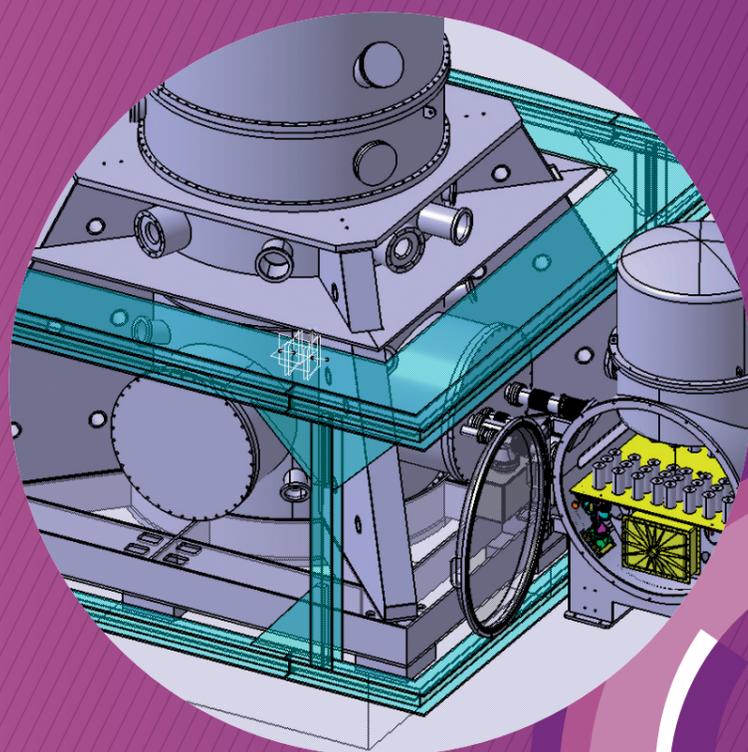


LE SERVICE MÉCANIQUE



Fort de 22 personnes, le service de mécanique du LAPP, qui est l'un des plus grands de l'IN2P3, a pour mission de prendre en charge des développements techniques nécessaires à la construction des expériences de physique auxquelles le laboratoire contribue. Son champ d'action dépasse le cadre strict de la mécanique puisque ses équipes mènent des projets à caractère multidisciplinaire (instrumentation mécanique, vide, automatisme, mécatronique, systèmes de refroidissement, matériaux composites, ...). Les actions menées sont à l'interface de la physique des particules et des problématiques technologiques. Elles nécessitent donc à la fois de bien cerner les besoins de recherche et de garantir un haut niveau de compétences techniques en étant constamment en prise avec les innovations technologiques, les méthodes et les outils de développement industriels. C'est cette dualité qui fait la singularité et la force de notre service, poussant à la mise en œuvre de solutions souvent aux limites des capacités de l'industrie.

Les domaines de compétences couverts nous ont conduit ces dernières années à concevoir des ensembles mécaniques pouvant inclure des dispositifs automatisés (LHCb, OPERA, HESS II), des chambres à vide et des composants optiques (Virgo). Plus récemment nous nous sommes impliqués dans l'étude de nouvelles générations de détecteurs pour les futurs collisionneurs linéaires (MICROMEGAS), le comportement

L'ÉQUIPE DU LAPP

BUREAU D'ÉTUDES

Y. Bastian, L. Brunetti, M. Cailles, P. Delebecque (Responsable Réseau Calcul Mécanique In2p3), G. Deleglise, G. Gaillard, C. Gasq, C. Girard, N. Geffroy, A. Jérémie, B. Lieunard, I. Monteiro, P. Mugnier, T. Rambure, T. Yildizkaya

ATELIER

J. Ballansat, J.-P. Baud, P. Baudin, Y. Beeldens, J.-M. Dubois, L. Giacobone, L. Journet, F. Peltier

CONTRATS À DURÉE DÉTERMINÉE

G. Balik, J. Allibe, K. Cochard, L. Pacquet, T. Cordier, D. Beauquis

STAGIAIRES

Bac Pro (5), IUT (5), Licence (1), Ingénieur (1)

de systèmes mécatroniques à l'aide d'outils de simulation et d'appareillages de mesure permettant la mise au point de lois de contrôle (LAViSta, CTA), l'étude d'un robot de polissage à trois axes motorisés, l'étude et le calcul dynamique de pièces élançées en fibres de carbone (CTA) et l'automatisation des mouvements d'azimut et d'élévation pour les grands télescopes de CTA (distance focale de 28 mètres).

Les contributions aux expériences du CERN, qui ont toujours été très fortes, se prolongent dès maintenant par une implication dans l'upgrade d'ATLAS par le biais d'études des services (boucles de refroidissement, câbles électriques et fibres optiques - figure 1) et l'étude d'un nouveau concept de détecteur. L'implication du service de mécanique dans la construction de très grands télescopes (HESS II) et l'expérience acquise en analyse dynamique nous conduisent naturellement à nous impliquer dans le futur projet de réseau de télescopes CTA.

Les expériences auxquelles nous contribuons ont trait à la fois aux problématiques des détecteurs pour la physique des particules et l'astrophysique, mais aussi des accélérateurs. Elles s'inscrivent la plupart du temps dans des collaborations internationales.

Pour s'engager et mener à bien ses projets, le service mécanique du LAPP s'appuie non seulement sur son expertise mais met aussi en œuvre les moyens nécessaires pour développer de nouvelles compétences en interne et trouver au besoin les ressources

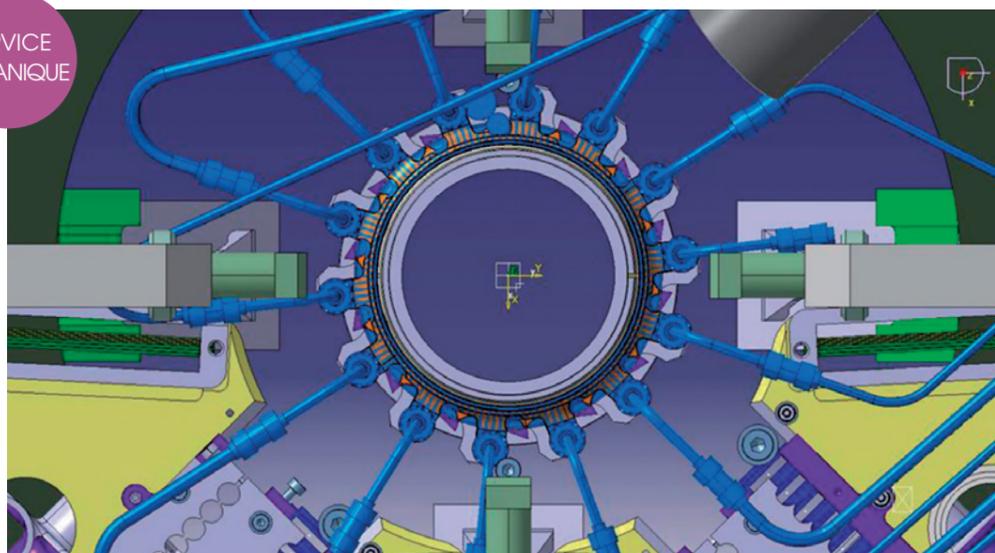


FIGURE 1

Vue des lignes de refroidissement en bout de détecteur.

externes pour explorer de nouveaux domaines. Ce fut le cas notamment au cours des dernières années pour les études dynamiques, d'abord avec LHCb puis avec HESS II/CTA et finalement le projet LAVISTA pour lequel nous avons introduit les techniques d'automatique et d'asservissement. D'autre part OPERA, LHCb et HESS II ont permis, en plus de notre expertise en construction mécanique, de développer l'activité automatique. Celle-ci est maintenant forte de plusieurs projets en cours de maintenance (OPERA, HESS II) et en cours d'études (ATLAS, CTA). Dans ce domaine, les contributions futures s'inscriront dans la ligne du laboratoire avec des projets qui ont trait à la physique des neutrinos (LAGUNA, SUPERNEMO, STEREO) et à l'astrophysique avec la motorisation des futurs grands télescopes de CTA.

COLLABORATION

Des collaborations au niveau développements technologiques sont ainsi nées en particulier avec l'école d'ingénieur Polytech Annecy-Chambéry et le CERN (automatisme et mécatronique). Nous menons régulièrement des actions de partenariat avec d'autres laboratoires de l'IN2P3 dans le cadre de réalisations mécaniques ; dernièrement avec le laboratoire du LAL pour lequel nous avons réalisé une chambre à vide ainsi que des tests de dégazage de capteurs de température pour l'expérience ATF2 au Japon.

UNE ORGANISATION SOUPLE ET PERFORMANTE AU SERVICE DES EXPÉRIENCES

Le service mécanique du LAPP comprend 10 ingénieurs (dont 2 en CDD) et 5 assistants ingénieurs au bureau d'études, ainsi que 1 ingénieur, 2 assistants ingénieurs et 4 techniciens à l'atelier.

Tout en appartenant à la « communauté service » les mécaniciens-instrumentalistes collaborent aux projets scientifiques du laboratoire au sein d'équipes techniques projets. Ces groupes de 2 à 10 personnes pilotés par un ingénieur, prennent en charge le développement de systèmes à dominante mécanique, répondant aux besoins exprimés par les expériences du laboratoire. Ils mettent en œuvre les actions de R&D, de conception, de prototypage et tests, de fabrication en interne et de suivi de sous-traitance, d'installation, de mise en service sur les sites expérimentaux, de maintenance et de démantèlement.

L'organisation du service de mécanique permet à la fois de répondre aux demandes des projets de physique et de développer les compétences métier nécessaires pour apporter aux expériences des contributions techniques reconnues. Conception et réalisation sont intimement liées dans nos projets. Tous les membres des équipes sont partie prenante dans les développements. Les assistants ingénieurs et techniciens assurant la réalisation et le montage sont associés

à la conception et les concepteurs suivent les travaux de fabrication et d'installation. Cette organisation permet de limiter les risques de non-conformité. Les membres du service peuvent être amenés à collaborer à plusieurs expériences en fonction des besoins.

La souplesse de cette organisation nous permet de gérer l'évolution des métiers et des compétences particulières nécessaires pour relever les défis techniques. L'accès à la formation permanente de l'IN2P3 et du CNRS et les actions spécifiques menées par le LAPP sont essentielles pour garantir un haut niveau de performance.

L'activité instrumentation est naturellement associée aux développements mécaniques dans notre service.

Le service de mécanique participe également à des actions nationales (organisation d'écoles de calculs et d'écoles de mécatronique, direction du réseau calcul mécanique IN2P3, participation aux réseaux métiers). Ces collaborations permettent d'améliorer l'efficacité des pratiques. Ces liens forts avec les autres mécaniciens et automatismes de l'IN2P3 et plus généralement du CNRS sont indispensables pour garantir un haut niveau de technicité.

En plus de leurs activités dans les projets, certains membres du service ont la responsabilité de tâches liées à son fonctionnement (outils métiers, informatique, documentation, ...).

Les équipes techniques des projets sont amenées régulièrement à présenter l'état d'avancement de leurs travaux dans le cadre de réunions de collaborations internationales. L'organisation des expériences conduit à la fois à une forme de compétition pour dégager les meilleures solutions techniques et à une forte collaboration pour faciliter la synergie entre les équipes.

Certains membres du service mécanique, de par leurs compétences reconnues, sont amenés à participer à des actions nationales en tant qu'experts dans des jurys de concours, ou internationales avec des responsabilités dans les collaborations.

NOS COMPÉTENCES AU COEUR DES PROJETS RÉCENTS

Si le cœur de métier du service de mécanique du LAPP est assez fortement représenté (conception et réalisation de structures mécaniques et de mécanismes) d'autres domaines techniques connexes ont été explorés et sont maintenant soutenus dans la stratégie de développement du service.

L'expérience LHCb nous a conduit à concevoir et faire réaliser des structures mécano-soudées de grandes dimensions (jusqu'à 10 m de hauteur). Le besoin de comprendre le comportement des éléments soumis à un séisme nous a conduits à étudier les méthodes de simulation dynamique avec le logiciel SAMCEF. Cette expérience a ensuite été mise à profit dans le cadre de l'expérience CNGS au CERN. Une équipe d'automatiseurs du service a également conçu le système de contrôle commande des déplacements des détecteurs dont la masse d'un élément est de 300 tonnes.

Une équipe multidisciplinaire de mécaniciens et d'automatiseurs a conçu et réalisé (en interne et en sous-traitance) le « manipulateur de briques » robotisé de l'expérience OPERA qui a été installé sur le site en Italie. Notre participation à cette collaboration a permis de développer l'axe « automatisme » au sein du service.

Le potentiel technique développé en construction de grandes structures et en automatisme (LHCb, OPERA), a permis au service mécanique de prendre en charge la fixation et l'autofocus de la caméra dans le télescope de l'expérience HESS II ainsi que le système d'échange de caméra par un système automatique (figures 2 et 3). A cette occasion, un technicien a pu valoriser son expérience de soudeur en obtenant une certification reconnue par la profession. Ce projet a été l'occasion de développer dans le service l'utilisation de la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) avec CATIA et de

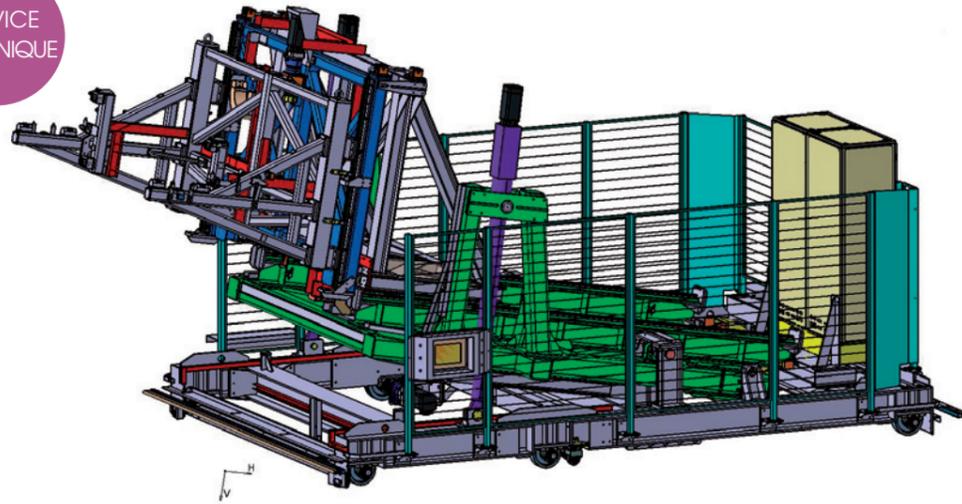
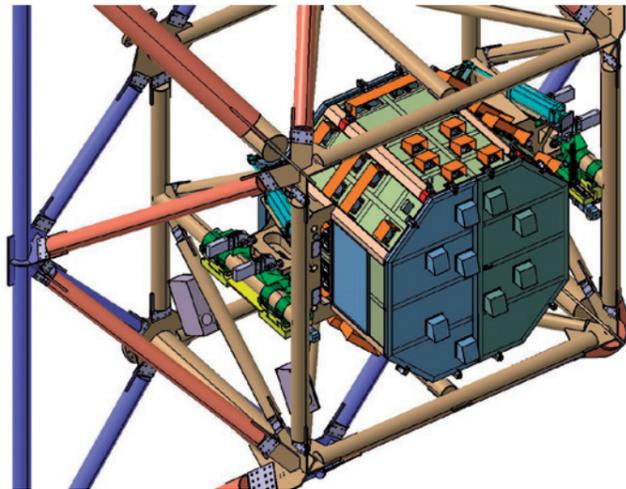


FIGURE 2

Vue CAO du chariot principal de HESS II.

FIGURE 3

Vue CAO de la caméra sur son support Autofocus.



s'équiper du logiciel « SEE ELECTRICAL » pour la réalisation des schémas électriques des armoires de contrôle/commande et de l'installation électrotechnique et pneumatique. Ce projet a été finalisé en 2012 avec l'installation en Namibie par une équipe de 7 personnes.

La présence du laboratoire dans la collaboration HESS II, au travers des travaux effectués sur ce projet comme les calculs dynamiques de comportement de la caméra et du quadripode du télescope, a permis de prendre en charge l'étude et la conception des arches des futurs grands télescopes du projet CTA (figures 4 et 5). L'étude porte sur la conception et les calculs de dimensionnement d'une arche reliée à la structure support du miroir et d'un ensemble de 26 haubans. L'ensemble, qui sera réalisé en fibres de carbone, a permis d'acquérir les compétences dans le domaine des matériaux composites et de renforcer notre expertise dans

les calculs dynamiques de modèles globaux. Notre effort constant depuis le début des années 1990 nous a conduit ces dernières années à participer à l'évolution de l'expérience VIRGO au travers différents thèmes, comme la fourniture d'un robot de polissage de miroirs par dépôt sous vide (positionnement à 0,01 mm), l'amélioration des bancs optiques interne et externe ou encore l'étude des enceintes à vide recevant ces derniers (figure 6).

Depuis quelques années le service de mécanique du LAPP a étendu son champ d'action à la thématique des accélérateurs au travers du projet LAViSta. L'expérience acquise dans le domaine de l'étude du comportement dynamique des structures et la collaboration avec le laboratoire SYMME de l'Université de Savoie a donné l'impulsion nécessaire pour traiter ces problématiques de stabilisation de faisceau à une précision sous-nanométrique (figure 7). Ces études s'inscrivent dans la thématique

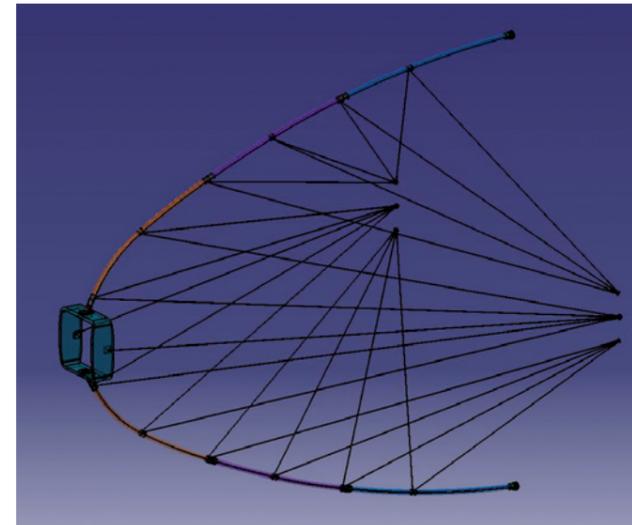


FIGURE 4

Vue CAO de l'arche du télescope LST de CTA et du support caméra de 3 x 3 x 1,20 mètres.

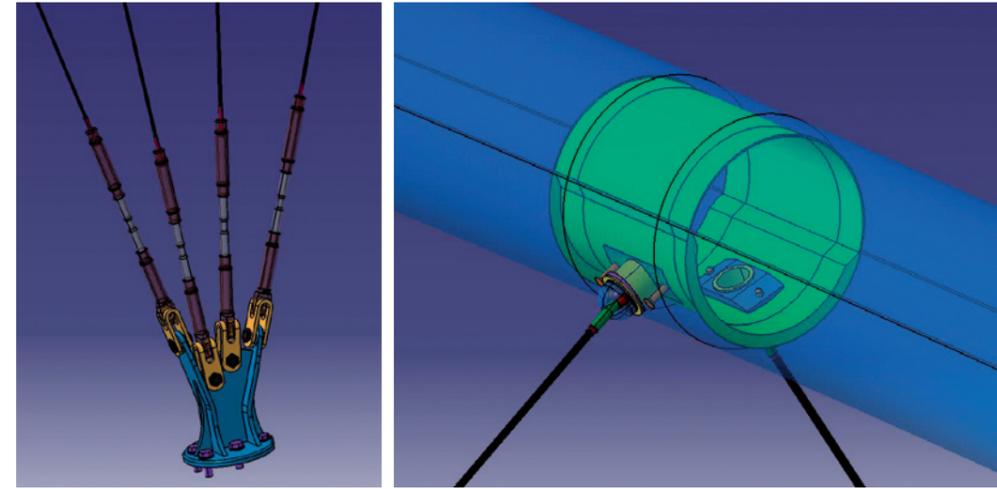


FIGURE 5

Détails des fixations des haubans sur le télescope (à gauche) et sur l'arche (à droite).

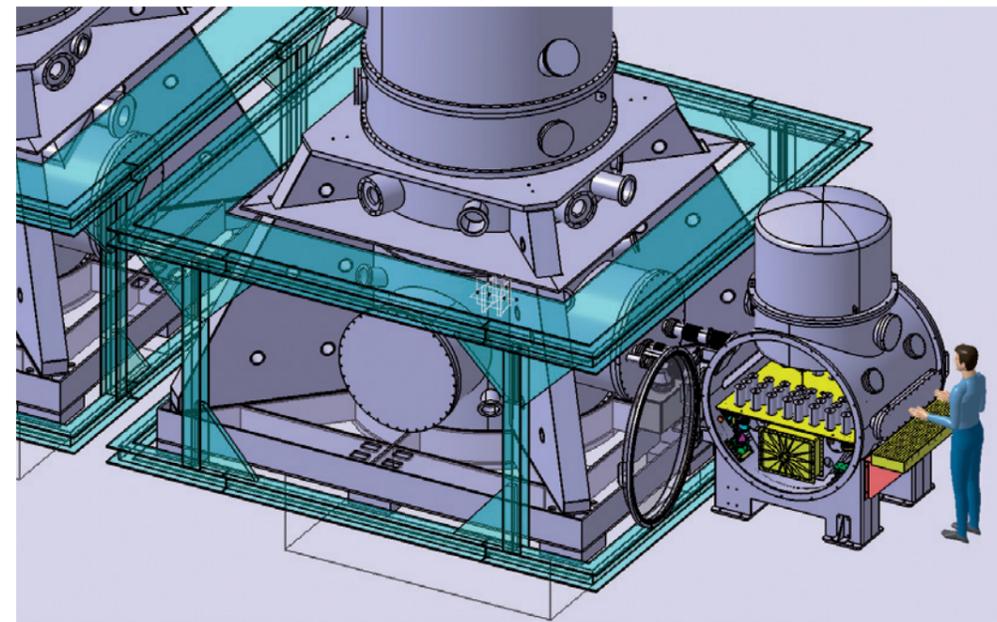


FIGURE 6

Vue CAO de la mini-tour de détection de l'expérience VIRGO.

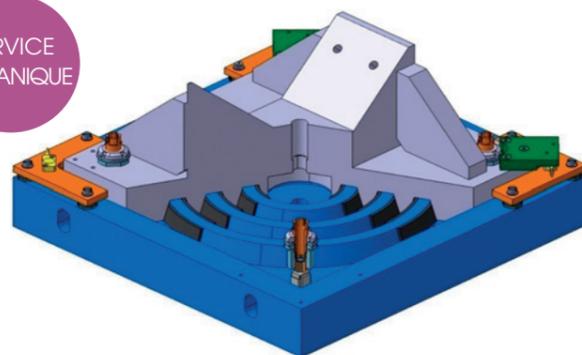


FIGURE 7

Table d'isolation active développée au LAPP.

« mécatronique » qui se développe sur le campus d'Annecy-le-Vieux.

DES MOYENS INDISPENSABLES À LA RÉUSSITE DES PROJETS

L'IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur) est implantée depuis longtemps au LAPP. Le déploiement d'EUCLID (Conception Assistée par Ordinateur) à l'IN2P3 y a été initié, on y trouve les premiers projets de grande taille multi-utilisateurs ayant migré vers la base de données SmarTeam. Tous les concepteurs modélisent leurs systèmes à l'aide de CATIA et tous les projets gèrent leurs données CAO avec SmarTeam. Le calcul par éléments finis est depuis près de 20 ans (avec SYSTUS, SAMCEF et maintenant ANSYS) un outil important utilisé par les ingénieurs pour concevoir et valider les développements. Grâce à l'IN2P3 nous avons accès à des outils très puissants et mondialement reconnus.

Si les réalisations de grande ampleur sont confiées à l'industrie, nous disposons d'équipements nous permettant de réaliser des ensembles mécaniques de taille moyenne ou de prototypes. Ces moyens sont indispensables pour pouvoir répondre rapidement aux besoins des développements. En plus de machines conventionnelles, nous sommes équipés d'un tour et d'un centre d'usinage à commande numérique. Nous avons récemment complété notre équipement en investissant dans des équipements de chaudronnerie (plieuse et poste de soudage TIG).

Dans le domaine de l'automatisme, des réalisations sont également entreprises en interne : instrumentation des structures, études et réalisations d'armoires de commande, etc. Pour la partie contrôle commande, le service est équipé

du logiciel Matlab pour les calculs numériques, de son interface graphique Simulink permettant la modélisation de systèmes dynamiques ainsi que de systèmes temps réel (NI, DSpace). Nous sommes équipés de nombreux matériels de test et mesures : test ultra-sons, binoculaire à caméra CCD, détecteur de fuites, chambre de cyclages thermiques, machine de traction, machine de contrôle géométrique 3D, bras de mesure 3D, système d'analyse dynamique (PULSE).

UN AVENIR SOUS LE SIGNE DU MOUVEMENT

Le service de mécanique du LAPP a montré son potentiel à mener à bien des projets de taille conséquente en relevant les défis techniques qui se présentaient à lui. Un effort particulier a été entrepris ces dernières années afin d'améliorer la gestion des projets et de s'inscrire dans une politique qualité ambitieuse et adaptée à notre environnement. Le service de mécanique du LAPP a contribué à nombre de grandes expériences dans les domaines de la physique des particules et de l'astrophysique, en apportant des contributions techniques inscrites dans un champ élargi autour de son cœur de métier. Une culture du pilotage des projets en lien avec la cellule qualité, permettant à la fois la prise en compte des besoins scientifiques et la maîtrise des impératifs de développement, nous permet d'être réactifs vis à vis des demandes des groupes expérimentaux.

La ligne de développement Accélérateur soutenue par le projet LAViSta va dans les années à venir monter en puissance car la stabilisation des faisceaux est l'une des problématiques importantes des futurs accélérateurs. L'équipe du

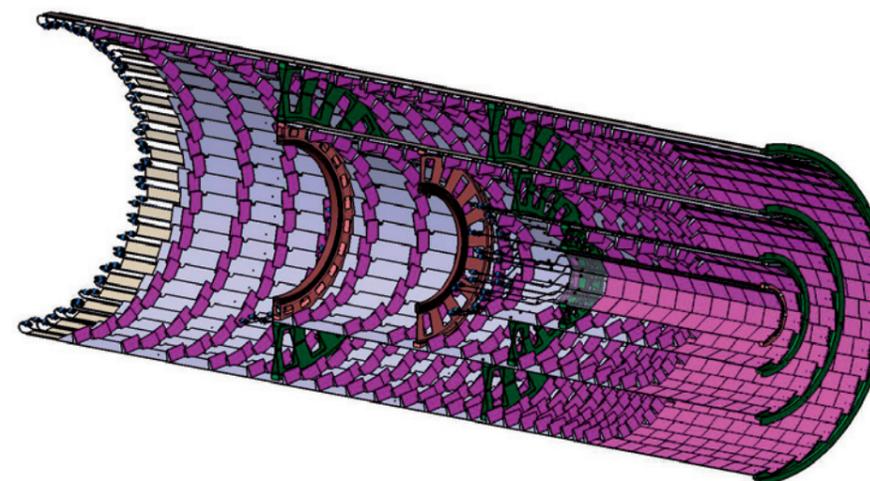


FIGURE 8

Image CAO du Pixel Alpin « light » (sans flex, ni cartes électroniques, ni manifold, ...).

LAPP travaille notamment en collaboration avec le CERN dans le cadre du projet CLIC et d'autres perspectives de débouchés sont actuellement à l'étude.

Notre implication notable dans le projet VIRGO nous a permis de prendre en charge l'évolution de plusieurs bancs optiques dans le groupe Advanced VIRGO. Les études visant à placer les bancs externes, qui étaient au préalable à la pression atmosphérique dans des enceintes à vide dédiées, nécessitent une approche en modélisation modale et thermique pour garantir de bons échanges de chaleur entre les bancs suspendus dans le vide et la surface interne des enceintes à vide les recevant.

Les travaux que nous avons menés dans le domaine de l'étude du comportement dynamique des structures nous ont conduit à nous impliquer dans le développement du futur réseau de télescopes du projet CTA. Cette implication porte notamment sur l'étude de l'arche en fibres de carbone afin d'analyser son comportement statique et dynamique, pour valider les spécifications techniques en terme d'alignement optique de la caméra et de dimensionnement au vent et aux mouvements de repositionnement rapides du télescope (180° en 20 s).

L'activité du groupe automatisme, reconnue dans les expériences passées (OPERA, HESS II), a permis de prendre en charge la responsabilité du Drive des grands télescopes pour les mouvements d'azimut et d'élévation.

Notre implication dans les expériences du CERN va se poursuivre grâce à notre contribution à l'upgrade du détecteur de traces d'ATLAS qui devrait aboutir d'ici une dizaine d'années. Notre expérience dans le domaine de la simulation par éléments finis nous permet de prendre part à l'étude des phénomènes thermoméca-

niques induits dans les détecteurs silicium et leurs supports (majoritairement composés de matériaux composites, mousses de carbone, titane) – figure 8. Nous contribuons également à la définition des services (circuits de refroidissement, câbles et fibres optiques) en étudiant les problèmes de connexions et de routage. Ces travaux multidisciplinaires sont menés en collaboration avec des électroniciens. Des actions de R&D sont menées en interne pour qualifier les solutions et des démarches sont entreprises auprès d'industriels pour satisfaire nos cahiers des charges très spécifiques.

La thématique de recherche en Neutrino a toujours apporté au service l'occasion de développer de nouvelles technologies (OPERA). Les projets en cours de démarrage (ANR STEREO et SUPERNEMO) ou en cours de définition (LAGUNA CERN) donnent au service mécanique l'opportunité de développer une nouvelle expertise dans la réalisation de feuilles cibles à base de PVA et de Sélénium, d'une dimension de 3 x 3 mètres et 0,2 mm d'épaisseur. Ces projets permettront également de renforcer notre activité en automatisme par l'étude d'un système de déplacement d'une cible.

Sur le plan des équipements du service, un projet d'investissement d'un deuxième centre d'usinage à commande numérique est à l'étude ; il se justifie par la charge importante de l'équipement actuel pour nos contributions aux différents projets.

Grâce à son potentiel humain, son organisation et ses moyens techniques le service de mécanique du LAPP peut, grâce au soutien du laboratoire et de l'IN2P3, être un acteur reconnu par les collaborations internationales auxquelles il contribue.