niveau du photoélectron sur une grande surface. Le choix s'est porté sur les XP472B/D1 de la société Photonis d'un diamètre de 130 mm. Nous avons rédigé un CCTP qui a conduit à l'achat de 20 XP4572B/02 spécifiques. Chaque compteur Čerenkov est équipé de 4 photomultiplicateurs.

Nous avons assuré la réception de ces tubes PM et l'établissement de leurs caractéristiques

(courbes de gains en fonction de la haute tension et ceci au niveau du photoélectron, étude du bruit, etc.).

Nous avons travaillé sur l'étude des matériaux diffusants, le choix final s'est porté sur trois couches de papier millipore non collées. Nous avons travaillé à la réalisation du blindage magnétique de chaque tube, le champ de fuite maximum des bobines supraconductrices de l'expérience, au niveau de ces tubes, sera de l'ordre de 11 mT dans le sens transverse et de 4,38 mT dans le sens axial. Nous avons travaillé aux montages spécifiques et aux tests dans le champ de fuite d'un aimant du LCMI (voir figure 8).

Un premier compteur prototype a été réalisé (voir figure 9). Il a fallu étudier et réaliser la découpe des plaques d'aérogel (voir figure 10), réaliser la mise en place des cinq couches, fixer les papiers diffusants et assurer l'étanchéité optique de l'ensemble (voir figure 11).

Nous avons adapté et remis en service un banc de test sous rayonnement cosmique que nous avons réalisé pour l'expérience AMS (voir figure 12), ainsi l'efficacité du compteur peut être mesurée zone par zone et comparée aux simulations. Le nombre équivalent de photoélectrons détectés par événement reste de l'ordre de 10, ils sont répartis sur les quatre photomultiplicateurs du compteur.

Aujourd'hui, nous réalisons le montage des trois autres compteurs, et nous allons participer à leur expédition puis au montage dans l'expérience à JLab d'ici l'été 2004.

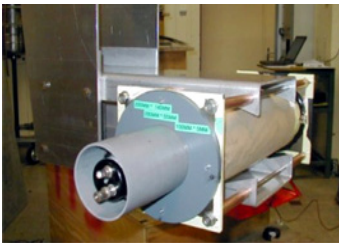


Figure 8 : Photomultiplicateur Čerenkov G0 et son triple blindage, en test au LCMI de Grenoble.

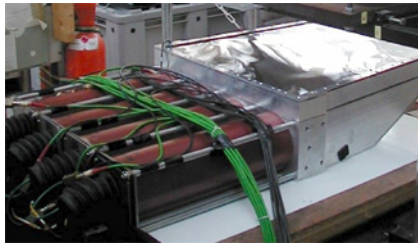


Figure 9 : Prototype n°1 Čerenkov G0 assemblé et équipé de ses 4 photomultiplicateurs en test dans le hall B.



Figure 10 : Machine mise au point pour la découpe des plaques d'aérogel.

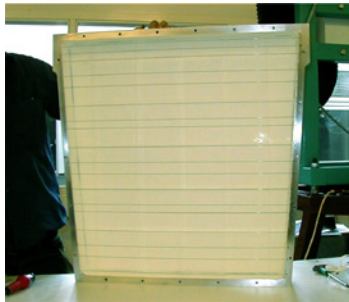


Figure 11 : Radiateur Čerenkov constitué de multiples plaques d'aérogel montées en cinq couches sur des fils nylon, toutes les parois sont diffusantes.



Figure 12 : Banc de test sous rayonnement cosmique de haute énergie. 750 mm de Pb – 3 chambres à fils XY pas 2 mm (zone utile 320 par 320 mm – déclenchement coïncidence de deux scintillateurs de 500 par 500 mm, un haut et un au sol. Test du proto 1 de Čerenkov de l'expérience G0 (sous le drap blanc) et test des prototypes de scintillateurs de l'expérience n-DVCS (boîte noire au dessus de la chambre n°3.

► n-DVCS

Dès décembre 2002, les physiciens du laboratoire nous ont impliqués complètement dans l'étude d'un détecteur de marquage pour l'expérience n-DVCS (Deep Virtual Compton Scattering) dans le hall A du JLab (Jefferson Laboratory, Newport News, Virginia, États Unis). Voir tous les documents de cette expérience au chapitre Physique et sur le site : <http://www.jlab.org/~voutier/nDVCS/>

Il s'agit d'un compteur de deux couches de plastiques scintillants formant un éventail juste derrière la chambre de réaction de l'expérience. Il devra travailler dans un flux de particules très important et servir d'étiqueteur des particules détectées dans les blocs. Nous avons

Figure 13 : Premier prototype de scintillateur pour l'expérience n-DVCS, Ne111 habillé d'aluminium, Pm Hamamatsu R7877 en contact avec le scintillateur (gel DowCorning), pont LPC Clermont, coque de centrage AMS modifiée.



travaillé dans une première phase, avec les physiciens, pour définir un tel détecteur ; choix des scintillateurs, forme, choix des photomultiplicateurs et de l'électronique à utiliser. Puis nous avons travaillé avec le service d'études et de réalisations mécaniques du laboratoire, qui assure en 2004 la conception et la réalisation mécanique de ce détecteur.

Dès l'été 2003, nous avons entièrement pris en charge la réalisation de deux prototypes de scintillateurs (Ne111 20 mm d'épaisseur), habillés respectivement d'aluminium et de millipore diffusant. Ils ont été équipés de photomultiplicateurs Hamamatsu R7877 (type calorimètre ATLAS), équipés d'un pont et d'un amplificateur mis au point et prêtés par le LPC Clermont (voir figure 13). L'ensemble a été mis sous boîte noire et testé depuis l'été 2003 avec un stagiaire de l'ENSPS, puis un thésitif du groupe de physique, sur le banc de test cosmique installé pour les tests du compteur Čerenkov de l'expérience GØ (voir photo figure 14). Nous avons utilisé le circuit ARS 16 voies (fabriqué par le LPC Clermont) qui permet d'enregistrer événement par événement la forme de l'impulsion délivrée par chaque PM (codage par pas de une nanoseconde pendant 128 nanosecondes).

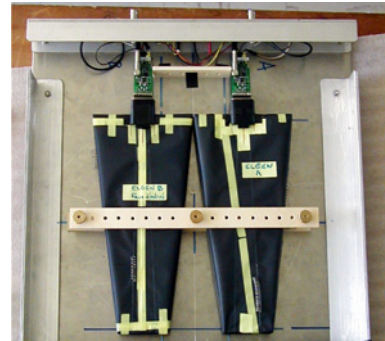


Figure 14 : Les deux scintillateur ELJEN pour l'expérience n-DVCS, EJ200 habillé d'aluminium, l'un usinage diamanté, l'autre poli pour tests comparatifs sous rayonnement cosmique.

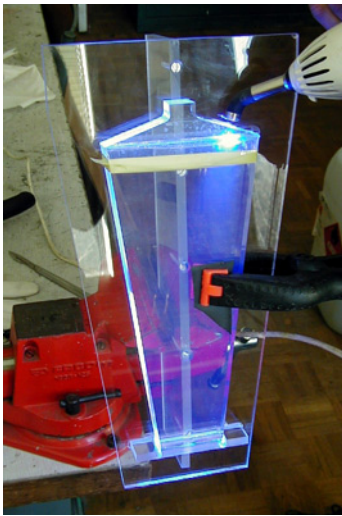


Figure 15 : le prototype de scintillateur EJ200 pour l'expérience n-DVCS. Mise au point et collage sous UV du guide de lumière en PMMA. Le côté vertical des scintillateurs a un angle de dépouille d'environ 2,5 degrés.

Les tests se sont poursuivis jusqu'à ce jour avec deux nouveaux scintillateurs, le EJ200 de la société ELJEN, toutes faces usinées du type diamanté puis polies, et enfin avec différents guides de lumière en PMMA (voir photo figure 15). L'objectif étant d'obtenir une très bonne uniformité de la réponse du scintillateur, en regard du nombre des photoélectrons détectés suivant la zone du scintillateur traversé. Les tests se poursuivent en collaboration avec le service d'Electronique du laboratoire pour mettre au point le pont et les amplificateurs les mieux adaptés (très haut flux de particules) et ainsi limiter le courant anodique des PM.

Le service va assurer en 2004 les tests de réception des PM, le montage (collage) et l'habillage des scintillateurs, l'assemblage dans la structure mécanique réalisée par le SERM, le câblage, et finalement le remontage et l'installation à JLab. (planning extrêmement serré).

AMS

Durant ces deux dernières années, le SDI a mené plusieurs actions pour l'expérience AMS, le plus souvent en collaboration étroite avec le service d'électronique. Plus particulièrement, le service est intervenu pour :

- la transformation de l'enceinte de test du prototype pour sa mise en vide, et les tests d'isolation thermique ;
- la mise en œuvre des moyens de test des photomultiplicateurs (lumière étalon de référence) ;
- le « Potting » (injection d'un enduit élastique antivibratoire) de 750 PMs dans leur coquille (suite à des problèmes de compatibilité avec la série définitive des coques, une nouvelle phase R&D sur le potting a du être lancée fin 2003) ;
- l'intégration des PMs dans leur blindage magnétique puis dans la matrice ;
- le montage des plaques d'aérogel sur la matrice de test ;
- la logistique (transport et montage de la matrice) pour les campagnes de test au CERN ;
- la mise en œuvre de chambres à fils pour les tests en cosmiques et sur faisceaux au CERN (voir rapport AMS).