

Service Mécanique

J. Ballansat, J.F. Ballansat, J.P. Baud, F. Cadoux, M. Cailles, A. Chatelain, B. Chenal, P. Delebecque, J.M. Dubois, G. Gaillard, L. Giacobone, **C. Girard**, A. Jérémie, L. Journet, J.C. Le Marec, J. Lesueur, B. Lieunard, P. Mugnier, I. Montero, P. Petitpas, R. Sottile, E. Triquet, J. Thion

Stagiaires : J. Baudey, G. Berthollet, V. Guers, G. Legrais, P. Pernoud, S. Perraud

Missions

Conception, étude, réalisation, C.A.O et calculs de structures sont les domaines d'activité des 18 agents du service de mécanique du LAPP. La mission du service consiste à prendre en charge la réalisation d'un ensemble ou d'un sous-ensemble mécanique d'un appareillage de physique. Les expertises se font au niveau de la définition, de la faisabilité, du prototypage, de la sous-traitance et du montage sur site d'expérience.

Son organisation s'articule autour d'un bureau d'étude et d'un atelier ; ces deux compétences se retrouvent dans les équipes de projet mises en place pour chaque expérience sous la responsabilité d'un ingénieur de projet.

Organisation et formation

Les groupes s'inscrivent le plus souvent dans des collaborations internationales pouvant atteindre plusieurs dizaines d'équipes. Une compétition importante et des dates de réalisation souvent contraignantes demandent rigueur et organisation.

Compte tenu de la diversité des problèmes rencontrés, une forte adaptabilité des personnes du service est indispensable. Une bonne connaissance du tissu industriel local et national est également nécessaire pour le suivi des travaux en sous-traitance. Les connaissances du personnel sont régulièrement actualisées par le suivi de stages de formation aux techniques nouvelles. Signalons enfin que le service accueille chaque année 4 à 5 stagiaires d'horizons divers (IUT, maîtrise, école d'ingénieurs).

Dans le cadre des projets VIRGO, ATLAS, LHC et AMS, les méthodes d'organisation du travail et de gestion documentaire doivent prendre en compte les points suivants: spécifications techniques de besoin, gestion de documentation par archivage centralisé, numérotation automatique des documents, différenciation de documents à usage interne ou public, planning prévisionnel, affectation des ressources, revues de conception, revues critiques de définition.

Parallèlement à ces activités, chacun se voit confier des tâches d'intérêt général nécessaires au bon fonctionnement du service (gestion du matériel, informatique, documentation technique, gestion de l'outillage, entretien du parc machines).

Moyens de réalisation, métrologie et essais

L'essentiel des réalisations se fait à l'extérieur. Localement sont surtout élaborés des prototypes et des éléments de finition en

cours d'assemblage. Le parc de machines-outils du laboratoire est très diversifié (fraiseuses, tours...), prochainement nous devons recevoir une fraiseuse à commande numérique de 700x500x500 mm³. Un atelier de soudure (TIG, MIG) est également à la disposition des équipes.

Le service possède une machine de mesure tridimensionnelle pour le contrôle des pièces réalisées dont la résolution peut atteindre 5 µm sur des déplacements de 700 mm. Dernièrement nous avons mesuré les 16 arceaux de l'anneau prototype de la structure porteuse du calorimètre ATLAS et la géométrie des moules pour les électrodes d'ATLAS.

Nous disposons dans une structure de laboratoire de tests mécaniques des installations suivantes :

- une étuve cyclique avec une plage de température de $\pm 80^{\circ}\text{C}$
- une sonde à ultra sons avec bac d'immersion
- une machine de traction
- une centrale d'acquisition pour jauges extensiométriques, thermocouples, etc...
- un binoculaire équipé d'une caméra avec un logiciel d'analyse d'image

Activité CAO

Le bureau d'étude est doté de CAO 2D - 3D, avec les progiciels EUCLID et CATIA standardisés au sein de l'ensemble des laboratoires de l'IN2P3. Huit stations de travail d'une capacité de stockage de 25 Giga octets sont affectées à l'activité conception. Cette structure permet la gestion et la réalisation d'ensembles mécaniques importants. Ces travaux peuvent être réalisés en collaboration avec d'autres laboratoires grâce à l'échange de fichiers par le réseau.

Le service possède également des codes de calcul par éléments finis SYSTUS, SAMCEF, ACORD. Ces logiciels permettent de réaliser des simulations sur le comportement des appareillages (thermomécanique, vibration, électromagnétique, composites), optimisant les dimensions des pièces et diminuant le nombre d'essais à réaliser avant de passer à la construction.

Pour la définition préliminaire du calorimètre d'AMS, nous avons utilisé "SYSTUS" pour calculer les modes propres de vibration et le calcul des contraintes mécaniques dans les cas de sollicitations dynamiques extrêmes sous des accélérations de 15 g. Des calculs électromagnétiques avec "SYSTUS", ont permis d'optimiser les dimensions et de minimiser le poids

des blindages magnétiques des photomultiplicateurs du système de collection de lumière d'AMS.

Conception des projets

Il s'agit, dans un premier temps, de concevoir à l'aide des outils informatiques la géométrie de l'appareillage, puis ensuite de proposer ou de mettre au point les matériaux qui seront utilisés. Les contraintes très spécifiques des cahiers des charges nécessitent des études approfondies.

Le plus souvent, les appareillages de quelques kilogrammes à plusieurs tonnes s'inscrivent dans un environnement restreint. Une précision sur la réalisation des pièces pouvant aller jusqu'à un micron est parfois requise. Les structures mécaniques doivent être rigides et peu denses afin de ne pas dégrader la résolution de l'appareillage. C'est pourquoi, les matériaux composites à hautes performances mécaniques (fibre de carbone, fibre de verre...), apparaissent de plus en plus dans les structures de support. La géométrie des pièces réalisées devant être connue avec précision, leurs déformations sous chargement doivent être soigneusement calculées et contrôlées. L'uniformité et l'homogénéité des pièces construites deviennent alors des critères de qualité.

Par exemple la réalisation de la chambre à vide centrale de Virgo, 7 tours plus les tubes de liaison, est un projet complet de génie mécanique. A la conception et aux études s'ajoute la traçabilité complète de ces enceintes propres pour ultravide, de leur élaboration jusqu'à leur installation sur site. Ceci implique la rédaction, pour les parties attribuées au LAPP, de documents techniques parfaitement structurés pour les appels d'offre et le choix des sous-traitants. Il est indispensable de définir le mode de fabrication, les tests et les contrôles sur des documents établis conjointement avec les entreprises.

Etude et mise en oeuvre de techniques spécifiques

Pour la réalisation de projets, il faut mettre en oeuvre des techniques nouvelles et des matériaux classiques ou novateurs. Il est également essentiel de connaître parfaitement l'environnement dans lequel va fonctionner pour plusieurs années l'appareillage (taux de radiation, vide, tension électrique, température cryogénique, cycle thermique, propreté).

La diversité des projets dans lesquels le LAPP est impliqué permet aux personnels du service mécanique d'acquérir des compétences multiples dans le comportement, la mise en oeuvre ou l'utilisation de ces matériaux qui conduit souvent à des réalisations nouvelles (collage, pliage etc...) et de techniques nouvelles.

Dans le cadre du projet VIRGO, une installation de pompage respectant les règles d'ultravide sans pollution d'hydrocarbure a été mise en oeuvre. Un vide de l'ordre de 10^{-10} mbar a été obtenu en présence d'une pression partielle d'hydrocarbure inférieure à 10^{-13} mbar. Ces résultats ont permis de valider l'ensemble du processus de fabrication des bas de tours. Les techniciens de VIRGO ont étudié et défini des scénarios de mise en place des optiques à l'intérieur des tours dans des

conditions extrêmes de propreté. Moins d'une particule de 0,1 micron par millimètre carré à la surface des miroirs doit être obtenue.

D'autre part dans le projet spatial AMS, le système de collection de lumière implique le collage de feuilles minces réfléchissantes à l'intérieur de 1296 troncs de pyramide. La manipulation de ces feuilles se fait à l'aide d'un appareillage spécifique sous vide, le mode d'application de la colle de type optique a fait l'objet de nombreux tests. Cette réalisation est en cours de tests de validation qui consistent en des cycles de température $+60^{\circ}\text{C}$ -60°C avec une période de 90 minutes.

Pour les matériaux, le service possède en particulier une expertise dans la découpe de matériaux fragiles comme des cristaux (BGO, PbW04, CeF3,...) ou des plastiques scintillants (meules diamantées, lubrifiants spéciaux).

Contributions aux expériences

Au cours des dernières années, les réalisations du service ont porté sur les expériences suivantes:

VIRGO

Tests optiques pour la détection du signal, réalisations de pièces mécaniques très précises, puis études et réalisation du banc de détection définitif. La chambre à vide centrale, comprenant 7 tours, a été assemblée à Cascina. Les premiers tests de vide ont permis d'obtenir 10^{-9} mbar après un étuvage à 150°C .

ATLAS

Etude de l'assemblage de 64 absorbeurs et de 64 électrodes pour réaliser des modules d'un poids total de 3 tonnes avec une précision d'empilage de 0.05mm. En salles blanches, les techniciens ont déjà assemblé deux des huit modules à construire au laboratoire. Les tests électriques dans l'argon liquide à -197°C s'effectuent dans un cryostat installé par le service au laboratoire. Définition et calcul des anneaux, intérieurs et extérieurs, structuraux du calorimètre électromagnétique, réalisation d'anneaux prototypes et études de tests de déformations sous contraintes mécaniques, tous ces travaux ont permis la rédaction des documents techniques nécessaires à la fabrication de ces anneaux dans l'industrie. La conception

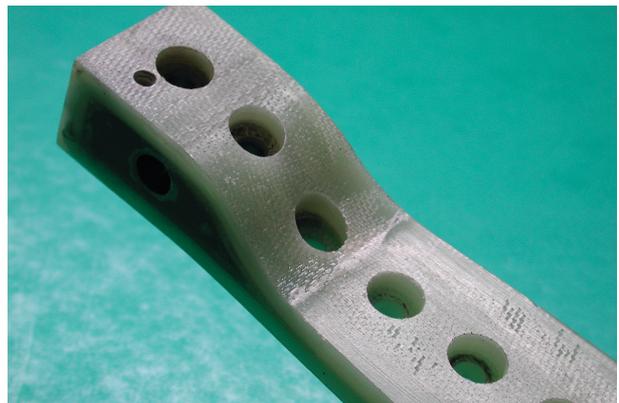


Figure 1 : Détail de l'arceau intérieur d'un module de calorimètre électromagnétique d'ATLAS

et la réalisation d'une machine pour le pliage des électrodes en kapton cuivré ont demandé une mise au point très délicate pour tenir compte de la fragilité des encres résistives; actuellement 1350 électrodes sur 4096 ont été pliées par cette machine.

AMS

Expérience d'astrophysique dont l'installation est prévue en Mars 2004 sur la station spatiale internationale ISS, pour une durée de 3 ans. Initialement nous avons réalisé les études de faisabilité et de définition préliminaire d'un calorimètre électromagnétique composé de plomb et de fibres scintillantes, en caractérisant les différents matériaux et simulant le comportement mécanique et thermique du calorimètre durant les différentes phases du vol. L'équipe a en charge l'étude et la réalisation du système de collection de lumière, comprenant l'intégration de 324 photomultiplicateurs Hamamatsu à 4 pixels. Ceci englobe dans un premier temps un important travail de simulation par éléments finis (dynamique, thermique et magnétique) qui se complètera par des tests de qualification spatiale sur un modèle actuellement en cours d'assemblage identique au modèle de vol. Nous sommes évidemment soumis aux exigences du domaine spatial en termes de sécurité et de choix des matériaux.

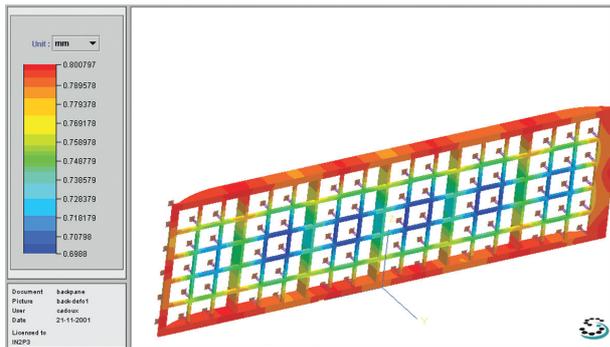


Figure 2 : Déformation du support collection de lumière du back-panel

OPERA

Définition d'un manipulateur pour la mise en place de 250000 briques de détection lors de l'installation de l'expérience et pour le changement de 30 briques par jour pendant la période d'exploitation. Ce manipulateur doit se mouvoir sur une longueur de 25 mètres, une hauteur de 10 mètres et une profondeur de deux fois 4 mètres. Les études préliminaires ont défini la cinématique de l'ensemble composé de 2 plates-formes pour le déplacement vertical et d'un rail horizontal. Chaque plate-forme transporte 26 briques sur un carrousel. Au niveau des plates-formes se font les mouvements de rotation du carrousel ainsi que les mouvements de réglage fin. On trouve également les systèmes de pousoir et un pont levis permettant le déplacement longitudinal. Les études de faisabilité et la réalisation d'un prototype de la plate-forme sont en cours. Ce prototype permettra de confirmer nos choix de motorisation et d'étudier les séquences des différents mouvements. Ce projet demande des compétences en automatisme, une technique que nous souhaitons maîtriser avec l'aide d'un laboratoire de l'ESIA.

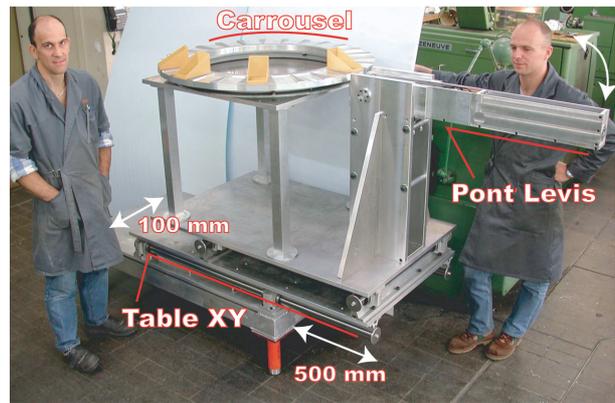


Figure 3 : La plate-forme prototype du manipulateur de briques pour l'expérience OPERA