

# LA LETTRE

ASSOCIATION AÉRONAUTIQUE & ASTRONAUTIQUE DE FRANCE



ÉDITORIAL

**Les événements de ces derniers mois permettent à la communauté spatiale européenne d'envisager l'avenir sous de meilleurs auspices. L'année 2003 aura, en effet, permis de confirmer les programmes à poursuivre et de préciser ceux à mettre en chantier dans le court terme<sup>1</sup>.**



L'approbation du livre blanc par la Commission européenne le 11 novembre dernier est un gage de volonté politique de voir l'Europe, et la France en particulier, tenir un rôle de premier plan dans le domaine de la recherche et des applications de l'espace, et combattre avec ses propres armes la «space dominance» que les États-Unis imposent depuis un certain nombre d'années.

La conférence de presse du président **BUSH**, le mois dernier, montre sans ambages la politique qu'il entend mener sur le long terme dans la conquête de l'espace, notamment en ce qui concerne la réalisation de «l'Orbital Space Plane» et l'envoi de l'homme sur Mars. Ces projets, dont le financement est probablement largement sous évalué, ne font mention d'aucune coopération internationale, montrant s'il en était besoin, que les États-Unis entendent les mener de façon autarcique. Cette situation, affichée au départ, peut néanmoins évoluer, d'une part sous la pression de la communauté scientifique internationale relayée par les politiques, d'autre part devant l'inflation budgétaire qui ne manquera pas de freiner l'avancement de ces grands projets. L'Europe a fait la preuve de sa compétence dans la course à la planète Mars. Si le robot Beagle 2 est resté définitivement muet, la sonde Mars Express a néanmoins fourni des images sans précédent de la planète. Les deux robots américains fonctionnent eux parfaitement, mais il ne faut pas oublier les précédentes tentatives et l'expérience qui en a résultée. Devant ce défi que compte faire l'Europe ?

Elle se doit de réagir en proposant des coopérations aux États Unis. C'est dans cette voie que la Commission internationale de l'AAAF, à laquelle j'appartiens, s'est engagée en décidant d'élaborer un «position paper» prenant en compte le point de vue industriel. Celui-ci sera soumis au ministre de la Recherche qui pourra s'en inspirer pour afficher la position de la France vis-à-vis des instances européennes.

Elle se doit de conforter sa capacité à mener ses propres projets dans les enveloppes budgétaires retenues en respectant les échéanciers. Nous ne rappellerons, à titre d'exemple, que l'année perdue dans l'avancement du projet de navigation Galiléo, pour des raisons de financement et de rivalités industrielles. Elle se doit de sortir notre lanceur Ariane V d'une mauvaise passe technique, pour conserver notre indépendance d'accès à l'espace et concrétiser le projet GMES (Global Monitoring for Environment and Security) dont le développement n'est toujours pas décidé.

Elle se doit d'étendre et de renforcer sa politique spatiale en créant un environnement adapté à l'innovation et à la compétitivité, de susciter des vocations pour les carrières scientifiques et technologiques, celles-ci étant de plus en plus délaissées, particulièrement en France.

Enfin, l'Europe prend conscience de la nécessité de développer les applications spatiales de défense, dont le projet GMES pourrait être le révélateur. La mise en place d'une agence européenne d'armement par l'Union européenne apparaît, à cet égard, comme un gage de volonté politique.

L'Europe a, dans l'avenir immédiat, dans un des domaines d'excellence de notre Association, un grand chantier à mener pour maintenir et renforcer sa position dans le concert mondial: vaincre ses propres lourdeurs, aller de l'avant, prendre en compte des contraintes telles que la sous évaluation du dollar, qui pénalise sérieusement sa compétitivité, affaiblit son discours politique, et son industrie.

Je remercie le Rédacteur en Chef de la Lettre de m'avoir sollicité pour rédiger cet éditorial et en suis très honoré. J'invite tous les membres de notre association à apporter leurs contributions pour que la LETTRE AAAF soit une mine d'informations de première main, toujours plus passionnantes, source de nombreux échanges fructueux.

□  
Jean JAMET  
MEMBRE AAAF

<sup>1</sup>- voir dans ce numéro, pages 14 & 15, l'article consacré à la politique spatiale européenne

## Les présidents des commissions techniques en réunion

Le 11 décembre 2003, les présidents des commissions techniques ont été conviés à une réunion de travail avec le bureau élargi de l'association, dans les locaux de l'Aéroclub de France à Paris. Sur 17 commissions existantes, 12 étaient représentées, une excusée et 2 en constitution.

La réunion organisée par **Georges MEAUZE**, responsable des commissions techniques, avait pour but de permettre aux présidents de commissions de faire le point sur leurs projets et travaux en cours et de mieux connaître les nouveaux outils de communication (site Web AAAF et LETTRE AAAF) à leur disposition pour promouvoir leurs travaux.

Le président **SHELLER** rappelle le rôle essentiel, scientifique et technique, des commissions de l'AAAF, pour atteindre les objectifs de progrès définis par le bureau : augmenter les effectifs, attirer les jeunes de la profession, développer l'action internationale.

Après un bref rappel des missions des commissions, **Georges MEAUZE** demande notamment que chaque colloque organisé par une commission fasse l'objet d'un compte rendu dans la LETTRE AAAF, donnant l'avis technique autorisé d'un expert nommé désigné.

**Gérard LARUELLE**, fait état des «filiales experts» mises en place au sein de Snecma, EADS et d'autres entreprises du domaine aérospatial en relation avec les projets d'unification des grades d'expertise au niveau européen. Il souhaite que cette notion soit intégrée par les commissions techniques et que les experts reconnus puissent trouver leur place naturelle en leur sein.

**Jean-Michel CONTANT** mentionne les négociations auxquelles L'AAAF participe activement pour faire valoir son point de vue, pour la création d'une association européenne regroupant tous les adhérents actuels des associations savantes de la CEAS (*Confederation of European Aerospace Societies*). Dans ce contexte, les présidents de commissions sont encouragés à développer les contacts avec leurs collègues de la CEAS pour des actions communes au sein des comités internationaux de la CEAS.

Les présidents de commissions ont ensuite présenté les activités de leur commission et échangé avec les participants sur les avancées de leurs travaux et les difficultés rencontrées, techniques ou humaines, dans la gestion de leurs membres. On rapporte ici les propos essentiels d'un échange particulièrement riche.

**La commission «Aérodynamique»** (**Jean DELERY**) propose de transmettre au Web AAAF des dossiers didactiques, à l'intention des jeunes professionnels non spécialistes en aérodynamique. Par ailleurs, afin de donner un plus grand lustre scientifique aux communications, les meilleurs papiers présentés du 39<sup>ème</sup> Colloque d'Aérodynamique Appliquée seront proposés pour publication dans la revue *Aerospace Science and Technology*.

**La commission «Histoire»** (**Philippe JUNG**) a fait état d'une activité soutenue au cours de l'année 2003, particulièrement riche en commémorations, notamment celle du 90<sup>ème</sup> anniversaire de la traversée de la Méditerranée par Roland Garros. A l'occasion de la cessation de la participation du Professeur **GOETHALS** aux activités de l'AAAF (voir en page 16 de ce numéro), une contribution historique et scientifique est à l'étude pour rappeler ses contributions à la recherche et à l'enseignement, et son action à la tête de l'AFITAE

(Association Française des Ingénieurs et Techniciens de l'Aéronautique et de l'Espace), ancêtre de l'AAAF.

**La commission «Internationale»** (**Louis LAIDET**) propose d'organiser un forum à l'intention des responsables des relations internationales pour un partage d'expérience notamment sur les raisons des échecs de coopération. Cette action pourrait par la suite être étendue à des responsables européens.

**La commission «Énergétique»** (**Pierre-Guy AMAND**) créée en 2003, suite au franc succès du Colloque d'Avignon 2002 avec ses 140 participants, a pour objectif de rassembler les maîtres d'œuvre et les principaux équipementiers du domaine aérospatial (défense, espace et aéronautique, plateformes civiles et militaires) autour d'un thème central, l'énergie embarquée, traitant en particulier de ses modes de stockage, de restitution et de conversion. Un spectre très large des technologies de l'énergétique et de ses applications sera abordé au prochain Colloque d'Avignon en octobre 2004.

**La commission «Propulsion»** (**Isabelle DUBOIS**) a pour particularité d'organiser quatre conférences débats par an. Sa dernière initiative est l'organisation d'un «Workshop» (une première pour une commission de l'AAAF) à l'intention d'une soixantaine de spécialistes des piles à combustibles.

**La commission «Aviation d'Affaires»** (**Jean-François GEORGES**), a achevé un document sur les problèmes de réglementation de l'aviation d'affaires en France et en Europe. La participation des autorités compétentes à cette action devrait déboucher sur une amélioration de la situation, propre à dynamiser, non seulement la production de l'aviation d'affaires mais de façon indirecte les échanges commerciaux en général.

**La commission «Biologie, Médecine spatiale et Vols habités»** (**Docteur Claude-Alexandre TIMSIT**) souhaite réactiver un colloque à succès, organisé pendant le Salon du Bourget, qui donnait la possibilité aux médecins de valider leur agrément de spécialité.

**La commission «Matériaux»** (**Alain LASALMONIE**) fait part de la réussite du colloque international organisé à Paris avec une participation très active de spécialistes américains (Pratt & Whitney). Cette expérience très positive sera renouvelée l'an prochain.

**La commission «Aviation légère»** (**Michel de la BURGADE**) organisera bientôt un colloque sur le thème de la sécurité aérienne en collaboration avec la DGAC.

La toute jeune **commission «Transport spatial»** (**Christophe BONNAL**) prépare une conférence sur les scénarios à long terme du transport spatial qui aura lieu en juin prochain à Aix en Provence.

En conclusion, cette réunion, fort constructive et utile de l'avis de tous les participants, aura permis aux présidents de préciser leurs projets; aux membres du bureau de faire passer les messages pour atteindre les objectifs de progrès affichés, de mesurer les difficultés rencontrées par certaines commissions, d'envisager la nécessité de réactiver ou de remettre en question certaines autres.

Enfin les présidents de commissions sont invités à compléter les fiches de présentation de leur commission destinées à la plaquette AAAF en cours de finalisation, le Web AAAF et la LETTRE AAAF (voir la présentation de la commission «Propulsion» dans ce numéro), et à désigner un correspondant pour ces deux derniers médias.

Un rendez-vous de principe est pris pour faire le point des actions dans quelques mois.



**Georges MEAUZE**

Responsable des commissions techniques à l'AAAF

## ■ Bordeaux - Sud-Ouest

### VISITE DU CHANTIER DE RÉALISATION DU LASER MEGAJOULE (LMJ) ET DE LA LIGNE PROTOTYPE «LIGNE D'INTÉGRATION LASER» (LIL) AU CEA/CESTA

PAR GÉRARD PÉRINELLE

A l'initiative du secrétaire du Groupe régional Bordeaux Sud-Ouest, 30 membres du groupe régional ont participé, le 8 décembre 2003, à la visite de l'Établissement du CEA/CESTA (Centre d'Études Scientifiques et Techniques d'Aquitaine) situé sur la commune du BARP en Gironde.

### Simuler sans tester : le LMJ

La direction de la communication du CEA nous a fait une présentation préliminaire très détaillée du site, en donnant les raisons de la réalisation du «LASER MEGAJOULE» (LMJ). A la suite de l'arrêt des essais nucléaires du Pacifique, le LMJ doit être le garant du bon fonctionnement des futures armes nucléaires TNA (composante aéroportée) et TNO (composante SNLE). Les 6 essais supplémentaires effectués en 1995-1996 avant la fermeture définitive du site d'essais ont permis toutefois d'acquérir des données physiques indispensables à la conduite du programme Simulation.

La DAM (Direction des Applications Militaires du CEA) dispose maintenant de «TERA», un ordinateur d'une puissance de calcul de 5 teraflops (5 mille milliards d'opérations par seconde) dont les 2560 processeurs et leurs composants électroniques sont implantés dans 170 «baies» occupant la surface d'un demi terrain de football. Ce moyen, associé à «AIRIX», un Accélérateur à Induction de Radiographie pour l'Imagerie X installé en Champagne, apportera une contribution essentielle au programme Simulation. Les essais qui seront réalisés sur le LMJ permettront de reproduire au sein de micro-quantités de matière, le processus physique de la fusion impliqué dans le fonctionnement d'une charge thermonucléaire.

En 2009, le LMJ sera achevé et occupera, sur le site du CESTA, une salle de plus de 300 m de long, d'une largeur et d'une hauteur d'environ 50 m. Cette salle sera occupée par 30 chaînes «laser» de 8 faisceaux, qui en feront le laser le plus puissant du monde. Ces lasers délivreront en quelques milliardièmes de seconde, une énergie de 1,8 MégaJoules concentrée sur une microcible de quelques millimètres.

### Un prototype à l'échelle 1 : la LIL

Dans l'attente de la mise en service du «LMJ» et pour préparer la mise au point de ses composants, un prototype à l'échelle 1, représentatif d'un faisceau d'une des 30 chaînes «laser», la «LIL» (Ligne d'Intégration Laser) est maintenant opérationnel. Il a été réalisé dans un bâtiment où le nombre de poussières est strictement limité. La chaîne laser de 125 m de long n'est pas posée au sol, mais sur un bâti haut de 3,5 m permettant de changer plus facilement les composants lors des opérations de maintenance à l'aide de véhicules spécialement conditionnés pour recevoir certaines optiques fragiles et surmontés d'une cage en verre dont l'air intérieur est encore plus pur que dans le bâtiment. Les faisceaux laser devant être focalisés avec une précision de 50 µm (50 millièmes de millimètre), tout a été fait pour limiter les effets de vibrations, en particulier celles liées au vent sur les bâtiments.

La source laser de la «LIL» tient dans une boîte d'allumettes. Elle produit un faisceau d'une énergie d'un milliardième de joule. Celui-ci est d'abord amplifié jusqu'à atteindre 1 J. Puis traversant quatre fois des plaques de verre au «néodyme» (élément des terres rares, matériau capable d'émettre des photons lorsqu'il est éclairé par des flashes), il atteint 15 KJ dans l'infrarouge, tout en étant filtré et mis dans la forme voulue. Les plaques de verre sont de forme carrée de 40 cm de côté, très résistantes et sans défaut. 4320 plaques de ce type équiperont le LMJ qui comprendra en tout 10 000 pièces optiques.

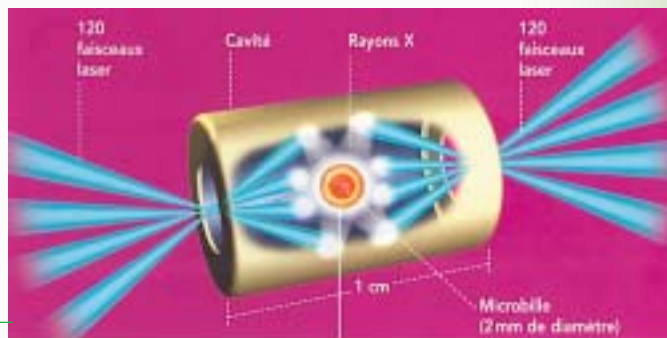
Une fois amplifié, le rayon laser est converti en un faisceau ultraviolet d'une énergie de 7,5 KJ. Alors seulement, le faisceau de lumière concentrée passe dans la chambre d'expérience. Pour la LIL, c'est une sphère de 3 m de diamètre qui paraît flotter dans l'espace, elle repose sur un solide système de fixations équipé de passerelles métalliques permettant les interventions. A l'intérieur, est placée la microbille, objet de l'expérience à réaliser.

Le coût des programmes «LIL» et «LMJ» est estimé 2,14 Md€. Pour diminuer certains coûts, le CEA et le DOE (US Department Of Energy) ont partagé notamment les dépenses nécessaires à la fabrication des plaques de verre au néodyme.

### Des microbilles tenues par des fils d'araignée

La réalisation de ces microbilles fait appel à des techniques de haute précision qui relèvent du travail d'orfèvre. Il s'agit d'abord de constituer une petite coquille de plastique (polymère) de 200 µm d'épaisseur, puis de la remplir par perméation, avec un mélange de deutérium et de tritium. Ces deux variétés d'hydrogène qui se présentent à l'état gazeux (dans les conditions normales de pression et de température) doivent être refroidies à - 255°C afin de les solidifier et d'augmenter leur densité d'un facteur 1000.

Cette bille d'hydrogène et de plastique est tenue dans la cavité par des fils fabriqués par des araignées élevées dans un petit vivarium de salon. Ces fils sont des fibres d'excellente qualité: solides, souples, collantes.



Au centre de la chambre d'expériences se trouvera la microcible : une cavité contenant une microbille remplie de deutérium et de tritium. Pour transmettre à cette dernière l'énergie de façon homogène, les ingénieurs du CEA ont choisi une voie indirecte. Entrant par les ouvertures de la cavité, les 240 faisceaux laser du LMJ illuminent ses parois internes. Celles-ci recouvertes d'or, émettent alors des rayons X qui apportent de l'énergie à la microbille et la forcent à se comprimer, déclenchant ainsi les réactions de fusion.



## Les retombées vers le civil

La fin de ce brillant exposé a été consacrée à l'utilisation de ces importants moyens de calcul et d'essais par la communauté scientifique, dans des domaines autres que la physique des armes, notamment l'astrophysique, l'étude des plasmas ou la simulation numérique.

Afin de favoriser les retombées scientifiques et techniques vers le civil, le CEA et ses partenaires mettent sur pied, un nouveau pôle de développement scientifique et technologique d'envergure : la route des «Lasers». Entre Bordeaux et Arcachon, plusieurs entreprises devraient s'installer, toutes liées à l'utilisation de ces faisceaux lumineux aux propriétés étonnantes dans des domaines d'application comme le contrôle non destructif des matériaux, la micro-gravure, les transmissions de données par laser, la biophotonique, etc. Par ailleurs la maintenance des 85 000 pièces constituant le LMJ devrait entraîner la création de plusieurs centaines d'emplois.

Côté recherche, un institut, baptisé ILP (Institut Lasers et Plasma) regroupant le CEA, l'école Polytechnique et l'université de Bordeaux a pour mission d'organiser les activités scientifiques fondamentales et la formation autour des lasers et plasmas.

En attendant la création de ce bassin d'emplois, le CEA fait déjà profiter des entreprises de sa maîtrise des techno-

logies laser. Les optiques du LMJ doivent avoir des caractéristiques très précises (réflexion, transparence, etc.) et une grande capacité de résistance à l'énergie des lasers. Le procédé «Sol-Gel» consistant à déposer sur un verre, une couche d'oxyde métallique capable de modifier ses propriétés optiques semble tout indiqué. Pour traiter les quelques 7 000 m de verre du LMJ, le CEA a dû adapter la technique pour pouvoir la mettre en œuvre à température et à pression ambiantes. Cinq licences de fabrication ont été accordées à des industriels. SOVIS, filiale de Saint-Gobain propose ainsi des dalles antiradiations destinées aux centrales nucléaires, dotées de propriétés anti-reflets par l'application des techniques mises au point par le CEA.

Dans le même esprit d'ouverture, le CEA met TERA à la disposition des scientifiques pour décrypter le génome humain. Grâce à lui, les bio-informaticiens ont gagné un temps précieux : alors qu'un an leur aurait été nécessaire pour aller au bout de leur tâche avec les moyens, déjà importants dont ils disposent, une dizaine de jours ont suffi avec TERA !

## La visite

Une visite du chantier sous la conduite d'une charmante hôtesse nous a permis de voir l'avancement des travaux de génie civil du bâtiment qui reposera sur la nappe phréatique pour une sta-

bilité optimale et nous avons pu mesurer l'ampleur des travaux réalisés de protection de cette nappe et de récupération des eaux pluviales.

La visite s'est terminée par celle de la LIL déjà en phase opérationnelle et dont les dimensions imposantes donnent une bonne idée de ce que sera le LMJ. Des explications techniques complémentaires nous sont données sur la puissance électrique nécessaire (plusieurs centaines de KVA) pour alimenter les deux installations, sur les moyens spécifiques de maintenance. Dans une salle, des schémas "pédagogiques" de l'installation, des optiques réelles dopées au néodyme et des cavités à microbille sont présentées aux visiteurs.

Un repas convivial pris dans un magnifique cadre forestier, à la maison d'hôte du CEA/CESTA, a clôturé cette visite passionnante. Les participants ont particulièrement apprécié l'accueil, les présentations et les commentaires techniques de la visite d'une réalisation d'un niveau technologique exceptionnel et unique en Europe.



Gérard PÉRINELLE

*Le compte-rendu de cette visite est diffusé avec l'accord de la direction du CEA/CESTA.*

*Pour en savoir plus : «Les Défis du CEA» N°96 de juin-août 2003.*

## Toulouse - Midi-Pyrénées

### «DEVENIR HOMME EXTRA-TERRESTRE»

#### Les embûches médicales, les défis à relever

UNE CONFÉRENCE DU DR. BERNARD COMET (MEDES FRANCE), LE 10 DÉCEMBRE 2003 À L'ENAC

Ingénieur et médecin de formation, Bernard COMET a participé à la sélection et au suivi des vols dans l'espace des candidats français et européens.

Il nous a rappelé les embûches médicales qui attendent les candidats astronautes et les contraintes humaines qui s'imposent lors des missions spatiales habitées.

La seconde partie de son exposé était très orientée vers les futures missions vers Mars, les défis qu'il va falloir relever dans les domaines de la médecine, de la psychologie et de la radioprotection afin de garantir au futur voyageur interplanétaire un environnement sûr et contrôlé pour préserver sa santé.



■ Les membres de l'assistance

Les discussions animées qui ont suivi la conférence ont permis d'aborder les problèmes de la composition et de la formation des équipages pour des vols vers mars, du support qui est amené depuis le sol actuellement vers les hommes et les femmes pendant les missions et qui ne pourra plus se faire à cause de la durée des transmissions. Le problème de la protection contre les radiations en cas d'éruptions solaire a été également évoqué et les conséquences sur l'architecture des vaisseaux pour la protection des équipages.



Guy DESTARAC



■ Le Dr. Bernard COMET pendant sa conférence

## ■ Marseille - Provence

### VISITE DU CHANTIER DU VIADUC DE MILLAU

PAR FERNAND D'AMBRA

Le vendredi 7 novembre 2003, une importante délégation du Groupe Régional s'est rendue sur le site de construction du Viaduc de Millau pour une brève présentation technique, suivie d'une visite du chantier accompagnée par une hôtesse et deux ingénieurs Chef de chantier béton / structures métalliques.

Notre déplacement était surtout motivé par l'intérêt technique de cette réalisation hors du commun, qui a déjà attiré plus de 150 000 visiteurs des quatre coins de l'Europe et qui, en dépit de son gigantisme, se fonda avec harmonie dans les vastes plateaux du Larzac et des Causses

aveyronnaises.

Sur le plan technique, que faut-il en dire outre nos exclamations de surprises admiratives ? Cette réalisation en cours prendra certainement date, dans l'avenir, dans la



réalisation des ouvrages d'art aux dimensions gigantesques à la fois sous l'aspect architectural, nouvelles techniques de constructions aidées par ordinateur, réductions significatives de prix et délais, heureux mariages des financements communautaires, étatiques et régionaux, conduits dans un souci de préserver les charges de travail locales (30 % du personnel employé). Elle élargira la situation régionale de l'emploi, par l'exploitation propre de l'ouvrage réalisé et par les retombées touristiques, industrielles et commerciales qu'il entraîne.

Sur l'aspect technique, deux films vidéo grand-écran présentent, dans le pavillon d'accueil, les caractéristiques essentielles du viaduc : largeur tablier 27 m, longueur 2460 m, 7 piles réalisées en béton Lafargue CEM I 52.5 CE précontraint coulé sur site par tronçons continus, le plus élevé d'une hauteur de 248 m, et constituant les supports des tabliers, réalisés par tronçons acier par la Société MUNCH en Lorraine. Ces éléments sont acheminés par route en convoi exceptionnel de nuit aux dimensions de 12 m de long, 4 m de haut et 5 m de large, les pylônes acier permettant la suspension du tablier par torons de câbles s'éle-

vant au-dessus des piles à une altitude de record mondial de 343 m par rapport au lit du Tarn.

La visite sur site, effectuée par bus, permet de mieux réaliser l'étendue importante de ce gigantesque chantier comportant en particulier un bâtiment et site école pour apprendre les techniques de soudage sur pièces de très grandes dimensions et accéder à l'entrée sud du viaduc ou les techniques d'assemblage, de montage et de mise en place définitive des éléments du tablier, sont commentées et illustrées sous nos yeux : pièces élémentaires assemblées et soudées par demi-tronçon de 171 m de longueur totalement équipées du pylône support des haubans partiellement montés (3 de chaque côté) pour soutenir le tronçon de tablier en porte à faux lors du montage, obtenu par translation horizontale commandée par vérins hydrauliques à déplacement et contrôle de position par ordinateur asservi.

Des palées intermédiaires en acier permettent pendant le montage en translation de soutenir les demi-tronçons de tablier, palées qui seront totalement démontées après achèvement total de chaque travée entre deux pylônes. Cette technique de translation successive par demi-tronçon équipé du tablier est pratiquée à partir des deux extrémités du viaduc. La jonction finale de la partie sud à la partie Nord est planifiée pour juin / juillet 2004 avec 717 m réalisé d'un côté et 1743 m de l'autre. A noter quelques particularités du viaduc prenant en compte les conditions météorologiques locales (grands vents, peu de neige, fortes pluies occasionnelles) : vue en plan du viaduc courbe (rayon de courbure 20 kms) permettant une meilleure résistance des ancrages à l'effet du vent, dont la direction préférentielle vient de Béziers, aménagement d'une base de décantation de capacité 3000 m<sup>3</sup>, implantation de plans de dilatation sur le tablier métal-



lique autorisant des variations de longueur totale de 70 cm pour prendre en compte les variations de température.

Il est bon de signaler quelques chiffres et dates pour mieux cerner l'amplitude de cette réalisation de caractère européen :

- démarrage du chantier le 2 octobre 2001 avec contrat de fin de travaux en 3 années et demi, glissement des dates contractuelles à ce jour inférieur à 24 heures ;
- volume de béton à couler : 83 000 m<sup>3</sup> ;
- palées intermédiaires, ultérieurement amovibles, en acier, à haute résistance mécanique, montées par tronçon par grutage (une palée à heure hauteur de 70 m et une masse de 700 tonnes) ;
- une réalisation des piles après ancrage béton - acier par coulées continues, en coffrage semi-automatique «auto-grimpant», par palier de 4 m (46 levées de coffrage pour la pile P2 réalisées par deux équipes de 10 personnes avec coulée unitaire de 3 m<sup>3</sup> de béton) ;
- caisson central du tablier réalisé par l'aciérie de Fos-sur-Mer, monté sur tablier par tronçons de 171 m avec entretoise tous les 4 m ;
- coordination Etude / Réalisation / Livraison exécutée avec une «précision d'horloger» dans une théorie de juste à temps appliquée à un «monde de géants» ;
- pylônes montés par grutage en trois sections principales : ensemble des deux jambes inférieures (38 m), tronç de 31 m, chapeau de 17 m, assemblés par soudage et comportant l'ensemble des points d'ancrage de 16 câbles de retenue du tablier de 32 torons, les efforts de traction sur chaque câble varient entre 600 tonnes et 1200 tonnes selon leur éloignement de la base ;
- le chantier occupe en moyenne 500 personnes dont 30 % de locaux domiciliés sur la région de Millau (exigence contractuelle) ;
- le coût estimé contractuellement de ce viaduc est de 320 millions d'€. Un seul poste de péage est prévu à 6 km de Millau avec tarif de 19 € pour les camions et 6 € pour les voitures particulières.

À noter que le groupe EIFFAGE et l'ensemble des sociétés coopérant à la réalisation du viaduc a été porté au livre Guinness des Records mondiaux pour la réalisation de la plus haute pile pont (P2) de l'année 2003.



Fernand d'AMBRA

## Commission Aérodynamique Appliquée

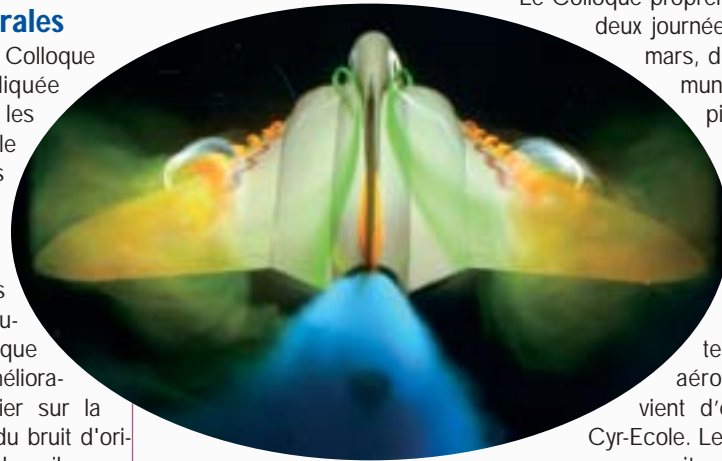
### LE 39<sup>ÈME</sup> COLLOQUE D'AÉRODYNAMIQUE APPLIQUÉE SUR LE «CONTRÔLE DES ÉCOULEMENTS»

22-24 MARS 2004, CNES, 2 PLACE MAURICE QUENTIN, 75001 PARIS. - WWW.AAAF.ASSO.FR

gouvernes pour répondre aux besoins de furtivité sur les avions d'armes... A ces problématiques industrielles, se rattache l'analyse physique des mécanismes du contrôle appliqué à de configurations de base : écoulements décollés ou libres (jets, sillages, tourbillons,...), ondes de choc, couche limite (laminarité, réduction du frottement turbulent).

#### Informations générales

L'objectif de ce 39<sup>ème</sup> Colloque d'Aérodynamique Appliquée est de faire le point sur les avancées récentes dans le domaine du contrôle des écoulements qui doit permettre aux industriels d'améliorer, grâce à l'*aérodynamique active*, les performances des véhicules, aussi bien aériens que terrestres. Les axes d'amélioration portent en particulier sur la réduction de la traînée, du bruit d'origine aérodynamique et des vibrations, l'extension du domaine de vol des avions (augmentation de la portance maximale au décollage et à l'atterrissage, retard à l'apparition du tremblement), le développement de nouvelles



■ **Éclatement tourbillonnaire sur une aile - ogivale. ONERA**

Le Colloque proprement dit se déroulera sur deux journées et demi, du 22 au 24 mars, durant lesquelles 23 communications et 5 conférences pilotes seront présentées, couvrant les aspects à la fois scientifiques et applicatifs des méthodes et stratégies de contrôle actuellement étudiées. Le Colloque se terminera par une visite de la nouvelle soufflerie aéro-acoustique S2-A qui vient d'être construite à Saint-Cyr-Ecole. Le programme succinct qui suit donne un aperçu des sujets qui seront traités durant cette manifestation qui doit

regrouper les meilleurs spécialistes français dans le domaine du contrôle des écoulements.

### Programme Résumé

#### LUNDI 22 MARS 2004

**9h00** INTRODUCTION ET OUVERTURE par Michel SCHELLER, Président de l'AAAF

**9h15** Conférence pilote n° 1 : Stabilité et contrôle des tourbillons. L. JACQUIN (ONERA)

**10h30** SESSION N°1 : Contrôle de bruit de cavité

Président : Pierre SAGAUT (Université Pierre et Marie Curie)

**14h00** CONFÉRENCE PILOTE N°2 : Dynamique et contrôle de la combustion. S. CANDEL (ECP)

**14h45** SESSION N°2 : Contrôle de jets et des écoulements d'arrière-corps

Président : Christian MARI (Snecma)

#### MARDI 23 MARS 2004

**9h00** CONFÉRENCE PILOTE N°3 : Laminarité et contrôle de la transition. D. ARNAL (ONERA)

**9h45** SESSION N° 3 : Contrôle des écoulements de paroi. Président : Jean-Paul BONNET (LEA)

**13h45** CONFÉRENCE PILOTE N° 4 : Besoins et applications du contrôle des écoulements. J.-C. COURTY (Dassault Aviation)

**14h30** SESSION N°4 : Contrôle de décollement de profil et en aval d'un obstacle

Président : Patrick GILLIERON (Renault)

#### MERCREDI 24 MARS 2004

**9h00** CONFÉRENCE PILOTE N° 5 : Propriétés des plasmas. G. TOUCHARD (LEA)

**9h45** SESSION 5 : Actionneurs et contrôle de tourbillon. Président : Patrick HUERRE (LadHyX - Ecole Polytechnique)

**12h45** CLÔTURE DU COLLOQUE

**14h30** VISITE DE LA SOUFFLERIE AÉRO-ACOUSTIQUE S2A à Saint-Cyr-Ecole précédée de la présentation du CNRT «Aérodynamique et aéroacoustique des véhicules terrestres» par Pierre PERRIER, Président du CNRT

# Commission Propulsion

## PRÉSENTATION DE LA COMMISSION PROPULSION

PAR ISABELLE DUBOIS  
(SNECMA MOTEURS, PRÉSIDENTE)



### Domaine d'activités

La Commission Propulsion de l'AAAF traite de tout système thermodynamique qui propulse ou donne de l'énergie à un véhicule aéronautique ou spatial, lui permettant de se protéger et de communiquer et à ses passagers éventuels de respirer, de communiquer et de se détendre en écoutant de la musique ou en visionnant des vidéos :

- du plus connu comme les turbosoufflantes des avions commerciaux, au plus secret comme les propulseurs de missile stratégique ou statoréacteur de missile tactique (n'espérez quand même pas accéder au secret de la Défense nationale !) en passant par les très discrets turbomoteurs pour hélicoptères, dont on a tendance à ne voir que le rotor principal ;
- de la plus petite poussée à la plus grande puissance :
  - 8 grammes ( 0,078 N ) : propulsion plasmique pour satellite ;
  - quelques tonnes (plusieurs dizaines de KN) : statoréacteurs et superstatoréacteurs pour missiles stratégiques et tactiques ;
  - 2000 CV ( 1500 KW ) : turbomoteur de l'hélicoptère NH 90 ;
  - 51 tonnes ( 500 KN ) : turbosoufflante du Boeing 777 ;
  - 115 tonnes ( 1128 KN ) : moteur fusée liquide Vulcain d'Ariane 5 ;
  - 650 tonnes ( 6376 KN ) : propulseur à propergol solide du booster d'Ariane.
- du plus rabâché au plus innovant :
  - le turboréacteur qui semble très mature, dont on se demande quelle rupture technologique percera et lui donnera une allure différente et qui, en attendant, continue à fortement progresser sans que cela paraisse grâce aux travaux de recherche nombreux et variés auxquels il donne lieu ;
  - la propulsion plasmique qui commence à s'imposer sur le marché des satellites ;



- le superstatoréacteur qui permettra à un véhicule d'atteindre des vitesses hypersoniques ( Mach 8, Mach 12 ?)
- sans parler de la propulsion pulsée, de la propulsion spatiale hélio-thermique et de la propulsion nucléaire.

### Organisation

La Commission Propulsion est organisée en un bureau élargi qui se réunit plusieurs fois par an. Il est composé :

- d'une Présidente : **Isabelle DUBOIS**, Snecma Moteurs (Etablissement de Villaroche – 77550 Moissy Cramayel ; Tél. : 01 60 59 87 86 - Fax : 01 60 59 99 07 - [isabelle.dubois@snecma.fr](mailto:isabelle.dubois@snecma.fr) ;
- d'un vice-président : **Marcel POULIQUEN**, Snecma Moteurs - 2, Bd Général Martial Valin - 75224 Paris Cedex 15 ; Tél. : 01 40 60 82 62 ; Fax : 01 40 60 81 84 ; [marcel.pouliquen@snecma.fr](mailto:marcel.pouliquen@snecma.fr) ;
- d'un secrétaire : **Paul KUENTZMANN**, ONERA - 29, av. de la Division Leclerc - 92300 Châtillon ; Tél. 01 46 73 00 ; Fax : 01 46 73 41 47 ; [ktz@onera.fr](mailto:ktz@onera.fr).

et de 19 membres, éminents spécialistes dans les disciplines que nous venons de citer.

### Réalisations

La commission propose et pilote l'organisation de conférences et de colloques :

- conférences techniques données par des spécialistes du domaine retenu. Ces conférences d'environ 1 heure ont lieu 4 à 5 fois par an, aux alentours de 18h, en général au CNES à Paris ;
- colloques plus largement ouverts aux conférenciers spécialistes du domaine de la propulsion en France et dans le monde.

Les dernières conférences organisées ont été :

- Les prises d'air, par **Gérard LARUELLE** (EADS ST), (voir la LETTRE AAAF N°4-2003) ;
- La propulsion électrique : programmes en cours et perspectives futures, par **P. DUMAZERT** et **O. DUCHEMIN** (Snecma Moteurs) ;
- En coopération avec la commission Matériaux : Les matériaux dans les moteurs aéronautiques : évolutions et révolutions par **Alain LASALMONIE** (Snecma Moteurs).



■ Ecorché du moteur CFM56-7 de Snecma-Moteurs



## CALENDRIER DES MANIFESTATIONS

DATE	LIEU	ORGANISATEUR	MANIFESTATION
<b>2004</b>			
<i>Bordeaux Sud-Ouest</i> (tél et fax 05 56 70 68 11 ; courriel : <a href="mailto:aaaf.bordeaux@wanadoo.fr">aaaf.bordeaux@wanadoo.fr</a> )			
30 mars	MIDI-PYRÉNÉES (observatoire)	IMA	La chanson du soleil par Sylvie VAUCLAIR
21 avril	ROCHEFORT	SOGERMA	Visite du site
18 juin	ST-AUBIN-DE-MÉDOC	EADS	Les avions spatiaux par Philippe JUNG (Commission Histoire de l'AAAF)
<i>Cannes - Côte d'Azur</i> (tél : 04 92 92 79 80 ; courriel : <a href="mailto:aaaf.ca@wanadoo.fr">aaaf.ca@wanadoo.fr</a> )			
9 mars	CANNES LA BOCCA Auditorium de Spacecamp	Alcatel Space Cannes - Côte d'Azur	Assemblée régionale du groupe
23 mars	CANNES LA BOCCA Auditorium de Spacecamp	Alcatel Space	Béluga, le transporteur d'Airbus. Conférence de François DUCLOS
16 avril	CANNES LA BOCCA Auditorium de Spacecamp	Alcatel Space	Les exoplanètes et la future mission COROT de l'ESA/Conférence de Tristan GUILLOT (CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur)
<i>Marseille-Provence</i> (tél : 04 42 85 72 00 ; courriel : <a href="mailto:marseille@aaaf.asso.fr">marseille@aaaf.asso.fr</a> )			
19 mars	AIX EN PROVENCE Cercle des Officiers de l'Armée de l'Air	ARMÉE DE L'AIR	Assemblée générale du groupe Marseille-Provence, suivie d'une conférence de Jean-Louis BOULAY et Jean-Marc BOUTRY (ONERA) sur la Détection Radar.
<i>Normandie</i>			
17 mars	ROUEN		«Mars : à l'approche d'un nouveau monde» par Richard HEIDMANN (Planète Mars)
<i>Toulouse Midi-Pyrénées</i> (tél : 05 62 17 52 80 ; courriel : <a href="mailto:aaaftlse@aol.com">aaaftlse@aol.com</a> )			
3 mars	TOULOUSE (23, Av. E. Belin)	IAS	Les missions martiennes Conférence de Francis Rocard (CNES)
<i>Les samedis de l'histoire</i> (tél : 01 34 60 11 34 ; courriel : <a href="mailto:philippe.jung@space.alcatel.fr">philippe.jung@space.alcatel.fr</a> )			
27 mars à 14h30	AÉROPORT DE PARIS LE BOURGET	MUSÉE DE L'AIR ET DE L'ESPACE	-«L'irrésistible ascension des Wright» par Michel THOUIN (AAMA)

### LE GROUPE RÉGIONAL NORMANDIE ORGANISE UNE CONFÉRENCE SUR «MARS : À L'APPROCHE D'UN NOUVEAU MONDE»

PAR RICHARD HEIDMANN (PRÉSIDENT DE PLANÈTE MARS)

L'étude de la planète Mars, notre voisine, notre sœur, révèle un trésor d'informations pour la compréhension de l'évolution des planètes, de leur climat et des conditions d'apparition de la vie. De plus, son exploration promet d'être un formidable facteur de développement technologique, de coopération internationale et de motivation de la jeunesse pour les métiers scientifiques et techniques, créateurs d'innovations et de richesses. Il s'agit d'un véritable enjeu scientifique et politique pour les nations et pour les citoyens, qu'ils soient convaincus qu'il y a un avenir pour l'Homme dans l'Espace ou plus simplement que de grandes entreprises en coopération internationale sont nécessaires à la paix, au développement et à la dynamique de nos sociétés. Depuis quelques années, plusieurs sondes robotiques sont à l'œuvre sur le sol et autour de la planète Mars, qui nous permettent de vivre en direct sa découverte. Nous sommes aujourd'hui beaucoup mieux préparés pour envoyer l'Homme sur Mars que nous l'étions, il y a quarante ans, pour aller sur la Lune : nous en avons les capacités techniques et budgétaires. Douze ans seraient suffisants pour construire et mettre au point les équipements nécessaires pour vivre ce nouveau grand moment dans l'histoire de l'Humanité. Alors pourquoi attendre ?



Richard HEIDMANN ([www.planete-mars.com](http://www.planete-mars.com) ;  
28, rue de la Gaité 75014-Paris)

### SALON DES FORMATIONS & DES MÉTIERS SCIENTIFIQUES 24 MARS 2004 - CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE. PARIS.

une journée au service des jeunes chercheurs et docteurs et des carrières scientifiques

Unique manifestation parisienne dédiée aux carrières scientifiques et techniques, Le Salon des Formations & des Métiers Scientifiques a choisi la Cité des sciences et de l'Industrie, haut lieu de la communication scientifique et technique,

pour réunir candidats :

- Vous cherchez un emploi ou une formation complémentaire ;
- Vous souhaitez intégrer un organisme de recherche ;
- Vous voulez acquérir une double compétence ;

et recruteurs :

Vous recrutez des jeunes chercheurs  
Vous offrez des opportunités aux jeunes docteurs  
Vous recrutez des profils scientifiques et techniques  
Vous intervenez dans le domaine industriel, scientifique ou dans les services.  
Vous souhaitez promouvoir les carrières scientifiques et techniques.

Inscrivez-vous : [www.worldstudent.com](http://www.worldstudent.com)

# COLLOQUES NATIONAUX ET INTERNATIONAUX

DATE	LIEU	ORGANISATEUR	MANIFESTATION
<b>2004</b>			
22-24 mars	PARIS	AAAF secr.exec@aaaf.asso.fr	39 <sup>ème</sup> Colloque d'Aérodynamique Appliquée «Contrôle des Ecoulements»
10-12 mai	MANCHESTER Grande Bretagne	AIAA-RAeS-CEAS Christine.philbin@raes.org.uk	Conference 10 <sup>th</sup> AIAA/CEAS Aeroacoustics
15-17 Juin	PARIS Hôtel Sofitel Porte de Sèvres	AAAF- Prospace Satel Conseil	10 <sup>th</sup> Satel Conseil Symposium «Satellite Communications: Crisis or Business as Usual?»
21-22 juin	ARCAHON France	AAAF, EADS, Technicatome, Technip - cs2e@aaaf.asso.fr	AAAF First International CS2E Conference Complex and Safe Systems Engineering
15-17 sept.	FLORENCE Italie	AAAF http://missiledefence04.colloques-aaaf.com	2 <sup>nd</sup> AAAF International Conference on Missile Defence'04 «Challenges in Europe»
17-19 nov.	AMIENS France	AAAF secr.exec@aaaf.asso.fr	7 <sup>ème</sup> Forum Intelligence Économique «Entre Concurrence et Coopération»
16-18 juin	AIX en PROVENCE France	AAAF secr.exec@aaaf.asso.fr	Big Picture : Long Term Space Scenarios
14-16 sept.	MARSEILLE France	CEAS-AAAF secr.exec@aaaf.asso.fr	30 <sup>th</sup> European Rotorcraft Forum

## Adhérez à l'AAAF et recevez la «LETTRE AAAF»

### VOUS ÊTES ADHÉRENTS

- Faites circuler cette lettre auprès de vos amis, de vos collègues, pour qu'ils nous rejoignent.

### VOUS DÉCOUVREZ LA LETTRE AAAF :

- Vous êtes passionné(e) par les sciences et techniques de l'aéronautique et de l'astronautique, vous souhaitez communiquer et échanger des informations ou des idées dans ces domaines, à titre professionnel ou personnel ;
- Vous souhaitez faire carrière, apporter votre expérience ou élargir vos horizons dans nos industries ou dans nos organismes de recherche ; vous souhaitez être reconnus dans votre profession, au plan national et international ;
- Votre Entreprise, votre Organisme de Recherche, votre Association souhaite promouvoir et défendre ses activités au travers des réalisations et des projets de l'aéronautique et l'astronautique française :

### REJOIGNEZ L'AAAF

La seule association reconnue d'utilité publique qui soit une société savante délivrant des grades reconnus au niveau européen et couvrant sur le plan national, avec de larges ouvertures internationales, l'ensemble des disciplines aéronautiques et astronautiques.

- Offre spéciale réservée aux moins de 26 ans : rejoignez maintenant l'AAAF pour seulement 20 €.
- Pour toutes questions contactez nous par téléphone : 33 (0) 1 39 79 75 15 ou par courriel : secr.exec@aaaf.asso.fr.

### ADHÉSION PAR INTERNET

Rendez vous sur le site Web de l'AAAF : [www.aaaf.asso.fr](http://www.aaaf.asso.fr)

- Choisissez votre catégorie de membre.
- Complétez soigneusement vos coordonnées sur la page du serveur «yaskifo».
- Réglez par carte de crédit. Pas de soucis, la liaison est sécurisée.

### ADHÉSION PAR COURRIER

- remplissez le formulaire ci-dessous (en lettres capitales) ;
- adressez le formulaire rempli accompagné de votre paiement à Association Aéronautique et Astronautique de France (AAAF), 61, avenue du Château, 78480 Verneuil-sur-Seine

M.  Mme  Melle,

Nom : .....

Prénoms : .....

Adresse : .....

Ville : ..... Code postal : .....

Pays : .....

Tél. : ..... Fax : .....

E-mail : .....

Cotisations : .....

Membre titulaire<sup>(1)</sup> ou associé<sup>(2)</sup> 60€

Membre retraite (titulaire ou associé) : 35€

Membre jeune (moins de 26 ans) : 20€

Don complémentaire a l'aaaf : ... €

TOTAL : ... €

<sup>(1)</sup> Membre titulaire : personne exerçant ou ayant exercé une activité professionnelle ou scientifique dans le domaine aérospatial ;

<sup>(2)</sup> Membre associé : toute personne portant un intérêt personnel aux techniques aérospatiales.

• Je choisis de régler par :

chèque bancaire ou postal ci-joint

carte bancaire :

Carte bleue  MasterCard  Eurocard  autres

Nom ..... Prénom .....

N° ..... Validité : .....

Signature :

Toute nos félicitations et nos remerciements pour votre adhésion ! Vous recevrez par la poste votre carte de membre, un formulaire de renseignement complet à nous retourner et vous serez abonné de suite à la «LETTRE AAAF». Vous pourrez enfin accéder à toutes les sections du site AAAF

## Observations et analyses d'objets du patrimoine

PAR JACQUES CASTAING (C2RMF)

On connaît les multiples applications aérospatiales de la science des matériaux. Jacques CASTAING, chercheur au Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF, CNRS UMR 171, 6 rue des Pyramides, 75041 Paris cedex 01) a accepté d'en dévoiler, pour les lecteurs de la LETTRE AAAF, quelques applications moins connues propres à percer le secret des objets du passé. Fascinant voyage au cœur de la matière et des sociétés humaines.

### Introduction

L'intérêt pour la conservation du patrimoine et des objets a pris son essor au XIX<sup>ème</sup> siècle et il atteint aujourd'hui un niveau tel que cela semble devenir un phénomène de masse tendant à tout englober : œuvres d'art, objets utilitaires, éléments d'architecture, bâtiments industriels, savoir-faire, paysages, etc. (Guillaume 2001). Les recherches sur le passé de l'humanité se sont multipliées avec des campagnes de fouilles et la découverte d'objets ayant traversés les millénaires (pierres, céramiques, métaux, etc.) qui s'ajoutent à ceux conservés au cours des siècles par diverses institutions (église, monarchie, musées, etc.). Cet ensemble constitue une source d'information inestimable sur les sociétés humaines, en particulier sur l'histoire des moyens de fabrication et sur les modes d'altération des objets et des œuvres d'art. Les recherches sur les matériaux mis en jeu se sont développées dans le but de mieux connaître l'histoire des techniques, d'améliorer les conditions de conservation des objets et aussi de déterminer leur authenticité.

Ce type d'investigation nécessite une approche pluri-échelle depuis l'observation visuelle, jusqu'aux échelles microscopiques utilisant divers types de rayonnements (rayons X, électrons, etc.) (Dupouy 1996; Castaing 2000; Dubrana 2001). Cet article ne tend pas à une description exhaustive de tous les moyens utilisés pour ces études et, malgré leur importance, les matières organiques ne sont pas considérées. En décrivant quelques exemples de travaux menés au laboratoire du C2RMF, nous cherchons à montrer que le monde industriel et celui du patrimoine ne sont pas très éloignés dans leurs approches par suite de la complexité des matériaux et des environnements, de l'ignorance de nombreux paramètres, de la nécessité d'investigations non-destructives,

de la nature des questions posées (conservation, authenticité, procédés techniques)... Une bibliographie est donnée à la fin de cet article qui peut être utilement complétée par la consultation du site Internet «www.c2rmf.fr».

### Observations macroscopiques

L'observation visuelle est à la base des travaux des conservateurs et des historiens de l'art qui savent identifier les caractéristiques d'une œuvre, et par comparaison avec d'autres, déduire son origine et sa fonction. Des éléments invisibles peuvent être découverts grâce à l'emploi des rayons X (de 5 à 420 kV pour des radiographies), des rayons b (émissiographie) et des radiations infrarouge ( $\lambda = 0,8-2,5 \mu\text{m}$ ) et ultraviolette ( $\lambda = 0,3-0,4 \mu\text{m}$ ).

La radiographie révèle comment l'artisan ou l'artiste a fabriqué un objet (squelette métallique d'une statue, mode d'assemblage ou de restauration d'une œuvre, superpositions de couches picturales, etc.). La radiographie d'objets est une pratique courante dans l'industrie et aussi pour l'examen d'œuvres du patrimoine (Borel 1995; Dupouy 1996; Martin et al. 2002; Tsoucaris et al. 2001). La radiographie de peintures a été réalisée plus de 9000 fois depuis le début de cette technique, au Louvre, dans les années 1920 (Dubrana 2001, p. 188). Outre la structure du cadre et de la toile, la radiographie révèle les différentes couches de couleurs qui incorporent parfois des éléments très absorbants pour les rayons X, par exemple le blanc de plomb. Les «repentirs» de l'artiste deviennent visibles

**Mieux connaître l'histoire des techniques, améliorer les conditions de conservation des objets, déterminer leur authenticité**

comme dans le tableau «les Muses» de Eustache Lesueur (peinture du XVII<sup>ème</sup> siècle de 130 x 130 cm, exposée au Louvre) dans laquelle Cléo, muse de l'histoire, a un regard étrange faisant face à l'observateur; initialement, la tête était de profil comme le montre la radiographie (Maitre 1995). On a aussi découvert des cas où l'artiste a exécuté son œuvre sur une toile déjà peinte. Pablo Picasso a peint le "gobeur d'oursin" à Antibes en 1946 par-dessus le portrait du Général Vanderberg, héros de la première guerre mondiale (Giraudy 1995; Dubrana 2001, p. 182). Goya a peint «les vieilles» (Musée de Lille) par dessus un christ sortant du tombeau (Dupouy 1996). L'émissiogra-

phie correspond à l'expulsion d'électrons sous l'influence des rayons X. Le film est placé au plus proche de la couche picturale à examiner. Cette technique est employée en particulier pour les peintures sur métal dont la forte absorption des rayons X rend la radiographie inopérante.

L'acquisition d'images dans l'infrarouge peut révéler, à travers les couches picturales, des dessins sous-jacents et des inscriptions. Par exemple, les

**Les «repentirs» de l'artiste deviennent visibles aux rayons X; l'inscription recouverte s'illumine sous ultraviolet**

«noces de Cana», peinture sur bois (59 x 36 cm) flamande anonyme du début du XVI<sup>ème</sup> siècle, montrent des dessins très élaborés et des

instructions correspondant aux couleurs (Le Chanu 1998; Dupouy 1996). Sous ultraviolet, la fluorescence de la matière picturale peut être très variable pour des aspects visuels identiques, ce qui révèle d'anciennes opérations de restauration. Le tableau de Velasquez «l'infante Marguerite» (70 x 59 cm), situé au Louvre, représente le personnage principal de «las Meninas» du Prado à Madrid. Il a été expédié à Paris en 1654. Son titre avait été inscrit, au XVIII<sup>ème</sup> siècle, en lettres dorées de 3 cm. En 1960, il a été décidé de recouvrir cette inscription qui reste visible de façon éclatante sous ultraviolet (Castaing 2000).

Avec ces informations macroscopiques, les conservateurs et les historiens appréhendent de multiples aspects des œuvres pour connaître leur passé et prendre des décisions concernant leur futur. Cependant, les caractéristiques à l'échelle du micromètre, voire du nanomètre, sont souvent essentielles pour accompagner ces démarches.

### Analyses des matériaux inorganiques

Essentiellement trois types d'information sur les matériaux inorganiques donnent des indications pour découvrir leur origine (mines, routes commerciales, etc.) et les procédés de fabrication (mise en forme, température, etc.): structure cristalline, composition chimique et microstructure. Le laboratoire du C2RMF emploie les techniques habituelles en science des matériaux comme la diffraction des rayons X, avec parfois des sources synchrotron (LURE et ESRF), l'analyse élémentaire par dispersion en énergie des rayons X émis sous l'impulsion d'électrons (MEB-EDS), de protons (PIXE) ou de rayons X (fluorescence X). La spectroscopie d'absorption infrarouge et la microscopie

Raman sont également d'un emploi courant. Les techniques permettant de minimiser l'endommagement des œuvres sont privilégiées. Il est souvent envisageable de prélever des petits échantillons (moins de 1 mm) bien adaptés aux microscopes. Les mesures in-situ sur les objets sont particulièrement intéressantes, aussi elles connaissent un fort développement. Les rayonnements laissent des traces négligeables sur les objets si la densité d'énergie est faible.

## Analyse chimique élémentaire

Le laboratoire du C2RMF a développé le système d'analyse AGLAE, basé sur un accélérateur de particules, bien adapté aux objets du patrimoine et aux œuvres d'art (Calligaro et al. 2000 ; Dran 2002 ; Dubrana 2001). La machine est un tandem de 2 MV qui, outre le PIXE (Particle Induced X ray Emission) déjà mentionné, permet de faire de la rétrodiffusion Rutherford (RBS), des réactions nucléaires pour doser les éléments légers et de l'ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis) pour l'hydrogène. La spécificité de l'installation est de pouvoir pratiquer ces analyses sur des objets dans l'atmosphère grâce au faisceau d'ions extrait du vide à travers une fenêtre ultra-fine de nitru- re de silicium.

Le PIXE a permis de trouver l'origine des rubis de la statue de la déesse Ishtar (période Parthe, II<sup>ème</sup> siècle avant notre ère) exposée au Louvre (Calligaro et al. 1998 et 1999).

Cette statue de 28 cm de haut représente une femme nue aux yeux et au nombril incrustés de gemmes rouges. Le consul de France à Bagdad, P. DELAPORTE, découvreur de l'objet dans une tombe de jeune fille à Babylone

(Mésopotamie), en fait la description suivante, dans un document écrit le 21 janvier 1863 : «cette absence complète de bijoux, cette vénus toute nue, aux formes ravissantes, aux yeux et à l'ombrelle de rubis, aux boucles d'oreilles et au collier en or, me font présumer que cette jeune fille était morte avant, sans doute, d'avoir offert à cette déesse cette fleur qui ne se perd qu'une fois». Néanmoins, l'absence de rubis connu à cette époque dans cette partie du monde avait conduit à classer les trois gemmes comme étant des grenats. L'analyse PIXE a démontré qu'il s'agissait de rubis. La comparaison des teneurs en impuretés avec celles de rubis de provenances connues permet de conclure que les trois rubis d'Ishtar proviennent de Birmanie, attestant de

l'existence de routes commerciales actives à travers l'Asie il y a 2000 ans (Calligaro et al. 1998 et 1999).

## Structure cristalline et microstructure

La diffraction des rayons X et des électrons apportent des informations qui peuvent être décisives pour identifier les procédés de fabrication utilisés dans les temps anciens. Les deux exemples suivants concernent les cosmétiques de l'Égypte antique (3000-4000 ans avant le présent) (Martinetto et al. 2002 et 2003 ; Tsoucaris et al. 2001 ; Ungar et al. 2002 ; Walter et al. 1999 a & b) et les pigments jaune et rouge dans les grottes préhistoriques (15000-30000 ans avant le présent) (Pomiès et al. 1999 a, b & c).

L'observation des cosmétiques de l'Égypte antique, prélevés dans des flacons retrouvés dans des tombes, révèle une dominance noire. La fraction minérale est examinée par MEB-EDS et par diffraction des rayons X.

Quatre phases principales ont été identifiées : d'une part la galène PbS noire, encore utilisée dans la plupart des kohl modernes, d'autre part la césurite PbCO<sub>3</sub>, la laurionite PbOHCL et la phosgénite Pb<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, toutes trois de couleur blanche. La laurionite et la phosgénite sont donc inutiles pour modifier l'aspect des fards et sont rares, voire inexistantes, dans la nature. Ces deux composés ont été synthésés par voie chimique et additionnés au mélange galène+césurite pour procurer une propriété thérapeutique au niveau des yeux en plus de la propriété esthétique.

L'élargissement des pics de diffraction des rayons X de la galène est le résultat du broyage pour la mise en poudre.

La microscopie électronique en transmission a montré l'existence de réseaux de dislocations liés aux conditions mécaniques de la fragmentation de la galène et à d'éventuels traitements thermiques ultérieurs. Cette méthode ne permet que l'examen de petits volumes (0,2 x 5 x 5 µm), mais elle est plus sensible que la diffraction des rayons X qui renseigne sur la microstructure de volumes plus importants de façon indirecte. L'accord entre les deux méthodes est qualitatif.

Les trois couleurs trouvées dans les peintures rupestres sont le noir (carbone ou oxyde de manganèse), le rouge et le jaune obtenus respectivement avec l'hématite (α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et la goethite (FeOOH). La goethite se transforme en hématite par

chauffage au dessus de 250-300°C et élimination de l'eau. Par transformation contrôlée, ce procédé est employé depuis longtemps pour fabriquer des pigments de teintes différentes entre le jaune et le rouge. La question de l'utilisation de ce procédé dès la préhistoire se pose d'autant plus que la goethite est parfois le seul minéral disponible à proximité des sites rupestres. Les pics de diffraction des rayons X de l'hématite sont parfois élargis, ce qui est la signature d'un composé obtenu par chauffage de la goethite, mais aussi parfois d'hématite naturelle. La microscopie électronique en transmission permet de lever toute ambiguïté. En effet, une hématite modérément chauffée conserve la forme aciculaire (0,1 x 1 µ) des grains de goethite et montre la présence de pores de dimensions nanométriques. La microscopie électronique en transmission a ainsi révélé que la chauffe de goethite a été pratiquée dans la grotte de Troubat

(Hautes Pyrénées), mais pas dans celle d'Enlène ni celle de Lascaux où l'hématite employée est d'origine naturelle. Il semble que le procédé de transformation de FeOOH en α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par le feu ait été employé dans des époques très anciennes.

## Conclusions

Comme dans d'autres domaines de la science des matériaux, les études sur les objets du patrimoine nécessitent la prise en compte des caractéristiques les plus diverses comme le contexte de la découverte ou de la conservation, l'application ou l'usage de ces objets, leur aspect en lien avec la composition, la cristallographie, la microstructure. Cela impose une collaboration étroite entre diverses disciplines : archéologie, histoire, conservation, géologie, physique, chimie. Par ailleurs, les questions posées tendent à replacer ces objets dans des contextes anciens : authenticité, procédé de fabrication, mécanisme d'altération... Les objectifs sont souvent liés à la conservation et à la restauration. Les pratiques expérimentales doivent être aussi peu destructives que possible compte tenu de la valeur des objets. On retrouve ainsi les motivations et les conditions d'investigation de nombreux domaines de la technologie moderne, ce qui explique les nombreuses collaborations du C2RMF avec d'autres établissements industriels ou de recherche.

**L'Égypte ancienne synthétisait ses cosmétiques par voie chimique**

**Par la magie du feu, les peintres rupestres tiraient le rouge du jaune**



■ Représentation de la déesse Ishtar

**Il y a 2000 ans, les rubis de la déesse Ishtar venaient de Birmanie**



Jacques CASTAING

Pour en savoir plus : [www.c2rmf.fr](http://www.c2rmf.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

- Borel T.** *La radiographie des objets d'art*, *TECHNE* 2, pp. 146-157 (1995)
- Calligaro T., Mossmann A., Poirot J.-P. et Querré G.** *Provenance study of rubies from a Parthian statuette by PIXE analysis*, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.* 136-138, pp. 846-850 (1998)
- Calligaro T., Poirot J.-P. et Querré G.** *Trace elements fingerprinting of jewellery rubies by external beam PIXE*, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.* 150, pp. 628-634 (1999)
- Calligaro T., Dran J.-C., Ioannidou, Moignard B., Pichon L. et Salomon J.** *Development of an external beam nuclear microprobe on the aglae facility of the Louvre museum*, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.* 161-163, pp. 328-333 (2000)
- Castaing J.** *Observaciones y analisis de objetos del patrimonio. Temas Actuales en Ciencia de Materiales*, édité par A. Conde, A. Dominguez et J. Leal, Universidad de Sevilla, pp. 95-107 (2000)
- Dran J.-C.** *Pleins feux sur les objets d'art et d'archéologie avec l'accélérateur de particules du Louvre*, *Bulletin de la S.F.P.* 136, pp. 12-17 (2002)
- Dubrana D.** *Histoire secrète des chefs-d'oeuvre*, éd. SPE Barthélemy, Paris. (2001)
- Dupouy J.-M.** *Les méthodes d'investigation scientifiques et le patrimoine artistique*, *Bulletin de la S.F.P.* 107, pp. 21-26 (1996)
- Giraudy D.** *De la «Belle Noiseuse» aux «Anthropométries»*, *TECHNE* 2, pp. 105-114 (1995)
- Le Chanu P.** *Le mariage du dessins et la couleur*, *TECHNE* 7, pp. 109-112 (1998)
- Maitre H.** *Image numérique, traitement numérique des images et œuvres d'art*, *TECHNE* 2, pp. 191-196 (1995)
- Martin E. et Penot C.** *L'imagerie scientifique au service du mobilier*, *TECHNE* 16, pp. 40-47 (2002)
- Guillaume M.** *Conservation des choses, virtualisation des œuvres, artificialisation du vivant*, *TECHNE* 13-14, pp. 14-19 (2001)
- Martinetto P., Castaing J., Walter P., Penhoud P. et Veysière P.** *Structure of milled galena (PbS) particles as a result of grinding : observations by electron microscopy*, *J. Mater. Res.* 17, pp. 1601-1611 (2002)
- Martinetto P., Dooryhée E., Walter P., Anne M. et Tsoucaris G.** *Synchrotron et matériaux du patrimoine : les cosmétiques de l'Égypte ancienne*, *Bulletin de la S.F.P.* 138, pp. 4-7 (2003)
- Pomiès M.-P., Menu M. et Vignaud C.** *TEM observations of goethite dehydration : application to archaeological samples*, *J. of the Europ. Ceram. Soc.* 19, pp. 1605-1614 (1999a)
- Pomiès M.-P., Barbaza M., Menu M. et Vignaud C.** *Préparation des pigments préhistoriques par chauffage*, *L'Anthropologie (Paris)* 103, pp. 503-518 (1999b)
- Pomiès M.-P., Menu M. et Vignaud C.** *Red palaeolithic pigments : natural hematite or heated goethite*, *Archaeometry* 41, pp. 275-285 (1999c)
- Tsoucaris G., Martinetto P., Walter P. et Lévêque J.-L.** *Chimie et maquillage dans l'antiquité*, *Ann. Pharm. Fr.* 59, pp. 415-422 (2001)
- Ungar T., Martinetto P., Ribarik G., Dooryhée E., Walter P. et Anne M.** *Revealing the powdering methods of black makeup in ancient Egypt by fitting microstructure based Fourier coefficients to the whole X-ray diffraction profile in galena*, *J. Appl. Phys.* 91, pp. 2455-2465 (2002)
- Walter P., Martinetto P., Tsoucaris G., Bréniaux R., Lefebvre M.A., Richard G., Talabot J. et Dooryhée E.** *Making-up in ancient Egypt*, *Nature* 397, pp. 483-484 (1999a)
- Walter P., Ziegler C., Martinetto P. et Talabot J.** *Quand la couleur soulignait l'œil dans l'Égypte ancienne*, *TECHNE* 9-10, pp. 9-18 (1999b)

## Les projets de recherche du CNRT-AE

Après dix-neuf mois d'existence opérationnelle, le Centre National de la Recherche Technologique Aéronautique et Espace (CNRT-AE) est heureux de pouvoir faire état, auprès des lecteurs de la LETTRE AAAF, des premiers programmes de recherche et des premières initiatives, une présentation des missions et du fonctionnement ayant été publiée dans l'édition d'octobre 2002 de cette même Lettre.

### Les projets de recherche technologique

Nos groupes de travail se sont constitués progressivement, avec l'objectif de rassembler l'ensemble des parties concernées par la recherche aérospatiale en France (industriels, établissements publics de recherche, laboratoires et agences), d'identifier les actions d'envergure les mieux adaptées pour faire face aux enjeux de société, de rassembler les consortiums les plus talentueux pour mener à bien ces programmes, de mobiliser les supports financiers nécessaires, de garantir le transfert industriel efficace des progrès réalisés. Les premiers résultats sont encourageants. Parmi nos projets en cours ou en préparation :

**APROSUTIS** (*Amélioration des PROPriétés de SURface des alliages de TITane Structuraux en conditions sévères de fonctionnement*)

Commencé début 2003, ce projet vise l'utilisation de certains alliages de titane pour des pièces de turbomachines mais aussi pour des pièces d'aérostructures. L'environnement sévère doit être modélisé, analysé et maîtrisé par des traitements de surface adaptés. C'est le cas pour la corrosion, l'oxydation à basse température, le frottement et l'usure des pièces. Cinq laboratoires académiques unissent leurs forces à celles d'AIRBUS, de Snecma moteurs et de TURBOMECA. De nouvelles techniques d'analyse ou de traitement de surface sont étudiées, et mises en œuvre, comme le mixage ionique dynamique, ou l'implantation par immersion plasma.

**Contact : Armand COUJOU (coujou@cemes.fr)**

**MUSIC** (*Mise en œuvre par UML des Systèmes Informatiques Certifiés*)

Ce projet, sélectionné par le RNTL (Réseau National des Technologies Logicielles) devrait démarrer en fin d'année 2004, une fois rassemblées les différentes sources de financement institutionnelles et industrielles. Y participent les sociétés industrielles Thales et Airbus, la société d'études Aonix ainsi que l'INSA de Toulouse et le CEAT. Il est centré sur l'utilisation d'UML (Unified Modelling Language) et des environnements de développement basés sur UML pour réduire les coûts de développement des logiciels temps réel, sachant par exemple que la détection de fautes de conception et les tests fonctionnels peuvent représenter 40 % du coût total de développement.

**Contact : Gilles MOTET (Gilles.Motet@insa-tlse.fr)**

**ASAP** (*Analyse Statique et Assurance basée Produit*)

Parallèlement au démarrage du projet MUSIC, le groupe «Ingénierie logicielle et ingénierie des grands systèmes» a élaboré en 2003 le projet ASAP, qui propose de nouvelles techniques pour valider et certifier les logiciels embarqués critiques. Aujourd'hui, la confiance justifiée que l'on peut placer dans l'exécution d'un logiciel critique repose sur la qualification de son processus de développement (DO178B en aéronautique, ECSS en spatial). Le projet ASAP propose une approche très différente dite «analyse statique» qui consiste simplement en une analyse exhaustive et directe du produit, avec des outils informatiques, en partie à développer, dédiés à chaque type de propriété du code. Ce projet, soumis au RNTL, rassemble les partenaires suivants : Absint SARL, Airbus, Astrium, CEA, CNES, CS SI, Dassault Aviation, Ecole Normale Supérieure (Ulm), IRIT, ONERA, Ecole Polytechnique (X), Thales Avionics.

**Contact : Pierre VIELCANET (pierre.vielcanet@c-s.fr)**

**FLOCOP** (*FLow Control and OPTimization*)

Le groupe de travail mécanique des fluides et énergétique a pris l'initiative, au cours de l'été 2003, d'un appel à expressions d'intérêt diffusé largement auprès de la communauté des numériciens et mécaniciens des fluides. Cet appel a été centré sur l'optimisation et le contrôle des écoulements, ce thème étant considéré par les industriels et les centres de recherche comme un des plus prometteurs vis à vis des enjeux du respect de l'environnement, de performances et d'économie. Un projet d'envergure s'est dessiné à la suite de cet appel : le projet FLOCOP.

Il a pour objectif de rassembler la communauté scientifique pour progresser dans la prise en compte des dispositifs de contrôle d'écoulement dans les outils de conception numérique en aérodynamique externe ou interne. Parmi les laboratoires participant à ce programme, le CERFACS, l'ONERA, l'École Centrale de Nantes, l'IMFT, l'École Polytechnique, l'Université Paris 6. Les modèles physiques et les résultats numériques qui résulteront de ce programme devront être intégrés aux grands logiciels industriels de conception aérodynamique, en particulier els A.

**Contact : Thilo SCHÖNFELD**  
(schoenfeld@cnrtae.com)

**PAUSA** (Partage d'Autorité dans le Système Aéronautique)

Le projet PAUSA aborde la question de l'automatisation croissante du vol, mais aussi du système de transport aérien dans son ensemble, sous l'angle du partage d'autorité. Les expertises en automatique et en facteurs humains seront rassemblées, pour définir et comparer concrètement plusieurs alternatives de partage d'autorité dans le système aéronautique en intégrant :

- la complexité, la variabilité et la prédictibilité du contexte opérationnel ;
- la répartition des tâches entre les différents SHM (Systèmes Homme Machine) concernés ;
- la capacité d'automatisation de chaque SHM.

Ce projet doit permettre de comparer des situations réalistes, prototypes des évolutions futures, dans ces différentes dimensions. Il rassemble une douzaine de participants dont les grands avionneurs et équipementiers, le CENA et les laboratoires français les plus compétents en automatique, informatique, interaction homme machine et ergonomie cognitive.

**Contact : Guy Boy** (guy.boy@oncert.fr)

Ces cinq premiers projets répondent, au moins partiellement, à l'ambition et à la méthode que s'est fixé le CNRT. Mobilisant plus de trente partenaires, avec un poids économique de plus de la dizaine de millions d'euros, ils pourraient être considérés au premier ordre, comme des IP (*Integrated Projects*) ou des STREP (*Specific Targeted Research or Innovation Projects*) «à la française», apportant ainsi leur contribution au programme national de recherche aérospatial. Encore faut-il que chacun de ces projets trouve rapidement son équilibre économique en rassemblant non seulement les acteurs de la recherche mais aussi l'ensemble des sources potentielles de soutien, industrielles et publiques.

Par ailleurs, l'idée d'un couplage entre

certains groupes de travail du CNRT et les commissions techniques de l'AAAF, serait sans doute à poursuivre.

## Le point de contact national pour le 6<sup>ème</sup> PCRD

Mandaté par le ministère de la recherche pour animer la fonction de point de contact national pour l'aéronautique et l'espace, le CNRT mène les actions d'information et d'assistance nécessaires auprès des entreprises et laboratoires, des collectivités territoriales, des chambres de commerce, etc. Il conduit également différentes analyses sur les appels à proposition clos ou en cours. Lors du premier appel pour l'aéronautique et l'espace, 166 propositions ont été déposées avec un montant de financement accumulé de 1 304 M€. Après l'évaluation des dossiers, 53 projets (32%) ont été retenus pour négociations finales. Sur ces projets acceptés, 10 concernent les types de projets nouvellement introduits lors du 6<sup>e</sup> PCRD (Projets Intégrés-IP, Réseaux d'Excellence-NoE), alors que la majorité de 81% concerne les «anciens instruments» et principalement les projets STREP.

Les industriels et organismes français tiennent leur rang dans le concert des grands pays «aéronautiques» européens : tous types de projets confondus (aéronautique et espace), un montant de 84.6 M€ serait accordé à des partenaires français, 60.3 M€ à des partenaires allemands et 41.7 M€ à des partenaires britanniques (montants avant négociation des contrats). En revanche le taux de succès des universités françaises est faible : au total, seulement 10 projets avec un partenaire français universitaire ont été retenus (sur 53 projets soumis). Ces chiffres sont à comparer avec le Royaume-Uni (45/122) et l'Allemagne (24 projets acceptés sur 79 déposés). Le deuxième appel aéronautique et espace est publié en décembre 2003 pour une clôture fin mars 2004 et pour un budget de 300 M€ pour l'aéronautique et 60 M€ pour l'espace.

Une journée nationale d'information sur le 6<sup>ème</sup> PCRD est organisée à la DGAC le 19 janvier 2004.

## Les projets transverses

Plusieurs initiatives se sont développées au cours de l'année 2003, comme le CERES, le Centre Européen des Applications de la Navigation par Satellites (CEANS) et le Centre Pédagogique d'Expérimentations Scientifiques (CPES). Ces dossiers progressent grâce à l'action déterminée de quelques acteurs. Nous mentionnons ici le CERES, en proposant d'évoquer les deux autres projets dans une prochaine édition de la Lettre.

Le CERES-AE prend peu à peu sa place dans le paysage aéronautique régional et national. Après une phase de définition des objectifs et des modes de fonctionnement du réseau, celui-ci est désormais devenu actif.

Rappelons que le Centre d'Études et de Recherches Économiques et Sociales pour l'aéronautique et l'espace est avant tout un réseau d'équipes de recherches issues de la sphère publique et amenées à se pencher sur des problématiques propres à l'aéronautique et à l'espace. Ce réseau leur permet de se présenter collectivement vis à vis d'une demande exprimée elle aussi le plus souvent de manière collective : groupement professionnel, collectivité territoriale, etc. Sans s'opposer aux analyses économiques des industriels eux-mêmes, qui sous-tendent généralement des études de marché, un tel centre pourra traiter en profondeur les aspects plus sociétaux ou prospectifs. Les équipes membres de ce réseau, basées à Paris, Toulouse, Bordeaux et Nice, couvrent la plus grande partie des territoires aéronautiques nationaux. Ces équipes sont membres du CNRS, des universités ou des grandes écoles, et couvrent un champ disciplinaire large allant de l'économétrie aux sciences du comportement. L'originalité de la démarche du CERES est la confrontation des besoins des utilisateurs de la recherche avec les objectifs des laboratoires. Quatre rencontres de ce type ont déjà été organisées à Toulouse, Paris, Bordeaux et Sophia Antipolis. Ces rencontres ont permis aux chercheurs de mieux mesurer les attentes des professionnels et à ceux-ci de mieux cerner les potentiels des laboratoires, mais aussi les contraintes qui pèsent sur eux et de préciser les frontières entre la recherche et le conseil. Première initiative ayant reçu l'aval des professionnels comme des chercheurs, le CERES devrait piloter prochainement un travail approfondi d'analyse sur les bassins aéronautiques émergents dans le monde. Cette question est aujourd'hui considérée comme primordiale tant par les décideurs régionaux ou locaux amenés à appuyer des projets de développement que par les industriels. Pour les chercheurs, c'est une question qui rentre dans une préoccupation plus large sur les conditions d'émergence de nouvelles compétences localisées et sur les stratégies d'enracinement territorial ou de nomadisme des entreprises dans le contexte global dit de «mondialisation».



François JOUAILLE  
Directeur du CNRT-AE

## ■ La politique spatiale européenne : les enjeux stratégiques

PAR JEAN JAMET

Un certain nombre de manifestations ont eu lieu récemment ayant pour thème la politique spatiale de l'Europe avec, comme corollaire, ses enjeux industriels et ses conséquences à moyen terme. Le premier séminaire qu'il convient de citer est le séminaire PROSPACE du 17 septembre, puis les entretiens du CHEAR, Armement et Sécurité du 18 septembre, le 36<sup>ème</sup> Forum d'Iéna organisé par le Conseil Economique et Social le 25 septembre, enfin la journée organisée par l'association CED (Culture, Economie Défense) et l'AAAF, le 2 octobre dernier, au Cercle des Armées.

### 2003 : un tournant dans la politique spatiale européenne ?

Il est à noter que l'on assiste probablement en cette année 2003 à un tournant dans la politique spatiale européenne après la crise qui perdure depuis 2000. En effet de nombreux événements de 2003, laissant supposer que cette année et les années futures devraient se présenter sous de meilleurs auspices. Ce constat peut être fait à la fois pour l'espace civil et pour l'espace militaire.

Les enjeux ne sont plus aujourd'hui français uniquement mais européens.

A ce titre, trois événements principaux survenus en 2003 conduisent à faire preuve d'un certain optimisme pour l'avenir spatial de l'Europe.

### Le livre vert sur la politique spatiale européenne

Le premier événement se produisit dès janvier dernier lorsque la Commission européenne et l'Agence spatiale européenne ont fait paraître le livre vert «Politique spatiale européenne» dont la finalité est de réfléchir sur son devenir après ces dernières années difficiles. Comme bon nombre d'intervenants dans ces manifestations, le Conseil Économique et Social européen s'est félicité de cette prise de conscience tout en soulignant les forces et faiblesses de cette activité en Europe. L'espace militaire est ici dissocié de l'espace civil, les deux activités ne pouvant pas à l'évidence être placées sur un même niveau eu égard à leur maturité respective.

Un certain nombre de remarques font l'unanimité des différents intervenants :

- insuffisance chronique des marchés institutionnels européens, par com-

paraison au marché commercial : pour citer quelques chiffres : le marché commercial européen représente environ la moitié du marché global spatial (2,4 Md\$ pour les clients commerciaux pour un marché total de 5 Md\$). Si l'on compare avec la situation aux États Unis le marché commercial ne représente que 14% du marché de l'industrie spatiale américaine qui s'élève à 24 Md\$ soit un marché environ 5 fois plus important ;

- en termes de budgets la situation n'est pas plus surprenante : les chiffres sont rapportés en Md\$ pour les activités civiles et militaires :

Ces chiffres induisent des conséquences pour l'Europe, qui mettent en exergue sa vulnérabilité :

#### Budgets comparés en Md\$

	USA	Europe
Espace civil et institutionnel :	15	5
Espace militaire :	17,5	0,7/0,8
Défense antimissile :	9	0

- dépendance à l'égard du marché commercial : à titre d'exemple la chute du marché des télécoms depuis un an ou deux place l'industrie européenne dans une situation de crise (licenciements, perte de savoir faire et de crédibilité sur le marché mondial) ;

- les programmes de défense ne pallient en rien cette chute d'activité, compte tenu de sa faiblesse chronique ;

- limitation des investissements dans les nouvelles technologies entraînant, à terme, une dépendance vis-à-vis de nos voisins d'outre-atlantique.

Cette situation a des origines multiples parmi lesquelles il convient de citer tout d'abord le manque de volonté politique de l'Europe qui ne dispose sans doute pas d'une organisation permettant des prises de décisions ambitieuses. Le rapprochement de l'Union européenne et de l'Agence spatiale européenne devrait faciliter le processus. En outre, le domaine spatial n'intéresse que les pays possédant une industrie pouvant satisfaire une demande institutionnelle et commerciale.

L'Europe a également commis quelques erreurs qui se sont révélées dans les succès commerciaux obtenus : à titre d'exemple, la vocation commercia-

le de l'espace a été très largement surestimée. Par ailleurs, le particularisme européen de l'investissement public privé conduit inévitablement à des solutions manquant de clarté. Il faut donc arriver à un partage sans équivoque des financements, car il ne peut être demandé aux industriels d'investir dans des domaines où le retour sur investissement est soit aléatoire soit trop lointain. Il est clairement admis que les infrastructures relèvent de la responsabilité des institutions et leur financement ne doit donc pas être supporté par investissements privés. (Le cas de GALILEO est l'exemple couramment cité).

### La survie de l'activité spatiale de l'Europe

Comment résoudre le problème posé à l'Europe pour contrer ce qui est appelé souvent la «Space dominance américaine» et préserver son autonomie dans ce domaine ? La survie de l'activité spatiale de l'Europe est en jeu.

L'élément primordial reste de définir une véritable politique spatiale européenne. Le projet de Convention propose de faire figurer l'espace dans son texte, prouvant ainsi la prise en compte de l'importance du sujet. Les parlementaires européens ont également un rôle à jouer pour convaincre leurs homologues des états membres ne possédant pas d'industrie.

Cependant le point positif concerne le rapprochement de l'Union européenne et de l'ESA dont l'accord cadre doit être signé incessamment. Il convient cependant de souligner que la répartition des rôles doit être clairement établie entre les différentes institutions, afin de ne pas brouiller les messages lors des prises de décision et, retarder ainsi l'engagement et l'avancement des programmes. Ceci conduit inévitablement à une évolution du rôle de l'Agence spatiale européenne. Il est également nécessaire de fédérer les compétences et les énergies pour dégager une politique spatiale indépendante ambitieuse et solide. Si celle-ci est affichée, les problèmes liés aux budgets se trouveront pratiquement résolus. Elle permettra d'offrir de nouveaux services à nos concitoyens, de faire progresser la société et de favoriser l'émergence de nouveaux besoins. S'agissant de l'industrie, elle doit poursuivre sa restructuration et garder le souci d'une compétitivité toujours

accrue. Pour cela la création de pôles de compétences en évitant les doublons reste un objectif à atteindre. Cette démarche est applicable dès la conception et le développement.

### Les décisions arrêtées en 2003

Le deuxième événement de l'année fut le conseil ministériel de L'ESA le 27 mai dernier. Un certain nombre de décisions importantes y ont été arrêtées :

- poursuite de la stratégie d'accès autonome à l'espace en votant un plan de remise à niveau d'Ariane 5 ;
- le programme EGAS (European Guaranteed Access to Space) ;
- le plan de restructuration du secteur lanceurs : réduction des coûts, réorganisation et redistribution des responsabilités.

En outre, les perspectives du secteur européen des lanceurs a été adopté (FLPP Future Launchers Preparatory Programme), ainsi que l'implantation de Soyuz en Guyane.

- Poursuite du programme d'exploitation de la station spatiale internationale (ISS) pour terminer la réalisation de l'ATV ;
- S'agissant du programme GALILEO, un accord est intervenu pour le lancement de la phase préliminaire conduisant à la réalisation des deux premiers satellites pour 2005. Il est en effet primordial de pouvoir occuper les fréquences allouées dès que possible. Il est cependant important de souligner que des problèmes de fréquences subsistent avec les Etats-Unis, en ce qui concerne celles pouvant être utilisées dans le domaine militaire (PRS).

Ce programme est une somme de grands défis pour l'Europe. C'est en premier lieu un grand programme industriel générant un chiffre d'affaires de 25 Md€, en croissance de 25% par an, soit 300 Md€ en 2015/2020.

C'est également :

- en réussissant la mise en place d'une infrastructure aussi stratégique, une opportunité pour l'Europe de s'affirmer comme une grande puissance en politique étrangère ;
- la réalisation du premier grand programme à l'échelon européen ;
- une occasion de réussir le particularisme public privé par un investissement à long terme. Il conviendra donc de veiller aux retombées industrielles ;
- la négociation des coopérations internationales (avec les Etats-Unis et la Russie pour rendre les systèmes GPS, GLONASS et GALILEO interopérables), ainsi que la demande de certains pays à participer au dévelop-

pement du projet (la Chine propose de financer à hauteur de 260 M€, et offre aussi des services de lancement) ;

- la nécessité de satisfaire un système universel avec un signal gouvernemental réglementé ;
- l'obligation d'assurer une continuité de service pour les utilisateurs ;
- la possibilité d'offrir un service commercial par un financement privé ;
- le pari de réussir à traiter le problème complexe de la sécurité (interdiction d'utilisation à des fins malveillantes) ;
- Enfin la négociation avec les pays potentiellement utilisateurs.

### Le livre blanc sur l'avenir de la politique spatiale européenne

Le troisième volet de ces événements majeurs sera la parution du livre blanc en fin d'année 2003. Au delà des grandes lignes de la politique spatiale européenne qui sera publiée par la Commission européenne et approuvée par le Conseil et le Parlement européen, ce livre blanc comprendra un plan d'actions concrètes incluant les programmes ainsi que l'organisation retenue pour les mener à terme.

### L'Europe spatiale de défense

Une démarche similaire est adoptée pour analyser les problèmes liés à l'Europe spatiale de défense. Ce domaine est actuellement très en retrait de l'espace civil. L'utilité des moyens spatiaux n'est plus à démontrer dans le domaine essentiel de la gestion des crises, mais aujourd'hui l'Europe ne peut encore démontrer sa volonté de s'équiper en capacités satellitaires pour gérer sa sécurité. Les seuls programmes en coopération ont fait l'objet de coopérations bi ou trilatérales, dans lesquelles la France a toujours joué un rôle moteur. Une des raisons réside dans la volonté politique inexistante de bon nombre d'états membres à acquiescer une certaine autonomie vis-à-vis des Etats-Unis en matière de défense. De ce fait, l'écart entre les capacités spatiales européennes et US est considérable. L'Europe doit répondre à la question de l'organisation de sa défense : doit-elle créer un système de défense européen avec des passerelles nationales, ou bien se doter d'un système de défense en coopération avec les Etats-Unis ? Il est encore temps de choisir avant que les faits nous imposent la réponse.

L'espace participe aux quatre fonctions opérationnelles de la défense : la dissuasion, la prévention, la projection, et la protection. Le problème posé ne répond pas à des questions budgétaires, mais de volonté politique. Un système spatial complet de défense nécessite 9 Md€ sur 15 ans ; avec une contribution française de 30% cela représente un effort financier annuel moyen de 240 M€, compatible avec nos budgets actuels. Les systèmes correspondants couvrent les télécommunications, l'observation, la participation à GALILEO pour le PRS, l'écoute, la surveillance de l'espace, et l'alerte avancée, soit l'ensemble des besoins recensés.

Une solution possible serait d'utiliser autant que faire se peut, des satellites mixtes ce qui a déjà été fait dans le domaine des télécommunications.

La création d'une agence de sécurité et de défense fédérant tous les partenaires européens permettrait d'accéder à une autonomie de décision de l'Europe dans la gestion des crises.

### Conclusion

En conclusion, l'Europe semble engagée sur une voie prometteuse pour que l'activité spatiale ait un nouvel essor, mais de nombreux efforts restent à accomplir pour satisfaire ses ambitions. Ils seront à poursuivre dans la durée et devront prendre en considération les moyens dont la défense a besoin pour que l'Europe puisse s'élever au rang des grandes puissances mondiales.



Jean JAMET  
Membre AAAF

- 5 mai 2002, plaines du Kazakhstan : Roberto Vittori vient de sortir de la capsule Soyuz TM-33. (Photo ESA - S. Corveja)



## Le professeur GOETHALS nous écrit

J'ai demandé à la LETTRE AAAF de diffuser à nos lecteurs un courrier que m'a adressé le Professeur GOETHALS dans lequel il donne les raisons de son départ de l'AAAF. Comme il le rappelle opportunément, le Professeur GOETHALS a joué un rôle éminent dans l'enseignement de l'aérodynamique en France et dans la valorisation des métiers de l'aéronautique par son action de premier plan au sein de l'AFITAE et de l'AAAF. Qu'il me soit permis ici, au nom de notre président, de notre conseil d'administration et de tous les membres de notre association de lui témoigner à la fois toute notre émotion et toute notre reconnaissance.

Gérard LARUELLE  
Secrétaire général de l'AAAF

M. le Professeur  
Raymond GOETHALS  
À l'attention de  
M. Gérard LARUELLE  
Secrétaire Général de l'AAAF

Je réponds après beaucoup d'hésitations, et un retard que je vous prie d'excuser, à votre lettre du 8 septembre 2003.

Vous avez raison de demander les motifs qui font qu'un membre vient à quitter une société à laquelle il a si longtemps participé. En ce qui me concerne, ces raisons sont exclusivement personnelles et ne comprennent aucun grief vis à vis de l'AAAF. J'ai maintenant plus de 82 ans et je suis en retraite depuis 1984, habitant Poitiers. Je suis éloigné de tout groupe dense et actif lié à l'Aéronautique.

Permettez moi de vous rappeler que j'ai été membre de l'AFITAE courant

1947 pendant que je préparais ma thèse puis à la direction de la soufflerie sonique à l'Institut Aéronautique de Saint-Cyr. Ma carrière universitaire m'a amené à mettre en route l'aérodynamique, enseignement et recherche, à Poitiers. Ceci m'a permis d'y monter une section locale de l'AFITAE puis de participer avec mon ami le professeur MANSON à créer une section de la SFA qui ont donné l'AAAF que j'ai dirigée pendant une quinzaine d'années.

Grâce surtout à la section d'Aérodynamique dont j'ai organisé plusieurs colloques, je dois à notre société beaucoup d'amis et d'excellents souvenirs.

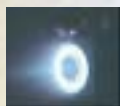
Hélas, tout ceci appartient au passé et comme pour la Société des Palmes Académiques qui représente l'autre aspect de ma carrière et des amitiés parmi les professeurs des autres disciplines, je me vois dans l'obligation de laisser ma place aux membres plus jeunes et plus actifs.

Je garde encore un excellent souvenir de la petite AAAF qui a énormément grandi et s'est concentrée sur ses localisations essentielles et je vous souhaite de tout cœur le succès que méritent les jeunes qui en sont maintenant les moteurs.

J'ajoute que ce n'est pas sans une certaine émotion que je termine cette lettre en adressant à ceux que j'ai connu et à vous-même mes bien sincères salutations.

Raymond GOETHALS  
Membre Emérite AAAF

## Le PPS® 1350 dépasse les 1000 heures de fonctionnement sur Smart 1



La LETTRE AAAF N°4-2003 donnait des NOUVELLES DE... SMART1, la sonde de l'ESA, en route vers la Lune.

Des lecteurs attentifs et avertis ont regretté l'absence de mention des développeurs du système de propulsion plasmique de cette sonde expérimentale, susceptible d'être utilisé pour les futures missions interplanétaires dans le système solaire : les ingénieurs de Snecma Moteurs. Nous corrigeons ici cet oubli en rappelant quelques données concernant ce moteur, le moteur plasmique PPS®1350 de Snecma Moteurs, unique à plus d'un titre.

En décembre 2003, à l'époque où nous bouclions le N°4-2003 de la LETTRE AAAF, le PPS®1350 avait franchi les 1000 heures de fonctionnement cumulé sur la sonde européenne Smart 1 : le 11 décembre 2003 à 20h00 temps universel (21h00, heure de Paris), 75 jours après son lancement depuis Kourou, la sonde atteignait sa 150<sup>ème</sup> orbite autour de la Terre, avec une vitesse de 740 ms<sup>-1</sup> (soit environ 2660 km/h) pour une consommation cumulée de seulement 16,7 kg de Xénon.

Source Snecma Moteurs

## Le premier vol d'un avion à turboréacteur de l'histoire

Ce premier numéro de la Lettre de l'année 2004 est plein de perspectives nouvelles et témoigne d'une volonté affirmée d'améliorer la liaison entre tous les membres de notre association.

Je me permets de faire une petite remarque à propos de l'un des événements passés entre 1937 et 1945, relaté sur cette intéressante page d'histoire (voir Les histoires DE L'HISTOIRE, N°1-2004).

Je crois qu'il faudrait lire que, le 27 août 1939, le premier vol du He 178 fut celui du premier avion à turboréacteur de l'histoire. En effet, le premier vol d'un avion à réaction fut celui de l'avion-fusée Heinkel He 176, le 20 juin 1939, à Peenemünde. Propulsé par sa seule fusée Walter RI-203 de 500 daN de poussée, il n'eut pas de suite et prit place au musée de Berlin après quelques vols, les dirigeants du Reich croyant que la guerre qu'ils préparaient serait courte...

Membre de l'AAAF depuis 1950, j'espère que nos jeunes collègues ingénieurs viendront plus nombreux encore s'inscrire à notre association. Votre travail et celui de vos collaborateurs, y contribueront sûrement.

Pierre ANDRÉ  
77190 Dammarie Les-Lys

### LA LETTRE AAAF

Éditeur : Association Aéronautique et Astronautique de France, AAAF  
61, av. du Château - 78480 Verneuil/Seine  
Tél : 01 39 79 75 15 - Fax : 01 39 79 75 27  
secr.exec@aaaf.asso.fr - www.aaaf.asso.fr

Directeur de la publication : Michel SCHELLER  
Rédacteur en chef : Khoa DANG-TRAN  
Comité de rédaction : Michel de la BURGADE,  
Shirley COMPARD, Claude HANTZ,  
Jacques HAUVETTE, Philippe JUNG,  
Georges MEAUZE  
Rédaction : Tél : 01 46 73 37 80 ;  
Fax : 01 46 73 41 72 ;

E-mail : lettre@aaaf.asso.fr

Ont notamment collaboré à ce numéro :

Jacques CASTAING, Fernand d'AMBRA,  
Guy DESTARAC, Isabelle DUBOIS, Richard  
HEIDMANN, Jean JAMET, François JOUAIL-  
LEC, Georges MEAUZE, Gérard PERINELLE.

Credits Photos : CEA, ONERA, ESA  
Snecma Moteurs.

Conception : Khoa DANG-TRAN,  
Sophie BOUGNON

Réalisation : Sophie BOUGNON

Imprimerie : Imprimerie CLAUDEL

Dépôt légal : 1er trimestre 2004

ISSN en cours

Droits de reproduction, texte et illustrations réservés  
pour tous pays