

Service Études et Réalisations Mécaniques

D. Bondoux et D. Grondin, A. Beteille, J. Brunet, Y. Carcagno, J.-M. Carretta, L. Coppola, G. Damieux, F. Dekeirel, D. Fombaron, A. Fontenille, C. Fourel, M. Jullien, J.-C. Malacour, D. Marchand, G. Michel, E. Perbet, P. Petit, N. Rico, S. Roudier, G. Suteau, E. Vernay, F. Vezzu.

This service is in charge of design, manufacturing and assembly of mechanical and cryogenic systems. Its experienced people make use of modern design and simulation software and of numerous machining tools.

◇ Évolution des outils de conception et de fabrication

CAO

Le logiciel CATIA reste l'outil de dessin de référence du Service Études et Réalisations Mécaniques avec des mises à jour régulières des versions utilisées. Le logiciel EUCLID est cependant toujours exploité afin d'assurer la compatibilité avec des études démarrées précédemment et afin de permettre des échanges avec des partenaires utilisant également ce logiciel (pour l'expérience ATLAS en particulier). La gestion de documentation technique est assurée via le logiciel SMARTEAM pour lequel le SERM a servi de site pilote pour l'installation du logiciel à l'IN2P3.

Pour les calculs prédictifs, le logiciel en Éléments Finis SAMCEF sert régulièrement pour des dimensionnements en thermique et en tenue mécanique.

Atelier

Le parc de machines-outils a été renforcé fin 2005 par l'acquisition d'un centre d'usinage numérique *DECKEL MAHO DMC 635V*. La charge programmée des réalisations de l'atelier du LPSC concerne principalement des ensembles mécaniques complexes et précis (instrument CREAM, Source PHOENIX 28 GHz, coupleurs et banc de test SPIRAL 2, R&D CMB (Interféromètre), sources MIMAC-He3)... Les pièces mécaniques correspondantes sont la plupart du temps impossibles à réaliser avec des machines traditionnelles.

Le centre d'usinage à commande numérique accroît de manière notable notre capacité à assurer ce type de travaux tout en s'intégrant dans une logique de plan qualité, de plus en plus exigée dans les cahiers des charges des expériences nouvelles.

CFAO

Afin d'exploiter au mieux les possibilités d'usinage de la fraiseuse numérique de l'atelier, les équipes du bureau d'étude et de l'atelier ont poursuivi l'utilisation d'une liaison CFAO entre cette machine et le logiciel CATIA. Les fichiers ainsi générés permettent de simplifier grandement la création des gammes d'usinage dans le cas de pièces mécaniques très complexes.

Cette liaison CFAO, déjà validée au LPSC, a été testée en 2004 par d'autres laboratoires de l'IN2P3. Un post processeur spécifique a été mis au point pour la fraiseuse CINCINNATI. Le développement et la mise au point d'autres post processeurs peuvent se faire en utilisant l'application IMS 7 dont une licence vient d'être commandée par l'IN2P3. Le SERM doit s'impliquer en 2006 dans l'utilisation de cette application.

◇ Principales réalisations

ALICE

Réalisation d'une maquette de test du système d'alignement du spectromètre dimuons de l'expérience ALICE en cours d'installation sur le LHC du CERN. Collaboration avec l'IPN Lyon. La conception mécanique et la réalisation de la maquette seront terminées début 2006.

Projet ATLAS / cryogénie de proximité

L'expérience ATLAS est implantée sur le LHC du CERN. Pour cette expérience le SERM est en charge de la cryogénie de proximité qui a pour fonction principale de maintenir sous-refroidi un volume total de 83 m³ d'argon liquide à une température de 87 K pendant plus de 10 ans avec un gradient maximum de 0,6 K. Cette fonction est réalisée grâce à des échangeurs internes [1] à l'azote liquide placés autour des détecteurs. Deux

membres du service sont affectés à temps plein sur le site pour la durée de cette mission. Le rapport précédent décrivait le détail des prestations que le service devait fournir, les premières réalisations et installations, tant dans le hall 180 du CERN que dans la caverne ATLAS.

Ce projet a continué à représenter un travail important durant la période 2004-2005. À l'issue de la période 2002-2003 regroupant des phases d'ingénierie, d'approvisionnement, fabrication, montage et tests de nombreux équipements dans le hall d'intégration 180 du CERN, une importante coordination technique a été nécessaire afin d'assurer :

- la fin des tests dans le hall 180,
- le démontage des équipements du hall 180,
- l'installation et la mise en route des équipements dans la caverne.

La grande majorité des études est maintenant terminée. Les éléments de la cryogénie de proximité ont été livrés, assemblés et utilisés pour le test des cryostats au hall 180 du CERN.

▪ Tests au B180

Les deux systèmes de calorimètres, Barrel et End-Cap, ont été mis en service début 2004 avant leur descente dans la caverne ATLAS pour une phase de tests en froid, qui s'est étalée jusqu'à fin 2005.

L'installation des équipements dans le hall 180 du CERN (Figure 1) a été complétée par :

- la fourniture de la plateforme End-Cap A pour l'installation du vase d'expansion et de la boîte à vannes,
- la fourniture et les tests de réception des vases d'expansion et boîtes à vannes, leur intégration au système cryogénique du hall 180,
- la fourniture et l'installation des systèmes de vide en collaboration avec l'équipe du CERN.

Enfin, le service a réalisé de manière continue jusqu'en novembre 2005, le démontage des équipements de la cryogénie de proximité des calorimètres afin de les descendre dans la caverne.

▪ Lignes cryogéniques pour la caverne UX15

Concernant ce lot, les travaux suivants ont été effectués :

- la fabrication et la livraison des lignes flexibles azote pour les End-Caps, et le début de fabrication des deux lignes de sécurité argon liquide,
- le marché pour la fabrication [3 sous-traitants], l'assemblage des colliers [4^{ème} sous-traitant], et les supports du système de guidage des lignes de sécurité argon,
- la validation et fabrication des systèmes de guidage des 2 lignes flexibles de sécurité argon liquide DN 150, longues chacune de 33 mètres, qui permettront le déplacement sur 12 mètres des 2 cryostats End-Cap en fonctionnement normal. L'installation se fera au 1^{er} trimestre 2006,
- le marché des lignes de transferts cryogéniques rigides, simples et triples (140 m de DN 20 à DN 210),
- la fabrication du système de vide d'isolation des cryostats et des équipements de la cryogénie de proximité ainsi que le vide de purge des cryostats avant leur remplissage en argon liquide et les vides feedthroughs (128 traversées signaux sous vide indépendant).

Pour la rédaction des spécifications techniques des lignes cryogéniques rigides et flexibles, de nombreuses réunions de travail avec la Coordination Technique (TC) d'ATLAS ont été nécessaires afin de prendre en compte les nombreuses interfaces avec d'autres parties du projet et les contraintes d'environnement (compacité, mouvements relatifs dans ATLAS pendant sa construction et son fonctionnement, sollicitations sismiques...).

▪ Installation dans la caverne

Le scénario d'installation de tous les équipements de la cryogénie de proximité dans la caverne a été préparé tant pour le détecteur ATLAS proprement dit que pour les plateformes techniques déportées.

Au cours de l'année 2005, le SERM a mené à bien, comme actions principales :

- l'intégration des services de la cryogénie de proximité sur le calorimètre Barrel en position garage (système vide et tronçons de lignes cryogéniques),



Figure 1 : End-Cap C au hall 180 avant intégration des détecteurs et installation des équipements cryogéniques pour les tests en froid.

- l'installation de la majorité des lignes de pompage du système vide (Barrel et End-Caps) y compris les groupes de pompage en novembre 2005,
- le début de l'installation du système de guidage de la ligne de sécurité argon du End-Cap C, et le test de communication avec le système de contrôle de déplacement des détecteurs,
- la mise en place de deux vases d'expansion et des boîtes à vannes (Figures 2 et 3) sur les plateformes de services.

2006 sera une année cruciale pour le projet avec les tests in situ de tous les composants, en particulier les lignes de transferts cryogéniques flexibles pour les End-Caps.



Figure 2: Installation boîte à vanne azote du Barrel (caverne ATLAS, CERN).



Figure 3: Boîte à vanne et vase d'expansion azote du Barrel (caverne ATLAS, CERN).

Planck-HFI

Cette mission de mesure du fond cosmique, embarquée sur satellite, sera lancée courant 2007. Le Service Études et Réalisations Mécaniques du LPSC est plus particulièrement en charge de la conception (dimensionnements thermiques) et de la réalisation des boîtiers devant accueillir la *Dilution Cooler Electronics*.

Après avoir effectué ce travail, dès octobre 2004, le SERM a réalisé l'usinage en commande numérique de deux modèles de qualification des boîtiers en Fortal. À cet effet une liaison CFAO entre le logiciel de CAO (CATIA V5) et la fraiseuse à commande numérique de l'atelier du LPSC a été exploitée. Les opérations de traitement de surface, peinture et mise en propreté ont été sous-traitées.

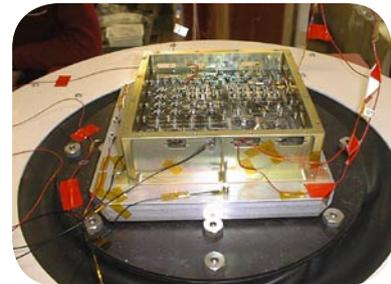


Figure 4: PLANK - tests de vibrations d'un boîtier équipé.

Un boîtier équipé d'un lest représentatif du DC/DC et de deux cartes électroniques (composants représentés par des lests) a été soumis à des tests de vibrations (Figure 4) au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille. Les niveaux vibratoires définis pour l'acceptation des équipements étaient relativement élevés (25 g). Ces tests ont permis de valider le bon dimensionnement de l'ensemble et de vérifier son intégrité.

CNAO

L'équipement de base du CNAO sera un synchrotron. Un bêtatron doit être utilisé comme dispositif d'extraction lente des particules accélérées par le synchrotron.

Le SERM assure à ce titre la coordination technique au sein du LPSC du contrat englobant l'ingénierie, le design et la construction.

En 2005, le SERM a réalisé :

- le lancement et le suivi de fabrication de la maquette livrable en 2006,
- le design préliminaire du bêtatron ; suivra l'appel d'offre en 2006 pour une livraison début 2007.

HIPPI

Le SERM s'est engagé dans la réalisation d'une maquette des cellules et du port de couplage du DTL. La pré-étude des cellules était réalisée en août 2005, et les consultations pour la fabrication du port de couplage engagées. Le SERM assurera l'usinage en commande numérique du coupleur début 2006.

MIMAC-He3

Le SERM a assuré en 2005 la conception d'une source d'ions 2,45 GHz à base d'aimants permanents et devant produire des faisceaux d' ${}^3\text{He}^{2+}$ de très faible intensité pour le projet MIMAC-He3. Cette source a été réalisée en deux exemplaires, la deuxième devant assurer la production d'un faisceau de 1 mA de protons pour le projet IPMBio à l'IPN Lyon.

SPIRAL 2

▪ Coupleurs RF

Figure 5 : SPIRAL 2 - coupleur RF assemblé.



Fin 2004 la phase d'avant-projet détaillé des coupleurs RF des cavités accélératrices supraconductrices du LINAC de SPIRAL 2, auquel le SERM a fortement contribué s'est achevée. Ces coupleurs doivent en particulier répondre à des exigences de couplage électromagnétique et de dissipation thermique.

Après l'étude du projet et les calculs de dissipation thermique de l'antenne (transfert des données géométriques issues d'une maquette numérique du coupleur réalisée sous CATIA, vers le logiciel en éléments finis SAMCEF-FIELD), deux prototypes de coupleurs RF de puissance (Figure 5), utilisant deux technologies différentes de *fenêtre* céramique métal, ont été réalisés (1^{er} semestre 2005). Les géométries et matériaux retenus ont été définis après de nombreuses simulations numériques afin de répondre au mieux à des exigences parfois contradictoires (encombrement, RF, thermique, mécanique, tenue au vide...) (Figure 6).

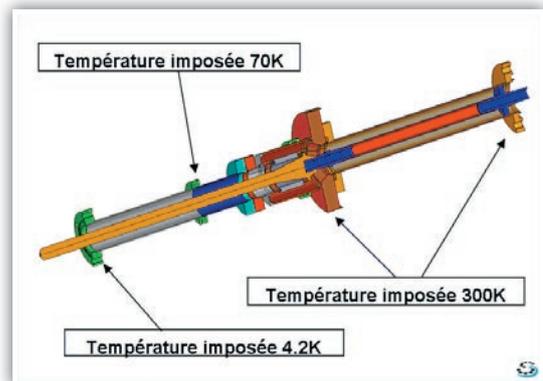


Figure 6 : SPIRAL 2 - conditions limites du modèle thermique.

Les procédures de fabrication et d'assemblage (en particulier brasures céramique métal et soudure par faisceau d'électrons) ont été définies. Le SERM a également conçu et réalisé le banc de test (Figure 7) qui permettra de tester ces coupleurs. Ce banc est entièrement monté et est actuellement en cours d'utilisation par le service Accélérateurs.

▪ Booster de charge

Le booster de charge conçu initialement pour une tension accélératrice de 30 kV doit, dans le cadre de SPIRAL 2, pouvoir être porté à 60 kV ; les modifications nécessaires ont été apportées tout en augmentant la résistance mécanique de l'ensemble. Cette nouvelle version a été produite pour le LPSC et est en voie de l'être pour ISOLDE au CERN.

▪ PHOENIX (Q/A=1/3)

Le LPSC qui a la responsabilité de l'injecteur (Q/A=1/3) de SPIRAL 2 a assuré la conception (SSI-SERM) d'une nouvelle source d'ions (A-PHOENIX) de haute technologie. Le champ magnétique axial est assuré par des bobines supraconductrices à haute température, tandis que le champ magnétique radial est assuré par un hexapole à aimants permanents de dernière génération. Les problèmes thermiques et la maîtrise nécessaire des forces magnétiques intenses ont nécessité des solutions innovantes au niveau de l'intégration mécanique.

n-DVCS

Après la définition en 2003 de l'ensemble de la partie mécanique du détecteur de neutrons, le SERM s'est engagé en 2004 dans la conception et la réalisation de ce détecteur de marquage pour l'expérience n-DVCS (Deep Virtual Compton Scattering). La forme conique du détecteur et la place disponible réduite ont conduit à une conception par secteurs angulaires. Une attention particulière a été portée aux procédures d'usinage et



Figure 7 : SPIRAL 2 - banc de tests.

d'assemblage qui sont relativement complexes du fait de cette conception. La conception a été faite à l'aide de CATIA V5. Les données techniques CAO de l'étude ont été gérées avec SMARTEAM.

Le détecteur [2] s'intègre entre la chambre de diffusion et le détecteur de protons dans un espace de dimensions réduites (Figure 8). Il est constitué de deux couches de scintillateurs divisées en secteurs angulaires et disposées sur une couronne couvrant un angle de 270° . Entre la première couche et la chambre sphérique, un blindage [3] d'épaisseur 10 mm en Inox 304L a été nécessaire (Figure 9).



Figure 8: Le détecteur est fermé d'un côté par une tôle roulée en 304L et de l'autre par une tôle en AGS roulée en cône.

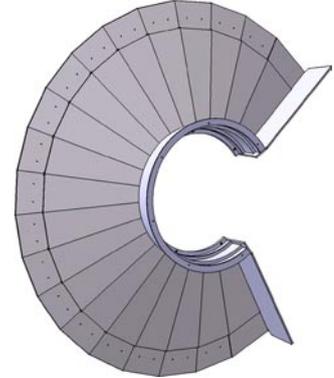


Figure 9: Le blindage est constitué de 20 secteurs dépouillés sur leurs faces latérales afin de permettre la reconstitution d'un cône facétisé.

Ces secteurs ont été usinés en commande numérique à partir de fichiers de programmation issus du module CFAO de CATIA V5. L'utilisation du 4^{ème} axe a permis de faciliter l'usinage des faces dépouillées. Les 20 secteurs ont été soudés entre eux sur une couronne en forme de C. Cette couronne de mince épaisseur, usinée sur le tour à commande numérique du LPSC, a nécessité un recuit de stabilisation pour éviter une trop grande déformation due au relâchement des contraintes lors de sa découpe.

Le détecteur a été installé dans le hall A du Jefferson Laboratory en juin 2004.

Interféromètre Martin-Puplett

Le SERM a eu en charge la conception et la réalisation mécanique d'un interféromètre de type Martin-Puplett (MPI) travaillant dans les domaines millimétriques et submillimétriques (bande spectrale 50 GHz - 1 THz).

Cet interféromètre a été réalisé en 2005 en collaboration avec le CRTBT [4] [5] (cryostat pour la détection).

Les principaux objectifs à atteindre étaient :

- la mesure en transmission/réflexion d'éléments optiques dans le domaine 5 mm - 300 mm,
- la mesure de l'absorption de matrices de bolomètres en fonction de la direction de polarisation du rayonnement,
- le cryostat optique pour caractériser les matrices de bolomètres à basse température (4 K).

Les principaux composants de l'interféromètre sont (Figures 10) :

- une source froide, une référence 300 K, des diaphragmes, un premier polariseur tournant (600 tour/min) réalisant une modulation de la source, une grille séparatrice polarisante,
- un polariseur fixe de sortie, deux miroirs en coin dont un mobile en translation (déplacement motorisé), une lentille de sortie.

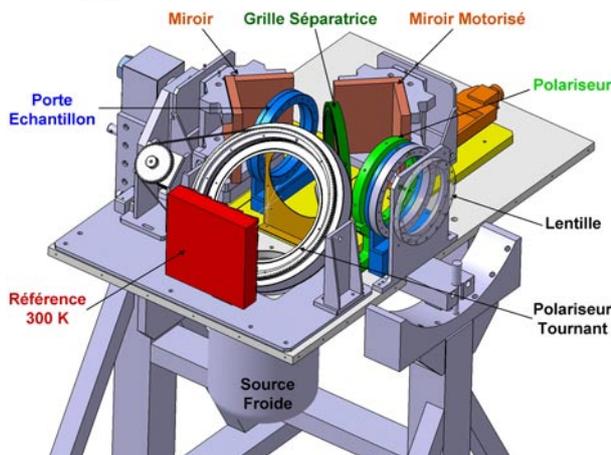


Figure 10: Schéma de l'interféromètre Martin-Puplett.



Figure 11: Interféromètre Martin-Puplett en cours de montage.

Les principales contraintes technologiques de réalisation sont liées au tissage des polariseurs et de la lame séparatrice et aux exigences de précision géométrique pour la réalisation des composants et leur positionnement relatif. La réalisation des différentes pièces (Figure 11) de l'interféromètre a nécessité 129 jours d'usinage. Certaines pièces gauches comme la grille séparatrice ont été réalisées sur commande numérique avec l'aide de la CFAO.

CREAM

Le SERM a assuré, mi 2005, l'assistance pour la conception thermo-mécanique du support d'un compteur Cherenkov pour cette expérience.

Usinage de pièces mécaniques complexes

- PHOENIX 28 GHz : deux chambres à plasma (Figure 12) en FORTAL ont été taillées dans la masse et ont nécessité 54,5 jours d'usinage sur tour et fraiseuse numériques, pour la source PHOENIX 28 GHz du Service des Sources d'Ions.
- Usinage dans la masse d'une nouvelle chambre à électrons-gammas en FORTAL pour le groupe Structure Nucléaire.

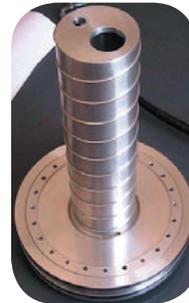


Figure 12: Chambre à plasma avec hélice de refroidissement.

Accueil de stagiaires

Le SERM accueille et encadre régulièrement des stagiaires qui sont amenés à travailler sur des sujets de thermique et de mécanique. Ont été accueillis, en 2004 et en 2005, deux élèves ingénieurs de l'École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées.

- [1] <http://lpsc.in2p3.fr/caomec/ATLAS/site%20html/image-ac5.html>
 [2] http://lpsc.in2p3.fr/caomec/NDVCS/images/Ens_nDVCS_JLab.jpg
 [3] <http://lpsc.in2p3.fr/caomec/NDVCS/images/Blindage.jpg>
 [4] http://crtbt.grenoble.cnrs.fr/astro/dcmb_pub/
 [5] <http://crtbt.grenoble.cnrs.fr/>

