

## Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS

### éditorial

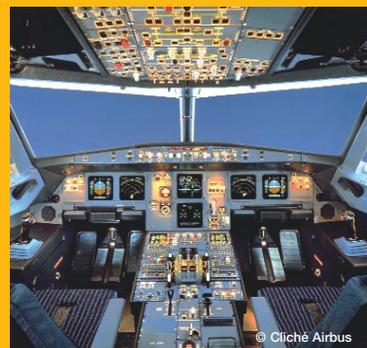
Le projet scientifique du LAAS s'articule autour des *systèmes complexes*, objets de recherche pour les travaux plurithématiques du laboratoire sur les *micro et nano systèmes*, sur la *modélisation, l'optimisation et la conduite des systèmes*, sur les *robots et systèmes autonomes*, et sur les *systèmes informatiques critiques*.

Les systèmes aéronautiques et spatiaux constituent un exemple idéal de tels objets de recherche :

- Idéal par l'importance des enjeux économiques et sociaux que ces systèmes recouvrent. L'aéronautique concrétise aujourd'hui le rêve millénaire de l'humanité de pouvoir voler. Elle concrétise pour des centaines de millions de personnes la liberté de se déplacer, de s'ouvrir aux autres, et de connaître. Les progrès de l'aéronautique, dans le respect de l'environnement, dans la démocratisation plus large du voyage aérien, contribuent aux progrès sociaux. L'espace est notre nouvelle frontière inexplorée, un champ de découverte et de connaissance de notre univers, mais est également un champ de projection et d'élaboration d'un futur proche ou lointain. L'espace est également un lieu privilégié pour observer notre planète et notre environnement, pour apprendre à les connaître, à les respecter. C'est un lieu de communication et d'échange entre nous.
- Idéal par la richesse des problèmes scientifiques et des défis technologiques qu'ils soulèvent. Les dossiers 'Commande' et 'Technologies' de ce numéro spécial de la Lettre du LAAS illustrent quelques uns de ces défis et problèmes récemment abordés dans les travaux du laboratoire.

[suite page 2]

### spécial aéronautique et espace



© Cliché Airbus

# NUMÉRO SPÉCIAL aéronautique et espace

*Lors de sa création en 1967, le LAAS s'appelait Laboratoire d'automatique et de ses applications spatiales. Créé à Toulouse, non par hasard mais dans la continuité des installations de l'Aérospatiale, du CNES et des grandes écoles d'aéronautique qui ont fait de la ville le pôle français de la recherche aéronautique et spatiale, le LAAS a toujours consacré une part importante de ses activités de recherche à ces domaines. En collaboration avec ses partenaires académiques et industriels, il contribue en particulier aux avancées de la recherche spatiale, développant notamment des méthodes et des outils pour l'observation, la planification, la supervision ou la navigation, tout comme des micro-systèmes intelligents pour la propulsion ou la communication dans l'espace.*

## Sommaire

### Editorial

par Malik Ghallab

### Actualité

**3** Unir les forces nationales et européennes dans une vision stratégique, *une interview de Jean-Marc Thomas, président d'Airbus France*

### Focus

**5** Un atelier logiciel pour le développement de systèmes temps réel

### L'art de la commande

**6** Karma, un ballon dirigeable autonome

**7** Planification et contrôle d'exécution pour des robots d'exploration planétaire

**8** Méthodes et outils pour la commande robuste des véhicules aérospatiaux

**9** Un nouveau superviseur pour des engins spatiaux plus fiables et autonomes

**10** Prévenir les oscillations d'un avion

**12** De la gestion de flottes d'aéronefs à la planification à bord de satellites

**12** Planification de missions spatiales

**14** Construction automatique de plannings de personnels pour les compagnies aériennes

**15** Allocation de ressources dans une constellation de satellites

**16** Les communications spatiales turbocodées

### Microsystèmes embarqués

**17** Prototypage virtuel de microsystèmes

**19** Micropropulseurs pour satellites miniatures

**20** Des récepteurs très sensibles pour la radioastronomie

**21** Microsystèmes intelligents pour les communications spatiales

**21** Les circuits à faible perte pour la réception des signaux

**22** Des circuits RF intelligents

**24** Intégration de microsystèmes RF

**25** Oscillateurs micro-ondes ultra stables pour PHARAO

**25** Distribution optique de références de fréquence dans un satellite

### Congrès

**26** WCC 2004 a eu lieu !

**27** Le 18<sup>e</sup> World Computer Congress, un prélude à l'informatique omniprésente

### Rubriques

**28, 29, 30, 31** Habilitations à diriger des recherches Thèses

**28, 29** A l'affiche

**30, 31** Brèves

**32** Conférences

[Edito - suite de la page 1]

• Enfin et surtout, les systèmes aéronautiques et spatiaux constituent un exemple idéal d'objets de recherche pour le LAAS, laboratoire toulousain, parfaitement intégré dans sa région et acteur majeur, dans son secteur, du développement scientifique et technologique régional. Le LAAS a pris part, dès sa création en 1967, à l'aventure aéronautique et spatiale toulousaine ; il s'efforce de contribuer au rayonnement et à la reconnaissance de Toulouse comme capitale mondiale de ce secteur.

Ce numéro spécial de la lettre du LAAS sur l'aéronautique et l'espace a été programmé il y a plus d'un an. C'est un grand bonheur pour le laboratoire que la sortie de ce numéro coïncide avec le dépôt du dossier du *Pôle de compétitivité "Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués"*, très riche en ambitions et projets porteurs, sur lesquels le LAAS s'est beaucoup mobilisé aux côtés de ses partenaires industriels et académiques. Avec tous nos lecteurs, nous souhaitons de brillants succès à tous ces projets.

Malik Ghallab

Directeur du LAAS-CNRS

Pôle de compétitivité Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués

# Unir les forces nationales et européennes dans une **vision stratégique**

*Jean-Marc Thomas, Président d'Airbus France, pilote pour la partie Midi-Pyrénées le projet de pôle de compétitivité Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués, dont le dossier vient d'être remis aux instances nationales de décision. Il répond aux questions de la Lettre du LAAS sur l'ambition du pôle, la notion de politique de site et le rôle des laboratoires de recherche dans le contexte du projet.*



© Airbus

## **Quelle est l'ambition du pôle AESE en Europe et dans le monde ?**

Le pôle, bien que s'inscrivant dans une démarche générée au plan national, a vocation à se positionner sur un plan de partenariats internationaux, et tout au moins européens.

La constitution sur le territoire français d'une zone de fortes compétences sur les plans industriel, de recherche et de formation dans les secteurs de l'aéronautique, de l'espace et des systèmes embarqués a notamment pour but de fournir à la France et à l'Europe un point de rayonnement fort à l'international sur ces domaines. Le pôle se veut être une

source d'attractivité pour les entreprises étrangères ainsi que pour les chercheurs et étudiants étrangers, par le fait qu'il rassemble sur son territoire un ensemble inégalé d'acteurs des trois secteurs d'activités et qu'il propose ainsi un bassin propice au développement économique, à l'émergence de technologies nouvelles et à la formation initiale et continue. Le pôle s'inscrira dans une démarche de partenariat avec les autres régions de France ou d'Europe ayant des activités liées (notion de "pôle étendu") et les autres pôles constitués sur des secteurs d'activités pouvant avoir des retombées sur ce pôle ou inversement (notion "d'interpôles").

## **Dans le concept des pôles de compétitivité, y a-t-il des aménagements souhaitables pour renforcer encore l'efficacité d'une politique de site ?**

Parmi l'ensemble des projets proposés dans le cadre du pôle de compétitivité Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués, certains s'appuient sur une volonté de dynamiser le tryptique industrie - formation - recherche par une politique de site : c'est notamment le cas du projet Aerospace Campus. Ce projet vise notamment à rassembler, sur la zone de Montaudran/Rangueil, une grande communauté de chercheurs et d'étu-

dians œuvrant dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace et des systèmes embarqués, ainsi qu'à fournir un ensemble de moyens facilitant le développement de PMI/PME par un soutien au transfert technologique et par la formation professionnelle par exemple.

Cette politique de site permet bien sûr de mutualiser les moyens techniques et les services, mais constituera surtout un phare pour le pôle Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués, qui rayonnera au niveau international pour inciter industriels, étudiants et chercheurs des trois secteurs d'activité à s'en rapprocher. La politique de site n'est cependant pas la seule approche envisagée en termes de compétitivité. Une approche plus globale regroupant l'ensemble des acteurs des deux régions devra permettre d'utiliser au mieux toutes les compétences disponibles pour constituer un pôle compétitif. C'est par ce deuxième type d'approche qu'ont été constituées les zones de R&D, qui recouvrent près du tiers des territoires régionaux et qui se définissent comme étant les zones abritant des industries, grands groupes, PME/PMI, et des laboratoires susceptibles de favoriser l'innovation par la recherche. Ce zonage large montre d'une part le grand potentiel d'innovation dans les deux régions et d'autre part, la volonté de tous les acteurs à vouloir s'inscrire dans la démarche de ce pôle.

***Dans cette politique de site, quel rôle voyez-vous pour les instituts, centres et laboratoires de recherche ?***

Leur rôle consiste à bien coordonner leur stratégie et politique interne avec

celle du pôle, afin de s'assurer de la cohérence des démarches engagées. L'innovation étant à la base même du pôle, le rôle des centres ou laboratoires de recherche est primordial à la compétitivité du pôle. Il faut donc pour cela que leur stratégie à long terme soit en cohérence avec la stratégie définie pour le pôle et qu'ils s'y associent en engageant les actions nécessaires, auxquelles le pôle pourra lui-même apporter son soutien : définition de programmes de recherche cohérents avec le pôle, implication dans les projets labellisés par le pôle, décentralisation (temporaire ou permanente) de chercheurs dans des laboratoires communs, création de nouveaux laboratoires, etc.

***Quel message souhaitez-vous leur communiquer ?***

Deux types de messages. Le premier est que les innovations de demain résulteront d'une part de progrès majeurs, voire de ruptures technologiques dans des thématiques de base, mais aussi des "cross-fertilisation" entre différentes thématiques où les découvertes dans un secteur d'activité généreront des progrès dans d'autres. Il faut non seulement rassembler les efforts en aéronautique, espace et systèmes embarqués, mais aussi ceux des bio et nano technologies, qui ensemble seront à l'origine des découvertes de demain sur un large front.

Le second message est que rien n'est acquis. La compétition internationale oblige à se remettre en cause, à se "challenger" sans cesse. Il importe donc d'une part d'avoir une vision stratégique et d'autre part, d'unir les forces nationales et européennes sur des enjeux fédérateurs et ambitieux. ►

## Le pôle Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués

Le pôle de compétitivité Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués est une réponse des industries, centres de recherche et centres de formation (écoles d'ingénieurs, universités, etc.) de Midi-Pyrénées et d'Aquitaine à l'appel d'offre lancé le 14 septembre dernier par le CIADT, Comité interministériel d'aménagement du territoire. Cet appel d'offre invite notamment les régions françaises à définir, proposer et mettre en œuvre une politique de site. Le projet de pôle Aéronautique, Espace, Systèmes Embarqués, piloté par Jean-Marc Thomas du côté Midi-Pyrénées et Pierre-Eric Pommellet du côté Aquitaine, en partenariat avec la plupart des établissements et entreprises concernés installés sur ces deux régions, vise notamment à mettre en synergie les travaux de recherche de tous les partenaires pour constituer un pôle compétitif aux niveaux européen et international. Le domaine d'intérêt est vaste et pluridisciplinaire, à l'image des systèmes modernes que l'on souhaite performants, fiables, robustes, non polluants, ergonomiques... Le dossier fondateur accompagné de la description des premiers projets concernés de recherche vient d'être déposé, le 28 février 2005, dans les préfectures respectives des deux régions co-candidates et devant les instances nationales pour décision et action avant l'été 2005.

# Un **atelier logiciel** pour le développement de systèmes temps réel

Les systèmes logiciels temps réel, rencontrés par exemple dans les transports aériens ou dans les domaines spatial ou nucléaire, sont souvent critiques et requièrent une analyse détaillée de leur comportement à toutes les phases de leur développement : de la conception jusqu'à l'implantation finale. Le projet Cotre propose un langage de description, un atelier logiciel et une méthodologie support pour le développement des logiciels avioniques.

L'**OBJECTIF** du projet Cotre, composants temps réel embarqués, est de proposer un atelier logiciel pour la modélisation et la validation d'architecture de logiciels temps réel. Cet atelier permet de combiner deux approches, les techniques de description formelles, issues de la recherche académique, et les techniques semi-formelles couramment utilisées dans l'industrie. Il intègre aussi le savoir faire "métier" et le processus de développement en vigueur dans le cadre du développement de logiciels avioniques.

Il n'existe actuellement pas de démarche standardisée complètement définie dans le domaine de l'architecture de logiciels temps réel, les outils de développement existants ne couvrent pas tout le domaine et sont peu inter-opérables. Par ailleurs, de nombreux travaux de recherche visent à améliorer cette activité d'architecture dans ses aspects modélisation et validation. Les développements à base de composants s'imposent de plus en plus pour la réalisation des systèmes complexes. C'est le cas dans le domaine avionique avec

l'avènement de l'Avionique Modulaire Intégrée. L'apparition des ADLs (Architecture Description Languages) contribue à ce mouvement.

En cohérence avec ces travaux, et tout en intégrant les standards reconnus et utilisés par la communauté industrielle du logiciel temps réel, Cotre propose un langage de description d'architecture associé à une démarche intégrée, utilisable à l'échelle industrielle, qui garantit la continuité et la traçabilité depuis la phase de conception jusqu'à celle de l'implantation du logiciel sur sa cible réelle.

Le langage Cotre permet, d'une part de représenter l'architecture du système et le comportement de ses composants, et d'autre part d'exprimer les propriétés attendues des composants et leur environnement présumé. A partir de ces spécifications en langage Cotre sont dérivées des spécifications formelles d'architecture, de comportement et de propriétés qui sont soumis à des outils de simulation, vérification. Une fois la vérification terminée, des outils de génération de jeux de tests pourront être mis en œuvre pour préparer les tests d'une future implémentation. Le projet n'a pas cherché à bouleverser les méthodes, outils et concepts existants, il propose au contraire une évolution de techniques déjà bien implantées dans l'industrie. Ainsi, le langage COTRE est conforme au standard "Avionics Architecture Description Language" (AADL) en cours de normalisation par le sous comité AS-2C du SAE (Society for Automotive Engineers). Inversement, des contributions issues du partenariat COTRE, relatives à l'expression du comportement ont été intégrées pour la prochaine évolution du standard AADL.

En termes de retombées, chaque partenaire a bénéficié du partenariat

noué à l'occasion de ce projet. La société TNI voit renforcer ses compétences techniques et son potentiel de recherche et développement. Airbus France, qui a fourni l'étude de cas servant de base aux travaux, exploitera les résultats dans le cadre des programmes A380 et A400M et dans les projets de ré-industrialisation de calculateurs avioniques sur les A320 et A330/340. Les laboratoires académiques ont étendu les techniques de modélisation et de validation d'architecture du logiciel temps réel. Ils peuvent évaluer, dans un contexte industriel, la pertinence et les limites de nouveaux concepts du génie logiciel critique. ▀



Cotre est un projet du Réseau national des technologies logicielles, RNTL

#### Les partenaires

- ▀ EADS Airbus SA, maître d'œuvre
- ▀ TNI-Valiosys, éditeur d'outils spécialisé dans la modélisation d'architecture de logiciels temps réel
- ▀ ENST Bretagne, école nationale supérieure des télécommunications
- ▀ IRIT, Institut de recherches en informatique de Toulouse
- ▀ ONERA, Centre de Toulouse
- ▀ LAAS-CNRS

Les trois établissements d'informatique toulousains agissant au sein de Féria, fédération de recherche en informatique de Toulouse

#### CONTACT

François Vernadat  
courriel : vernadat@laas.fr

# L'art de la commande

*Pour de nombreux phénomènes ou systèmes physiques, un avion par exemple, il existe des paramètres qui permettent de modifier partiellement ou complètement l'état de la physique du phénomène ou du système : la puissance du moteur, l'inclinaison du manche... Ces paramètres sont souvent appelés commandes. L'art de la théorie de la commande est l'étude de la commande à appliquer pour obtenir telle ou telle propriété du système. Exemple dans le cas d'un Airbus en vol : comment atterrir à Blagnac ?*

© Airbus

## Karma, un ballon dirigeable autonome

**Pionnier dans la robotique d'exploration en milieu hostile, le LAAS se lance aujourd'hui dans la robotique aérienne.**

**Le dirigeable autonome Karma est capable de construire une carte de l'environnement qu'il survole et de se localiser dans cette carte. À terme, il devra coopérer avec des robots terrestres pour remplir conjointement des missions d'exploration et de surveillance.**

**L**E LAAS a commencé à s'intéresser à la robotique en environnements extérieurs dès la fin des années 80, en s'intéressant alors plus particulièrement à la robotique d'exploration planétaire. Après quinze années de recherches sur la navigation autonome, d'autres contextes applicatifs plus proches de nous sont désormais considérés : ils concernent essentiellement l'intervention et l'exploration en milieux hostiles.

Mais les robots terrestres resteront toujours "myopes", car ils ne peuvent

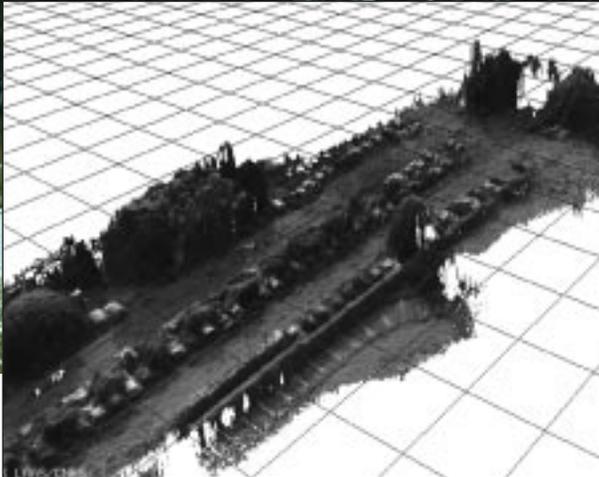
acquérir des informations que sur l'environnement qui leur est proche. Pour les différentes missions qu'ils ont à accomplir, ils ont intérêt à être assistés par des engins aériens évoluant à basse altitude, voire à collaborer avec eux. Ces engins aériens doivent alors être dotés de capacités d'autonomie, qui vont au-delà des automatismes des drones existants : alors que ces derniers exécutent des trajectoires préprogrammées, un engin aérien autonome doit être capable de réaliser des

missions en adaptant ses actions à l'environnement survolé et aux évolutions des robots terrestres.

Pour aborder l'étude de ces problèmes, le LAAS a conçu et développé un ballon dirigeable d'une longueur de 9.50 m, capable d'embarquer l'ensemble des instruments nécessaires au développement de son autonomie : GPS, compas, centrale inertielle, capteur de vitesse de vent, banc stéréoscopique, et bien entendu calculateur de bord. Les principaux intérêts d'un ballon dirigeable sont sa grande charge utile, sa stabilité en vol et la facilité de sa mise en œuvre.

Les premiers travaux réalisés au laboratoire portent sur la commande du vol, visant à rendre le dirigeable capable de suivre une trajectoire définie par une succession de points de passage. La difficulté est due aux erreurs sur l'estimation des paramètres de son modèle dynamique, et à la présence de perturbations aérodynamiques. D'autres travaux portent sur

Le ballon dirigeable Karma lors d'un essai de vol



Cartographie 3D du parking du LAAS réalisée lors d'un vol du ballon

la construction en temps réel d'un modèle tridimensionnel à très haute résolution de l'environnement survolé, sur la base de séquences d'images stéréoscopiques. Les avancées ont consisté ici à définir des algorithmes qui estiment la position du ballon avec une précision de quelques centimètres lors de ses évolutions, ce que ne permet pas un système GPS de faible coût. Ceci a pu être résolu grâce au développement de techniques dites de "cartographie et localisation simultanées", qui exploitent la carte en cours de construction pour localiser le ballon.

Les travaux autour de ce premier robot aérien ont permis de nouer de nouvelles collaborations et de participer à différents autres projets, dont

le projet européen Comets qui porte sur la coopération entre drones dans un contexte de surveillance de feux de forêts. Ces activités s'orientent actuellement vers l'étude de la coopération entre robots terrestres et aériens pour la réalisation autonome de missions en environnements hostiles. ▶

#### POUR EN SAVOIR PLUS

<http://www.laas.fr/RIA>,  
rubrique "Projects"

#### CONTACT

Simon Lacroix  
courriel : [Simon.Lacroix@laas.fr](mailto:Simon.Lacroix@laas.fr)

#### CONTACT

Felix Ingrand  
courriel : [felix@laas.fr](mailto:felix@laas.fr)

## Planification et contrôle d'exécution pour des robots d'exploration planétaire

Lors de la mission MER (NASA), les robots Spirit et Opportunity ont montré des capacités de navigation autonome que n'avait pas leur grand frère Sejourner. Toutefois, cette autonomie reste limitée. Chaque jour, le plan de toutes les activités (déplacement, perception, expérimentation scientifique, communication) de la journée martienne du robot lui était transmis pour exécution. Les futures missions Exomars (ESA) et MSL (NASA) devront aller plus loin dans l'autonomie. On ne parle plus de parcourir 20 mètres par jour, mais 150. On n'envisage plus d'attendre de longues heures un ordre de la terre dès que le robot rencontre un imprévu, mais on attend du robot qu'il sache se "reprendre" en cas d'échec. Cette nouvelle génération de robot devra être plus autonome : planifier, contrôler la bonne exécution de son plan, et le cas échéant, le réparer ou le reconstruire. Ces plans doivent prendre en compte les contraintes temporelles (fenêtres de communication avec les orbiteurs ou la terre, vitesse de déplacement, etc.) et la disponibilité des ressources sur la plateforme (puissance, énergie, etc.). Cette problématique de planification temporelle est étudiée depuis de nombreuses années au LAAS et a donné lieu au développement du planificateur IxTeT. Plus récemment, elle a été étendue pour prendre en compte l'exécution du plan, et en cas d'échec, la réparation ou la replanification. Ainsi nos robots sont capables de planifier et d'exécuter de façon autonome des missions de navigation et de prises d'images similaires à celles de Spirit et Opportunity. Ces travaux ont donné lieu à une thèse (Dr Solange Lemai-Chenevier, Juin 2004) qui a obtenu le prix Léopold Escande, et se poursuivent à travers une collaboration avec le centre de recherche de NASA Ames.

## Méthodes et outils pour la commande robuste des véhicules aérospatiaux

Les missions scientifiques et commerciales spatiales nécessitent l'optimisation du compromis entre la réduction des coûts et l'augmentation des performances. Les systèmes de commande embarqués se trouvent naturellement au cœur de ce compromis.

**L**E SOUCI d'industrialisation de l'espace conduit les opérateurs à diminuer les coûts de développement, de certification et d'exploitation. Par ailleurs, on attend des instruments embarqués comme du véhicule propre toujours plus de précision et de robustesse, pour des missions de plus en plus exigeantes. Le cahier des charges issu de spécifications contradictoires aboutit à une étape de conception de ces systèmes de commande particulièrement délicate à formaliser de manière systématique. Les systèmes physiques issus du domaine spatial sont caractérisés par des dynamiques complexes dues à la flexibilité des structures concernées (gain de poids), dues à la présence de nombreuses perturbations peu ou mal modélisées et dues à la prise en compte de capteurs/actionneurs imparfaits. Les critères de performance à satisfaire sont, quant à eux, multiples (précision de pointage et isolation vibratoire des instruments de mesure scientifique, amortissement des modes souples et des modes de ballonnement dans la bande passante de commande afin d'éviter tout risque sur la structure, rejet des perturbations gravitationnelles). Même si ces critères peuvent être directement ou indirectement traduits en termes de précision et de rapidité de la réponse de signaux caractéristiques et de marges de robustesse, il n'en reste pas moins que leur prise en compte homogène peut s'avérer problématique.

Dans le même temps, la théorie de la commande a atteint un degré de maturité théorique important permettant ainsi son transfert vers des

applications réalistes. Ainsi, dans le cadre linéariste, les récentes avancées ont permis de formaliser d'une part l'écart entre système physique et modèle mathématique à travers la notion de modélisation incertaine et d'autre part de systématiser la caractérisation des comportements des systèmes de commande par la définition de multiples niveaux de performance. Ce transfert a d'autre part été favorisé par l'émergence simultanée des outils de résolution numériques associés, essentiellement fondés sur les techniques d'optimisation continue les plus récentes. Il paraît donc que la confrontation des problématiques de commande issues du domaine spatial avec les résultats théoriques et outils numériques récents obtenus en théorie de la commande robuste doit permettre d'une part, le transfert technologique de techniques de commandes sophistiquées et d'autre part, l'enrichissement des problématiques théoriques abordées en recherche.

Le projet ne se substitue pas aux usuelles procédures de transfert de technologie mais de permettre aux équipes membres de développer une réflexion scientifique commune sur des sujets ciblés dans le domaine spatial. Les études menées sont donc essentiellement de nature théorique et académique même si cela n'exclut pas une origine applicative. Le travail a été mené en 2003-2004 dans le cadre d'une action spécifique du département STIC et doit naturellement conduire les différents partenaires à proposer des prolongements tant au niveau national qu'europpéen. ■



© Cliché Arianespace

*Optimiser le compromis entre la réduction des coûts et l'augmentation des performances*

### Initiateurs du projet

- ▶ Denis Arzelier et Dimitri Peaucelle

### Equipes académiques

- ▶ CRAN-UMR7039
- ▶ Université de Delft
- ▶ ENSICA-Département avionique et systèmes
- ▶ LAAS-CNRS UPR 8001
- ▶ LAP, Bordeaux
- ▶ Linköping Universitet
- ▶ ONERA-Centre de Toulouse
- ▶ SUPELEC-Centre d'Automatique
- ▶ Université d'Erlangen-Nuremberg
- ▶ UTIA (Prague)

### Equipes industrielles

- ▶ Alcatel Space (Cannes)
- ▶ Astrium (Toulouse)
- ▶ CNES - Centres de Toulouse et d'Evry
- ▶ EADS LV (Mureaux)

### CONTACT

Denis Arzelier  
courriel : arzelier@laas.fr

## Un nouveau superviseur pour des engins spatiaux plus fiables et autonomes

A l'heure où l'on parle de reconquête de la lune et de missions vers Mars et les mondes au-delà, l'autonomie des engins spatiaux : satellites, engins d'exploration de planètes, bases planétaires est un défi à relever par l'industrie spatiale. L'accroissement de l'autonomie est en effet une condition sine qua non autant pour mener à bien les missions d'exploration scientifique que pour répondre aux contraintes économiques concernant les applications spatiales de grande échelle comme les constellations de satellites de télécommunications.

L'**AUTONOMIE** complète d'un engin spatial suppose de le pourvoir de capacités d'adaptation et de réaction à des événements imprévus. Elle met en jeu un ensemble de tâches, jusqu'à maintenant effectuées par les opérateurs depuis le sol, comme la prise de décision et son exécution, la planification d'activités, la navigation, la gestion de ressources, la surveillance, le diagnostic et la reconfiguration. Le transfert de ces tâches à bord doit permettre de traiter davantage d'informations, n'étant plus limitées par les contraintes de transmission entre le bord et le sol (débits, périodes de visibilité...), améliorant ainsi la surveillance du système et la capacité de réaction de l'engin à des événements imprévus. Il doit permettre également de libérer les opérateurs d'activités routinières au profit d'opérations exceptionnelles ou requérant une expertise. Ainsi, les systèmes autonomes doivent être plus fiables, moins chers et moins dépendants des commandes humaines.

### Des catastrophes dues à de "petites" fautes

Les avancées récentes de la conquête spatiale ont été troublées par la perte de plusieurs satellites et sondes à cause de pannes à leur bord. Le CNES a perdu SPOT-3 il y a quelques années, et plus récemment son nouveau lanceur, Ariane-5. La NASA a perdu Mars Polar Lander (MPL) et Mars Climate Orbiter (MCO), ainsi que deux Deep-Space-2 (DS-2) lors de

l'entrée de ces engins dans l'orbite ou l'atmosphère martienne. Les analyses ont révélé qu'un ensemble de "petites" fautes était responsable des résultats catastrophiques. Ces scénarios, mis en regard des sommes engagées pour la réalisation d'un projet spatial, apportent la preuve de l'importance des tâches de *surveillance* et *diagnostic* qui dotent en permanence l'engin d'une "conscience de son état", en termes de ses sous-systèmes et composants ainsi que de la *reconfiguration* qui dote l'engin d'une capacité réactive à se remettre dans un état nominal suite à l'occurrence d'une faute. On regroupe ces tâches sous l'appellation FDIR (*Fault Detection, Isolation and Reconfiguration*) dans le monde industriel du spatial.

Le LAAS contribue depuis plusieurs années à cet axe de recherche qui fait l'objet de collaborations académiques et industrielles. Les premiers travaux ont débuté en 1998 par une étude "Diagnostic et décision" pour le CNES en collaboration avec le LIPN (Laboratoire d'Informatique de Paris Nord). Ils ont été suivis par des travaux de thèse en partenariat avec le CNES et ASTRIUM, établissant dans le cadre d'un post-doc une passerelle avec la NASA. En parallèle, une étude a été réalisée en 2002 pour l'ESA sur la caractérisation des technologies intervenant dans les modules FDIR dans le contexte des besoins en autonomie pour les futures constellations de satellites. Ils se poursuivent aujourd'hui dans le cadre de l'EPML "Diagnostic et Spatial" mise en place par le département STIC du CNRS début 2004.

### Un nouveau superviseur

La contribution essentielle du LAAS a porté sur la définition et la réalisation d'un superviseur, Koala, basé sur une nouvelle approche, qui couple un estimateur d'état incertain avec un moteur de raisonnement logique basé sur la cohérence. Le problème du diagnostic, c'est-à-dire de la recons-



Illustration du satellite Microscope

© CNES - juin 2003/illustration D. Ducros

truction de l'état du système à partir des observations et des commandes, est résolu par l'utilisation de modèles hybrides, qui mêlent une dynamique continue avec une dynamique discrète, et en étendant la théorie existante du diagnostic basé sur la cohérence de l'Intelligence Artificielle au cas des modèles hybrides. Le LAAS a ainsi contribué à une nouvelle représentation hybride incertaine, dans laquelle l'incertitude est ensembliste pour les variables et paramètres continus, et sous la forme de probabilités sur les déclenchements des transitions au niveau discret. La superposition d'un automate discret avec des contraintes logiques qualitatives et/ou des équations continues modélise le comportement d'un composant physique. Ces fragments de modèle sont composés de manière concurrente dans le modèle complet du système physique. Cela permet d'appréhender la complexité actuelle des systèmes, en permettant de modéliser un large éventail de composants, des équipements mécaniques et électroniques aux composants logiciels.

Le concept central de l'interface entre le niveau continu et le niveau à événements discrets est celui de *configuration* qui découpe naturellement l'espace d'état hybride en des sous-régions bien caractérisées. Ces régions sont faciles à prédire, et la présence du système y est simple à vérifier. La version qualitative d'une

configuration permet l'extension de la théorie existante du diagnostic logique, et la mise au point d'un algorithme qui alterne une recherche progressive dans l'espace hybride avec la vérification de la cohérence des résultats.

Après qu'un ensemble de diagnostics ait été identifié, les travaux ont montré comment extraire les fonctionnalités perdues du système afin d'identifier des configurations à même de rétablir une activité normale ou légèrement dégradée au niveau du système physique en recherchant une séquence d'actions hybrides qui émanent de la résolution d'un problème de "contrôle hybride" couplant des aspects de planification et de commande.

Cette approche a été testée sur le système de contrôle d'attitude et d'orbite (SCAO) d'un satellite d'observation de la Terre. Une réflexion est actuellement en cours pour l'appliquer au SCAO du satellite Microscope pour le diagnostic des propulseurs. ▶

#### CONTACT

Louise Travé-Massuyès  
courriel : [louise@laas.fr](mailto:louise@laas.fr)



Diagnostic, suivi et reconfiguration avec le logiciel KOALA - Satellite Spot 5

## Prévenir les oscillations d'un avion

Dans le cadre de Garteur (voir ci-contre), le LAAS participe à un groupe de travail dont l'objectif est l'étude de techniques avancées d'analyse et de synthèse en vue de prévenir les oscillations d'un avion dues à l'action du pilote. Les équipes académiques ont pour rôle d'évaluer et de proposer des techniques permettant de pallier les effets des non-linéarités dans les systèmes de contrôle d'un avion, afin que celles-ci soient testées sur les simulateurs de vol, permettant ainsi d'en améliorer la fiabilité. Ainsi, un avion ayant passé avec succès les procédures d'analyse et de test sera considéré comme opérationnel. Ces travaux font donc appel d'une part à des recherches sur de nouvelles méthodes d'analyse et de compensation, mais aussi à une partie algorithmique, et enfin à une validation sur simulateur expérimental (simulateur de vol).

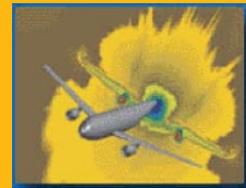
La saturation de l'actionneur, en amplitude et en dynamique, constitue l'une des non-linéarités significatives les plus rencontrées dans les systèmes de commande. Dans la littérature, un certain nombre d'exemples sont développés afin de montrer les conséquences, parfois dramatiques, de la négligence, lors de la conception des boucles de commande, de telles non-linéarités. En particulier, différents crashes d'avions prototypes à haute manoeuvrabilité (YF-22 en avril 1992 ou Gripen JAS 39 en août 1993) ont été le résultat de l'apparition de fortes oscillations dans le système induites par la saturation des actionneurs, le pilote les ayant trop

GARTEUR

### Garteur, un groupe de travail européen de recherche en aéronautique

GARTEUR (Group for Aeronautical Research and Technology in Europe) est une organisation européenne de recherche en aéronautique fondée en 1973 et impliquant sept nations : France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Espagne, Suède et Royaume-Uni. L'organisation permet de mettre en place des réunions de travail fédérant une activité de recherche et développement à long terme, dans le but d'affirmer la compétitivité de l'industrie aéronautique européenne.

Les activités sont structurées en quatre grands domaines de compétences : aérodynamique, systèmes mécaniques de vol et intégration, hélicoptères, structures et matériaux.



*Un projet GARTEUR est la formation d'un groupe de travail européen pour apporter des solutions sur des problèmes posés dans le contexte aéronautique.*



© Airbus

sollicités. L'équipe du LAAS-CNRS a donc pour objectif de proposer des techniques d'ajout ou modification de boucle dans la boucle de commande, afin de préserver autant que possible les performances requises et la stabilité de l'avion en dépit de la saturation des actionneurs. Ce type de technique s'appelle "anti-windup". Cette approche est complémentaire de celle développée par l'équipe de l'Université de Leicester.

Le groupe actuellement en place (référéncé avec le titre "Pilot-in-the-Loop Oscillations – Analysis and Test Techniques for their prevention") constitue la phase 2 d'un précédent

groupe (1999-2002) et est sur un horizon de 3 ans (octobre 2003 - septembre 2006). Ainsi les problèmes restants identifiés précédemment seront abordés par le nouveau groupe.

#### CONTACT

Sophie Tarbouriech  
courriel : tarbour@laas.fr

# De la **gestion** de flottes d'aéronefs à la **planification** à bord de satellites



*L'aéronautique et l'espace posent des problèmes complexes de décision, d'optimisation et de gestion de ressources, tant dans le domaine spatial que dans celui du transport aérien. Plusieurs projets de recherche au LAAS s'intègrent dans ces problématiques, de la gestion de flottes d'aéronefs pour les compagnies aériennes, à la planification à bord des satellites.*

## Planification de missions spatiales

Dans un engin spatial, les ressources en énergie, temps et mémoire, sont limitées et peu flexibles, posant des problèmes complexes de décision et d'optimisation lors des phases de planification de missions spatiales. Des méthodes issues de la recherche opérationnelle et de l'intelligence artificielle permettent d'aborder ces problèmes.

**L**ORS des phases de planification des missions spatiales, des problèmes complexes de décision apparaissent. Il s'agit de problèmes d'optimisation de la gestion des ressources exploitées dans les engins spatiaux (énergie, mémoire, temps,...), disponibles en quantités très limitées et non flexibles.

On a ainsi à résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire complexes présentant des points communs, en termes de problématiques (affectations de communications entre un satellite et une station, planification de tâches à bord d'un engin spatial)

et de contraintes (limitation de ressources physiques et du temps, fenêtres temporelles, durées de transition). Des méthodes efficaces issues de la recherche opérationnelle et de l'intelligence artificielle permettent d'aborder ces problèmes.

La *programmation linéaire* est un outil théorique efficace de modélisation et de résolution des problèmes d'optimisation linéaires. Elle se heurte cependant à la combinatoire des problèmes qui la rend inefficace pour la résolution de grands problèmes. La *génération de colonnes* est une extension de la programmation linéaire

qui permet de contourner cet inconvénient et de traiter des problèmes de grande taille. Le problème global est alors décomposé en un problème maître résolu par programmation linéaire et en un sous-problème dont la résolution est fortement dépendante du contexte. Le problème maître et le sous-problème sont résolus itérativement en échangeant des informations à chaque itération du processus.

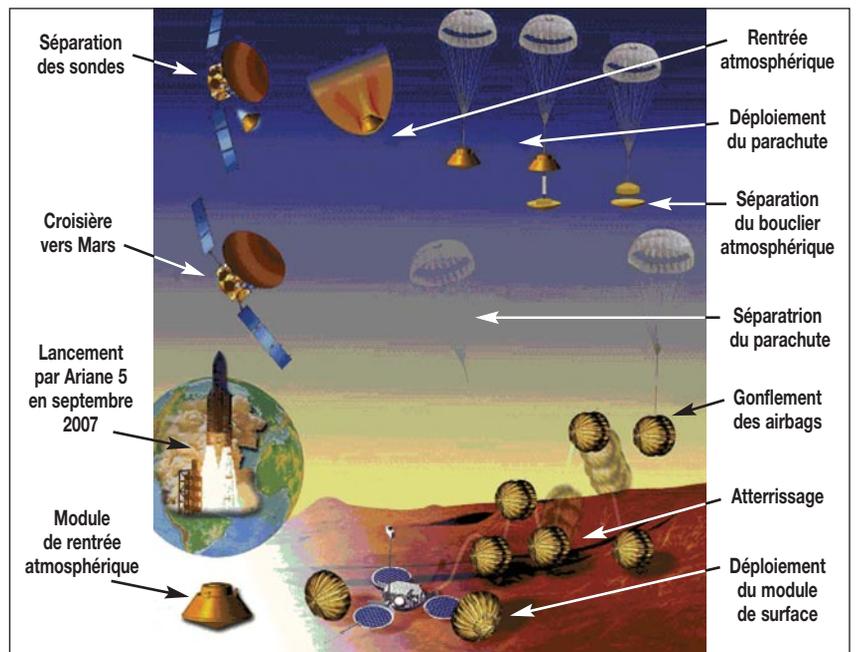
La *propagation de contraintes* a pour but de simplifier la résolution d'un problème. Elle désigne un ensemble de méthodes de déduction logique permettant de simplifier l'expression des contraintes et, dans certains cas, de prouver l'absence de solution d'un problème avant toute tentative de résolution. La propagation de contraintes n'est donc pas en soit une méthode de résolution, mais, couplée à d'autres méthodes, elle permet de renforcer l'efficacité d'un algorithme de résolution.

## Une combinaison de différentes techniques

La première étude, effectuée en 1999/2000 dans le cadre d'une collaboration avec le CNES, a porté sur un *problème d'allocation de créneaux de communication* pour le projet SKYBRIDGE de constellation de satellites de communication. La particularité de ces travaux a été de combiner différentes techniques, en particulier, une coopération entre les réseaux de Petri et de récents résultats obtenus concernant leur analyse par la logique linéaire, et des outils de programmation linéaire.

Puis, de 2000 à 2003, dans le cadre d'une thèse CIFRE avec la société GFI Consulting, le travail s'est porté sur des problèmes de planification de missions spatiales issus de deux projets distincts menés au CNES.

Le premier problème abordé se situe dans le contexte de la mission NETLANDER qui a pour but l'étude de la planète Mars. Il s'agit d'un *problème couplant une planification d'expériences sur des sondes posées à la surface de Mars et une planification de communications entre les sondes et un satellite en orbite autour de Mars*. Des contraintes fortes de ressources physiques et de temps pèsent sur ce problème. Pour l'aborder, nous proposons une décomposition en deux sous-problèmes. D'une part nous modélisons et résolvons le problème de planification des communications sondes/satellite par programmation linéaire. D'autre part, nous proposons un modèle et des fonctionnalités pour développer un outil d'aide à la planification des expériences. Dans ce second sous-problème en effet, pour différentes raisons (début de vie du projet, intérêts divergents des différents acteurs), les critères d'optimisation sont mal définis et il semble plus judicieux de proposer une approche d'aide à la décision qu'une approche par résolution automatique. Nous avons ainsi développé un algorithme de construction et de mise à jour de courbes d'évaluation de la charge des ressources critiques des sondes (place mémoire, énergie électrique) sur un horizon de planification. Cet algorithme



Différentes phases de la mission Netlander

est basé sur des techniques de propagation de contraintes fondées sur un raisonnement de type "énergétique".

## Problème maître et sous-problème

Le second problème se pose dans le contexte du projet PLEIADES, qui consiste en la mise en place d'une constellation de satellites agiles d'observation de la Terre. Il s'agit de *sélectionner et d'ordonner des prises de vue d'un de ces satellites sur un horizon donné*. Ce problème est hautement combinatoire ; comme le problème précédent, il est soumis à des contraintes fortes de ressources et de temps, mais également à des contraintes logiques particulièrement complexes (liées par exemple à des prises de vues stéréoscopiques). Après en avoir donné un modèle

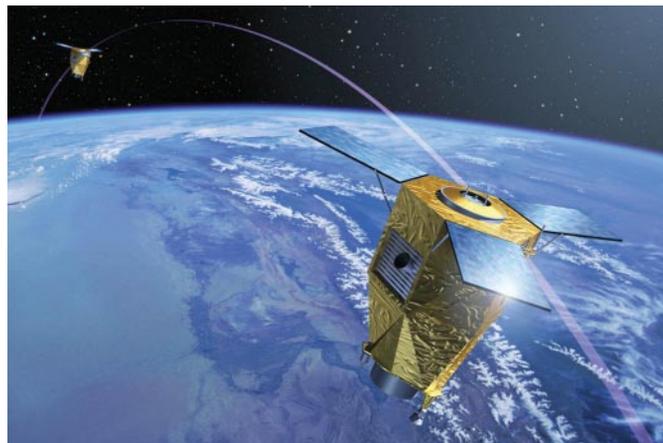
mathématique, nous proposons une approche de résolution de ce problème par génération de colonnes. Pour cela, nous le décomposons d'une part en un problème maître que l'on traite par programmation linéaire et d'autre part en un sous-problème pour lequel nous faisons appel à des algorithmes de recherche de chemins dans un graphe. Le problème maître et le sous-problème sont intégrés dans un processus itératif d'échange de données, afin de résoudre le problème global. ▶

### CONTACTS

Pierre Lopez  
Pierre.lopez@laas.fr

Robert Valette  
Robert.valette@laas.fr

© CNES - Mars 2003 • Illustration Pierre CARRIL



Satellites de la constellation Pleiades

## Construction automatique de plannings de personnels pour les compagnies aériennes

Le LAAS-CNRS conçoit, en collaboration avec la société IFR FRANCE, des méthodes et des logiciels de planification automatique d'activités des personnels de compagnies aériennes et aéroportuaires.

**L**A SOCIÉTÉ IFR FRANCE est leader dans le domaine de la conception, la réalisation et la commercialisation de produits logiciels permettant de maîtriser la gestion des flottes d'aéronefs. Depuis le début de l'année 2000, des études, menées en collaboration avec le LAAS, ont porté successivement sur :

- la génération de vacations regroupant les tâches à exécuter par le personnel au sol ;
- la construction de plannings par affectation individualisée des vacations aux agents ;

- la conception de grilles de travail permettant de programmer de façon cyclique le travail du personnel au sol ;
- le remplissage de vacations générées vides à partir de grilles de travail ;
- l'affectation d'équipages de navigateurs aux rotations formées de séquences de vols.

Ces problèmes de construction de plannings diffèrent de classiques problèmes d'emploi du temps et d'ordonnancement du fait que les tâches

de travail occupent des créneaux horaires prédéfinis, liés au programme des vols, et qu'elles peuvent être exécutées indifféremment par tous les agents de même qualification. En raison des nombreuses contraintes réglementaires, comme les limitations de temps de vol par mois et par an, le nombre de jours consécutifs travaillés ou les périodes de repos obligatoires, les problèmes d'affectation des vacations au personnel au sol et des rotations aux navigateurs sont des problèmes d'affectation multiple généralisés. Ces problèmes admettent une formulation linéaire en variables mixtes : des variables binaires pour représenter les choix d'affectation et des variables réelles pour représenter les dates et les durées dans les contraintes de réglementation.

Les travaux poursuivis actuellement au LAAS portent sur l'étude de modèles et d'algorithmes de résolution de grands problèmes d'optimisation en variables discrètes, avec comme application principale la constitution d'équipages de personnel navigant. Ce problème a été décomposé en deux étapes pouvant être résolues indépendamment l'une de l'autre : la création de rotations pour une liste de vols programmés, et la constitution d'équipages pour effectuer les rotations. Les travaux réalisés par le LAAS s'insèrent, dans le processus de réalisation de produits logiciels par IFR, aux étapes de conception d'algorithmes (après spécification par IFR) et de mise au point (avant interfaçage et tests sur données réelles, par IFR). Une telle organisation donne de très bons résultats car elle utilise au mieux les compétences des deux partenaires. ▶

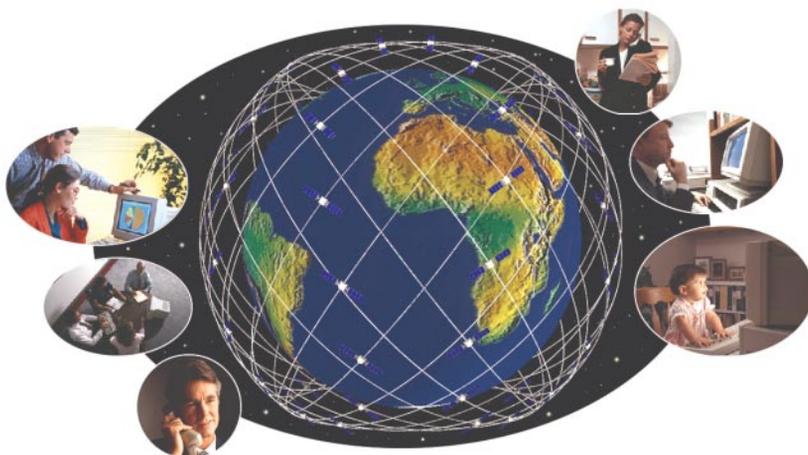


### CONTACT

Jean-Claude Hennet  
hennet@laas.fr

## Allocation de ressources dans une constellation de satellites

Des systèmes utilisant une constellation de satellites à orbite basse sont envisagés pour fournir des services multimédia haut-débit.



**P**AR RAPPORT à des systèmes géostationnaires, l'orbite basse des satellites a l'avantage de permettre un faible délai de transmission des données et d'offrir une meilleure précision des zones couvertes au sol. L'utilisation d'une infrastructure satellitaire permet de cibler un marché mondial. Dans le cas du système SkyBridge étudié par Alcatel Space Industries, les utilisateurs sont reliés au réseau terrestre haut-débit, grâce aux satellites, par l'intermédiaire de stations au sol. Skybridge peut être considéré comme une extension du réseau terrestre haut-débit. L'optimisation de l'utilisation du système selon des critères liés au service rendu, à la qualité des transmissions,... est un problème combinatoire difficile principalement à cause de la dynamique des satellites qui ne restent visibles d'un même endroit que pendant quelques minutes.

Le problème d'allocation de ressources consiste à établir au mieux des communications et à utiliser des bandes de fréquences (demandes de service) requises par les stations au sol et les utilisateurs à l'aide des satellites en visibilité (ressources), tout en vérifiant les contraintes de faisabilité (disponibilité des antennes

des satellites, continuité des communications, phénomène d'interférences fréquentielles,...).

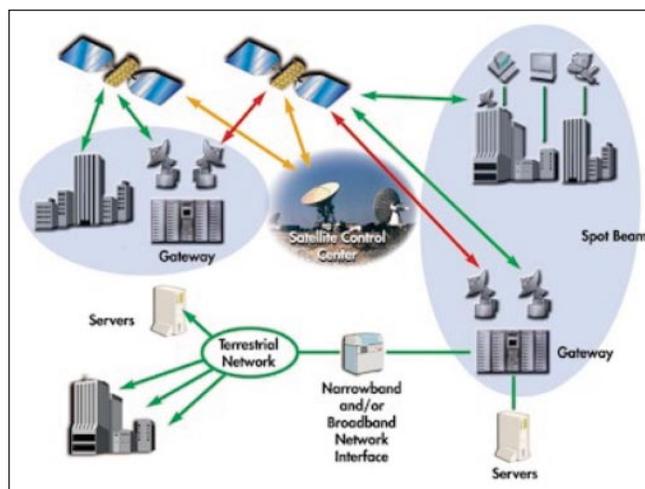
La recherche d'une solution (planification sur un horizon d'une journée) a été effectuée en deux phases : on détermine d'abord les liaisons à établir entre les stations au sol et les satellites, puis on détermine les fréquences à utiliser dans ces liaisons. A partir d'une modélisation du problème basée sur une représentation par graphes – graphes d'intervalles pour l'établissement des liaisons et graphes d'interférences pour l'allocation de fréquences –, différentes méthodes d'optimisation combina-

toire approchées ont été développées : méthodes gloutonnes, méthodes de voisinages (recherches locales, méta-heuristiques tabou et de recherche par voisinage variable). En effet la complexité du problème est telle qu'une solution exacte ne peut pas être trouvée en temps raisonnable.

Ces méthodes ont été appliquées sur des jeux de données réalistes correspondant aux différentes étapes de déploiement du système. A son apogée, le système sera composé d'un ensemble de 80 satellites en orbite basse et de 350 stations au sol demandant à établir en continu 500 communications satellitaires pour lesquelles il faut allouer plus de 6 500 fréquences. La demande étant sur-évaluée, la meilleure planification, recherchée sur un horizon de 10 h 30 (un des cycles de la constellation), est basée sur une recherche par voisinage variable pour l'allocation des communications et une méthode tabou pour l'allocation de fréquences. Elle permet d'établir 80% des communications demandées sans coupure de liaison et d'allouer 70% des fréquences demandées sans problèmes d'interférence. ▶

### CONTACT

Gérard Authié  
courriel : [authie@laas.fr](mailto:authie@laas.fr)



*SkyBridge, une extension du réseau terrestre haut-débit*

## Les communications spatiales turbocodées

Un projet qui vise à améliorer la fiabilité des communications par satellite en utilisant les compétences du LAAS dans le domaine du filtrage particulière.

**L'ÉMERGENCE** des services multimedia crée une demande croissante de transmissions rapides et à faible coût. Les communications par satellite fournissent des solutions techniques appropriées à ce marché car elles permettent de déployer rapidement un service sur une vaste zone. De plus, la quasi-indépendance de la qualité du service par rapport à la distance entre le terminal et le point d'accès fournit un avantage sur les systèmes concurrents basés sur les lignes téléphoniques (type x-DSL) ou les radiocommunications (type Hiperlan). En particulier, la norme DVB-RCS, préparée par l'organisme de standardisation européen ETSI, propose un système basé sur les satellites géostationnaires (GEO) permettant des transmissions asymétriques en voie montante et descendante.

Les contraintes technologiques inhérentes aux récepteurs faible coût imposent d'obtenir une bonne qualité de service à rapport signal sur bruit faible. Pour y parvenir, un dispositif de correction d'erreurs efficace est indispensable. C'est pourquoi les turbo-codes, connus pour leurs bonnes performances en terme de taux d'erreur binaire, ont été retenus pour les communications spatiales. Ces techniques de codage sont en

réalité si performantes qu'elles permettent en théorie des transmissions de données fiables à des rapports signal sur bruit proches de 0 dB. Toutefois, les techniques classiques de traitement du signal (par exemple pour l'estimation de l'amplitude du signal ou la compensation de l'effet Doppler) sont mises en défaut à des niveaux de bruit si élevés.

Idéalement, le récepteur réalise l'estimation conjointe des paramètres du canal et du message binaire émis. Une technique développée au LAAS permet d'aborder ce genre de problèmes non-linéaires avec une complexité acceptable: il s'agit du filtrage particulière.

Plusieurs architectures de récepteurs actuellement étudiées afin de rendre la technique particulière compatible avec l'utilisation des turbo-codes, permettront de résoudre ce problème critique des télécommunications via satellite avec une implantation raisonnable. ▶

### CONTACTS

Gérard Salut  
courriel : salut@laas.fr

Frédéric Lehmann  
courriel : Frederic.lehmann@int-evry.fr

## Les capacités d'un canal de transmission, de la théorie à la pratique : les turbocodes

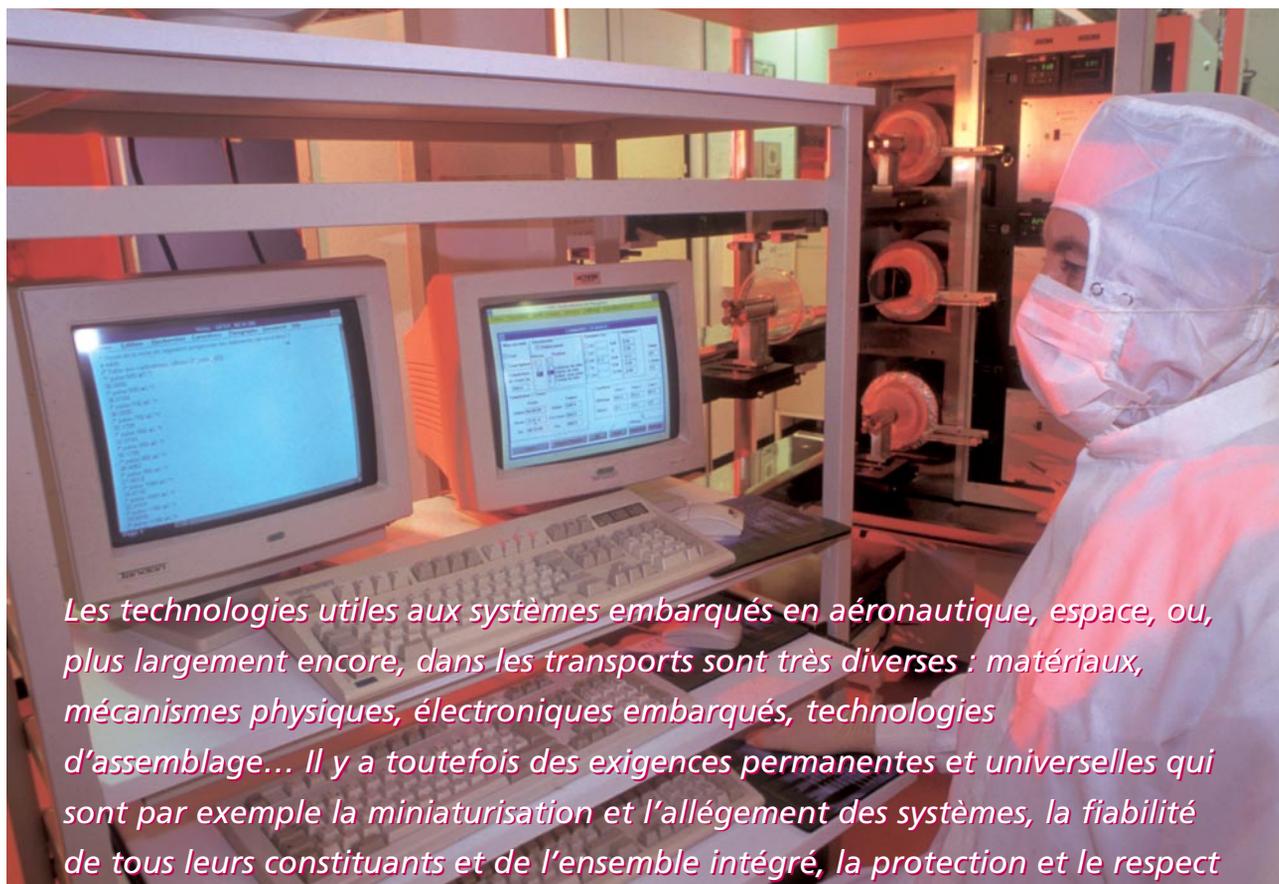
Dans les années 1940, un chercheur américain du nom de C.E. Shannon élabore la théorie de la transmission des données numériques à la base de tous les systèmes de télécommunication actuels. Ce résultat fondamental énonce que pour un niveau de bruit donné qui perturbe le canal de communication, la transmission des données demeure fiable à condition que le débit d'information ne dépasse pas un seuil appelé capacité. Afin de corriger les erreurs de transmission dues aux perturbations introduites par le canal, il est nécessaire de procéder à un encodage, qui consiste à envoyer en plus du message à transmettre, un certain nombre de données redondantes soigneusement choisies.

Jusque dans les années 1990, les dispositifs d'encodage existants ne permettaient pas de se rapprocher des limites prévues par la théorie de Shannon. Il faudra attendre 1993 pour que C. Berrou, chercheur à l'ENST de Bretagne, y parvienne grâce à une structure innovante devenue célèbre sous le nom de turbo code. Le principe consiste à encoder un message matriciel deux fois : ligne par ligne et colonne par colonne. La correction d'erreur au récepteur se fait horizontalement puis verticalement plusieurs fois consécutives. Ainsi, la restitution de bits manquants opérée par le décodage des lignes favorise le décodage des colonnes et vice versa, à la manière des mots croisés. Le succès actuel des turbo codes réside dans la faible complexité de cette procédure de décodage. Ainsi, de nombreuses applications pratiques sont en cours dans les domaines des sondes spatiales, des communications par satellite et bientôt des téléphones mobiles de 3<sup>e</sup> génération.



*Illustration de la constellation de satellites Galileo, projet européen de navigation et de positionnement par satellite, conçu pour les besoins civils.*

# Microsystèmes embarqués



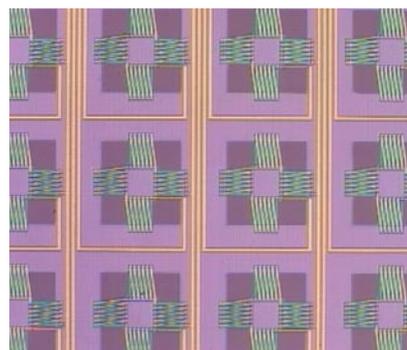
*Les technologies utiles aux systèmes embarqués en aéronautique, espace, ou, plus largement encore, dans les transports sont très diverses : matériaux, mécanismes physiques, électronique embarquée, technologies d'assemblage... Il y a toutefois des exigences permanentes et universelles qui sont par exemple la miniaturisation et l'allègement des systèmes, la fiabilité de tous leurs constituants et de l'ensemble intégré, la protection et le respect de l'environnement, l'ergonomie des interfaces opérateurs et usagers...*

*Ces exigences stratégiques définissent des axes de recherche et de coordination des efforts sous l'angle de l'interopérabilité des méthodes et de la compatibilité des technologies. Ce dossier rassemble des recherches en cours tournées vers la miniaturisation des composants et leur intégration en micro-nanosystèmes. Le lecteur constatera la place faite aux questions de fiabilité et aux méthodes de conception associées à cette exigence première des systèmes embarqués en aéronautique et dans l'espace.*

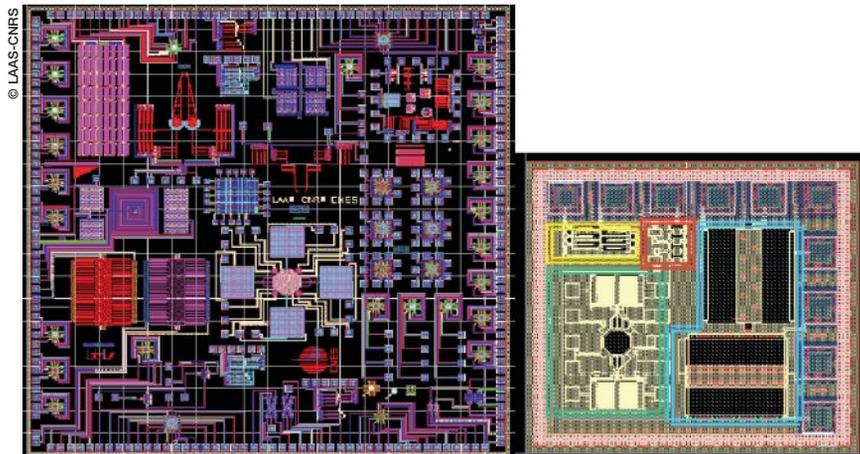
## Prototypage virtuel de microsystèmes

**L**ES MICROMACHINES ou Mems (Micro-Electro-Mechanical Systems) ont envahi notre quotidien. Une équipe du LAAS propose, préalablement à la fabrication matérielle de tels microsystèmes, la réalisation d'un prototypage virtuel. L'innovation vise la réduction des délais de conception, et le concept est de rassembler dans un modèle informatique de système global toutes les connaissances cumulées sur les composants, les

technologies d'assemblage, les conditions d'utilisation, jusqu'à pouvoir assurer par la simulation numérique que le système est fonctionnel et qu'il remplira sa mission. Enfin des optimisations technologiques pourront être apportées ainsi qu'une analyse prédictive de la fiabilité. En somme, avant la phase de fabrication, le système est technologiquement représenté au travers de modèles physiques et comportementaux.



Matrice de thermopiles



Puces avec design de MEMS en technologie CRONOS et TRONIC'S

Cette méthode s'est enrichie à partir d'exemples de systèmes intégrés et capteurs qui ont été réalisés :

- le microsenseur de terre, instrument capable de restituer les angles de roulis et tangage d'un satellite par l'observation IR d'une transition Terre-Espace,
- la caméra IRAVIS, instrument d'imagerie IR construite sur la base d'un microbolomètre silicium amorphe développé par la société ULIS.

Ces approches ont permis de définir et d'optimiser des capteurs type matrices thermopiles, développés

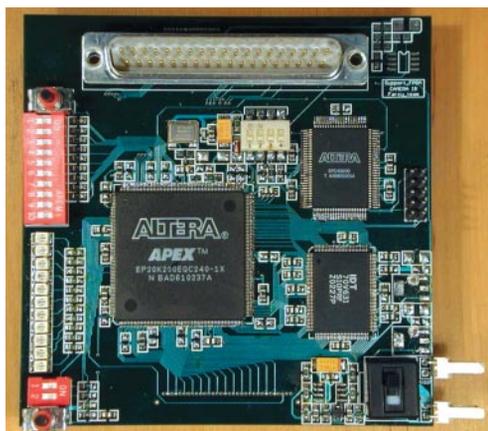
dans la salle blanche du LAAS.

Afin de garantir l'applicabilité des Mems à l'espace, les approches statistiques type loi d'Arrhénius n'étant plus applicables au niveau de ces systèmes à forte densité d'intégration, haute valeur ajoutée et petites séries, il est important d'étendre la méthodologie de conception à l'analyse et la prédiction des mécanismes de défaillance. Le LAAS a entrepris avec des partenaires industriels et académiques la conception, la modélisation, et des tests de Mems dans différentes filières technologiques industrielles. Différents types de

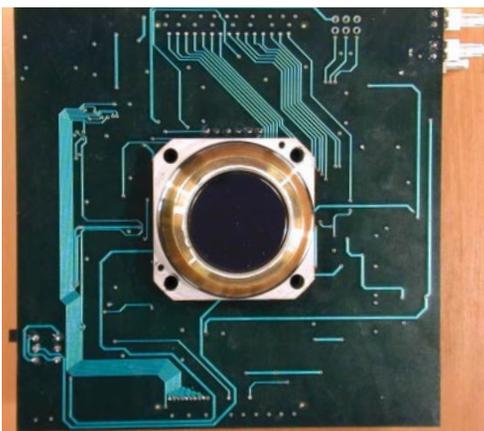
composants Mems, actionneur thermique, inductance active, miroirs électrostatiques, multiplexeur, assemblages mécaniques, micro-manipulateurs, structures accélérométriques, moteurs électrostatiques ont ainsi été réalisés.

Pour développer des Mems à degré de fiabilité élevé, il faudra ne pas se limiter à évaluer la fiabilité de chaque partie séparée du microsystème, mais examiner aussi l'influence de tous les paramètres entrant dans le processus complet d'élaboration du Mems, depuis la conception jusqu'à la réalisation du produit final. En particulier, l'aspect conditionnement (packaging) se révèle comme un point innovant particulièrement important dans les microsystèmes. De plus, ces éléments seront mis en regard de la spécification de contraintes liées à la mission envisagée, tant il est vrai qu'une sonde envoyée sur Mars présente des contraintes et spécifications différentes de celles d'un satellite de communication. ▀

#### Architecture générique reconfigurable

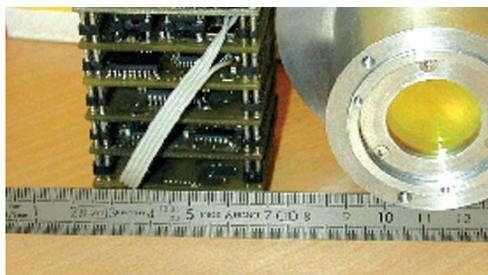


© LAAS-CNRS



© LAAS-CNRS

#### Microsenseur de terre en technologie microsystemes



© LAAS-CNRS

**CONTACT**

Jean-Yves Fourniols  
courriel : [fourniol@laas.fr](mailto:fourniol@laas.fr)

## Micropropulseurs pour satellites miniatures

Les deux prochaines décennies verront apparaître de nouvelles générations de microsatellites (<100kg) et de nanosatellites (<20kg). Mettre sur orbite des flottes de satellites miniatures permettrait de remplacer avantageusement les gros satellites, notamment dans le domaine des télécommunication des missions scientifiques et de la surveillance spatiale.

L'ENVOI de ces satellites miniatures seuls ou en flotte requiert une grande précision dans le positionnement, la manœuvre et pour compenser les perturbations. Les niveaux de forces requis sont compris entre quelques  $\mu\text{N}$  et  $100\text{mN}$ . Pour assurer ces précisions, les propulseurs conventionnels ne sont plus adaptés. Certaines équipes ont miniaturisé les systèmes de propulsion conventionnels et d'autres ont développé des concepts nouveaux. Le LAAS a opté pour la micropropulsion propergol solide sur silicium. Il s'agit de réaliser un empilement de 3 substrats : un substrat de micro tuyères en silicium usiné, un substrat de micro initiateurs adressés en silicium usiné et un substrat de micro réservoirs en Foturan contenant le propergol. Du fait du caractère monocoup de ces dispositifs, un module de propulsion intègre n propulseurs individuels adressables par une électronique embarquée.

La micropropulsion solide sur silicium répond à un besoin réel pour générer des poussées de 1 à  $20\text{mN}$  et présente des atouts très intéressants par rapport aux systèmes à gaz froid :

- Le propergol est solide donc pas de fuite possible,
- La consommation est réduite ce qui est un point clé pour la faisabilité des nanosatellites.

Le faible coût de fabrication permet d'envisager des applications de maintien à poste pour nano et microsats opérant sur orbite basse. Cette technologie a été initiée au LAAS en 1997 dans le cadre d'un projet CNES. Depuis, elle a suscité l'intérêt de laboratoires américains, européens et asiatiques. Au LAAS, elle se poursuit

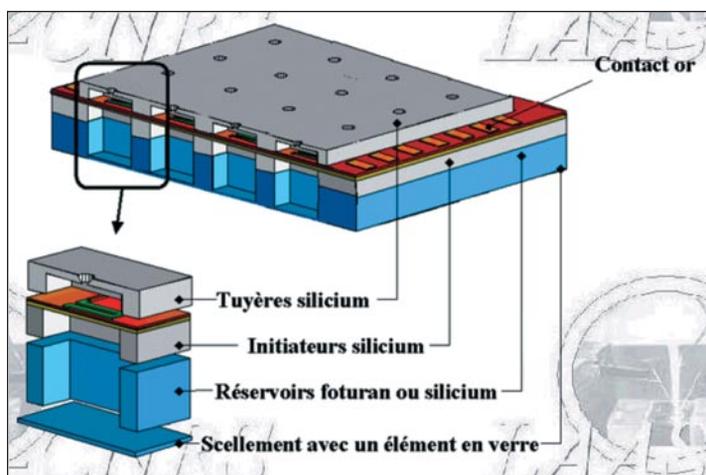
dans le cadre d'un projet européen Micropyros et ESA.

Des modules de propulsions de  $10 \times 10$  propulseurs de  $3.37\text{mm}^3$  chacun ont été réalisés, assemblés avec l'électronique et caractérisés en initiation et poussée. Chaque propulseur nécessite  $150\text{mW}$  pour s'initier. La poussée générée se situe entre  $0.28\text{mN}$  et  $1.2\text{mN}$  et les impulsions totales entre  $0.1$  et  $0.7\text{mN.s}$  pour des structures sans et avec tuyères respectivement. Les travaux ont permis d'évaluer cette technologie pour des missions fictives de micro et nanosatellites et de mesurer son intérêt pour le maintien à poste de satellites de  $10\text{--}50\text{kg}$  opérant sur des orbites de  $400$  à  $1000\text{km}$ . ▀

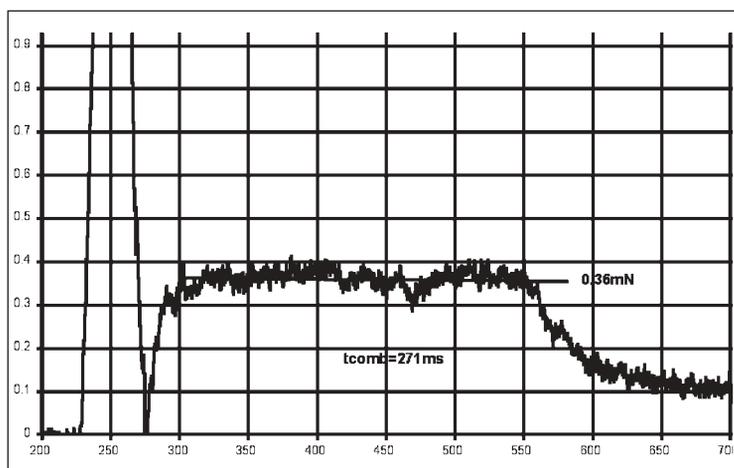
### CONTACT

Carole Rossi  
courriel : [rossi@laas.fr](mailto:rossi@laas.fr)

Schéma de principe d'une matrice de propulseurs en silicium



Caractérisation en poussée : photo de la balance et exemple de résultats de poussée obtenu

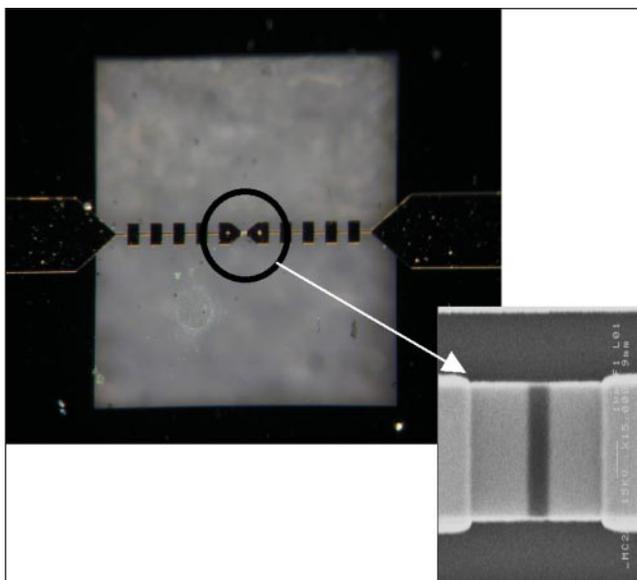


## Des récepteurs très sensibles pour la radioastronomie

De nombreux programmes de recherche en astrophysique et en observation de la terre nécessitent des récepteurs très sensibles et à grande résolution spectrale dans une bande de fréquence submillimétrique (0.3 à 3 THz, et au delà). Ces récepteurs permettent d'obtenir par exemple des informations sur le changement climatique, la pollution ou la présence de molécules dans les régions froides de l'univers.

**A PRÈS** l'avènement des mélangeurs à jonctions supraconductrices SIS, un nouveau type de mélangeurs de type hétérodyne utilisant des matériaux supraconducteurs cryogéniques, appelé "bolomètre à électrons chauds" (*Hot Electron Bolometer*), a été développé ces dernières années. Il a été démontré que ces composants présentaient des performances très intéressantes pour les applications hétérodynes aux fréquences supérieures au THz. Le principe de détection est basé sur la modulation de l'état résistif d'un micropont supraconducteur – de 0.2 nm de long, 3 nm d'épaisseur et 2 nm de large – par l'irradiation des photons à des longueurs d'onde submillimétriques. L'énergie absorbée par les électrons élève en effet la température de ceux-ci au dessus de la température critique du film supraconducteur, induisant un point chaud et provoquant ainsi une augmentation de la résistance du pont. La constante de temps de relaxation thermique est fixée par les phonons, qui évacuent l'énergie dans le substrat. Pour les HEB actuels en NbN sur substrat de silicium, la taille du point chaud est modulable jusqu'à des fréquences micro-onde. Le mixage d'un signal provenant d'un oscillateur local et des photons à détecter permet donc de récupérer un signal à des fréquences intermédiaires (quelques GHz) qui est amplifiable au moyen d'amplificateurs cryogéniques (HEMT) et dont on analysera le spectre avec une haute résolution fréquentielle ( $> 10^6$ ).

Plusieurs laboratoires aux Etats Unis (Caltech/Jet Propulsion Laboratory, Harvard Smithsonian, Yale University, Steward Observatory), en Europe (University of Köln, DLR-Berlin, Chalmers University, Delft University,



Vue générale du bolomètre sur membrane et zoom sur le micropont de NbN

Moscow State Pedagogical) et en France (Université Paris-VI, Observatoire de Paris-LERMA) font des efforts de recherches importants pour améliorer les performances de ces dispositifs notamment pour les fréquences hautes (3 THz). En effet ces dispositifs présentent encore des insuffisances au niveau de l'efficacité du couplage en puissance, de la sensibilité et du bruit thermique.

En 2003 l'Observatoire de Paris, l'Université de Chalmers, le DLR-Berlin et le LAAS ont unis leurs efforts, dans le cadre d'un projet de l'ESA (Agence Spatiale Européenne), pour développer une caméra hétérodyne à 2.7 THz. Afin de supprimer les effets néfastes du substrat de silicium, le détecteur constitué par un micropont supraconducteur de NbN a été réalisé sur une fine membrane diélectrique de 1.4  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. Cette membrane permet d'une part de mieux isoler thermiquement le micropont et d'autre part de limiter les pertes diélectriques dans les différentes parties du composant. Cette configuration procure ainsi une meilleure sensibilité au

détecteur et un plus faible bruit thermique. Les premiers dispositifs monopixels ont été fabriqués et caractérisés. Ils présentent des caractéristiques DC identiques à ceux fabriqués sur substrats épais. Des mesures hétérodynes sont en cours et sont encourageantes.

La caméra a été conçue à la limite de résolution du télescope SOFIA. Cet avantage a été possible grâce au design quasi-optique choisi. Des simulations numériques 3D effectuées montrent qu'une configuration très intégrée pourrait être choisie pour la compacité des pixels, ce qui permettrait d'installer la caméra sur n'importe quel des télescopes, sans dégrader l'efficacité de chacun des pixels. ▶

### CONTACT

courriel :  
Morvan Salez (LERMA)  
morvan.salez@obspm.fr

Patrick Pons (LAAS)  
ppons@laas.fr

# Microsystèmes intelligents pour les communications spatiales

*Ces dernières années, ont vu l'émergence des microtechnologies comme candidat de choix pour la fabrication des futurs modules de communication haute-fréquence pour le spatial. En particulier, le silicium est devenu un matériau quasiment incontournable pour la réalisation de bon nombre de briques de base comme des filtres (pouvant être multi-fréquences), des antennes, des aiguilleurs de signaux ou encore des dispositifs d'adaptation.*

*En effet, l'exploitation de ces caractéristiques cristallographiques et mécaniques autorise la fabrication de circuits micro-usinés voire de circuits mobiles appelés MEMS (Micro-Electro-Mécaniques), dont les caractéristiques électriques peuvent être modulées. L'avantage principal résidant dans le fait que ces propriétés sont exploitées en utilisant les techniques de fabrication collective des micro et nanotechnologies, ce qui va diminuer les temps de fabrication et minimiser les coûts.*

*Au niveau des contraintes exigées par le spatial, nous relevons des demandes de performances à la fois pour les parties **réception** et **émission** d'une cellule de communication. En ce qui concerne la réception de signaux haute fréquence, l'accent est donné sur les niveaux de pertes des composants, tandis que la partie émission implique une forte tenue en puissance. D'une façon plus générale, ces différentes technologies sont associées afin d'élaborer des microsystèmes intelligents pour applications hautes fréquences.*

## Les circuits à faibles pertes pour la réception des signaux

**En ce qui concerne les parties réception des signaux, le niveau de bruit de la liaison correspond au paramètre principal et doit être le plus faible possible. Cela impose des circuits présentant des pertes d'insertion minimales.**

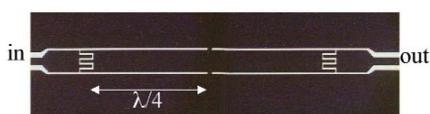
**P**OUR la fabrication de circuits à faible pertes, deux paramètres essentiels sont à minimiser : les pertes métalliques et les pertes diélectriques. Pour les pertes métalliques induites par les conducteurs des circuits, l'utilisation de matériaux à faible résistivité comme l'or ou le cuivre constitue une solution pour les

minimiser. L'augmentation de l'épaisseur ainsi que la diminution de la rugosité sont également des paramètres technologiques à optimiser.

Quant aux pertes diélectriques, elles sont essentiellement dues au silicium, qui ne représente pas un bon substrat pour les applications hautes fréquences du fait de sa forte tangente

de pertes. Leur minimisation peut, quand à elle, être obtenue par différentes solutions technologiques. La première et plus ancienne consiste à supprimer le substrat silicium ou autre sous les dispositifs hyperfréquences en utilisant un procédé de micro-usinage de volume. Les circuits micro-ondes sont alors suspendus sur une fine membrane diélectrique. Ce procédé technologique a été optimisé vis-à-vis des contraintes internes des matériaux afin de pouvoir avoir des rendements de fabrication élevés. A l'heure actuelle, nous avons également optimisé les dépôts de couche diélectrique afin d'augmenter la reproductibilité de l'épaisseur de la membrane diélectrique qui est un paramètre important pour la maîtrise des performances

électriques et des caractéristiques de fiabilité. Des tests sous vibrations mécaniques ont été effectués prenant en compte les contraintes liées au spatial et les circuits n'ont montrés aucune dégradation. Les circuits ont également subi avec succès des rampes thermiques et des stress RF jusqu'à plusieurs watts démontrant la maturité du procédé technologique. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de filtres millimétriques avec des topologies de filtres "quart d'onde et demi-onde" à 60 GHz présentant des pertes d'insertion très faibles de l'ordre de 2 à 3 dB.



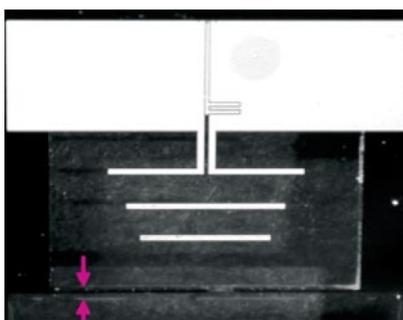
Filtre passe-bande quart d'onde centré à 60 GHz et réalisé sur une fine membrane diélectrique

Des antennes micro-usinées ont également été fabriquées. La figure ci-contre présente une photographie d'une antenne de type Yagi suspendue qui a été réalisée pour la première fois au LAAS-CNRS dans le cadre d'une collaboration avec l'IMT Bucarest. Une seconde solution technologique servant à minimiser les pertes diélectriques correspond à surélever les

circuits par rapport au substrat à pertes en intercalant une couche épaisse diélectrique à faibles pertes entre les conducteurs et le silicium. Cette technique est basée sur l'utilisation des technologies polymères (comme par exemple le BenzoCyclo-Butène, dit "BCB").

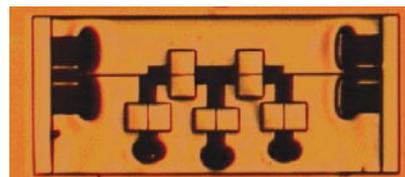
Elle est particulièrement intéressante lors de l'élaboration de structures multicouches tel que le filtre micro-strip élaboré en collaboration avec le LEST de Brest et présenté ci-contre. Un niveau de pertes d'insertion de l'ordre de 1 dB dans la bande fréquentielle d'intérêt a ainsi été obtenu.

Outre des filtres ont également été réalisées des antennes jusqu'aux fréquences millimétriques dans le cadre de collaborations avec l'Université d'AinShams en Egypte et l'IETR

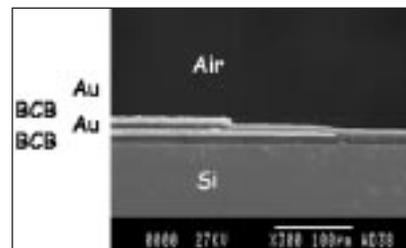


Antenne Yagi micro-usinée

Filtre centré à 24 GHz avec une technologique polymère multicouche



Vue de dessus



Vue en coupe

de Rennes.

Ainsi différentes solutions technologiques à base de micro-usinage de volume ou de couche épaisse d'isolation ont été mises au point sur substrat silicium et permettent d'atteindre de très faibles niveaux de pertes pour les systèmes de réception des satellites. ▶

#### CONTACT

D. Dubuc, [dubuc@laas.fr](mailto:dubuc@laas.fr)  
K. Grenier, [grenier@laas.fr](mailto:grenier@laas.fr)  
P. Pons, [ppons@laas.fr](mailto:ppons@laas.fr)  
R. Plana, [plana@laas.fr](mailto:plana@laas.fr)

## Des circuits RF intelligents

L'utilisation des micro-technologies est de plus en plus envisagée pour les futurs systèmes de communication car elles permettent de répondre aux besoins de la montée en fréquence et du renforcement des contraintes en performances, en fiabilité et en coût. Pour les applications satellitaires, se rajoute la notion de poids, de sensibilité pour la réception et de puissance pour l'émission. Enfin, certaines bandes allouées étant dupliquées, il est indispensable de pouvoir disposer d'équipements présentant des fonctionnalités de reconfigurabilité, ce que seules les microtechnologies peuvent apporter sans dégradation de performances grâce à l'utilisation d'éléments MicroElectroMécaniques mobiles, les MEMS.

**L**A PREMIÈRE filière technologique que nous avons développée s'adresse aux parties réception des systèmes de communication puisqu'elle permet de maintenir un

faible niveau de bruit et donc garantit une bonne sensibilité aux récepteurs. Il s'agit d'une filière de micro-commutateur suspendu à faibles pertes d'insertion qui permet de donner un degré

de fonctionnalités supplémentaire aux circuits micro-ondes. La figure 1 présente la photographie d'un commutateur MEMS RF de type "pont" sur une ligne de transmission coplanaire. L'intérêt de cette topologie à largeurs de pont non uniformes est de permettre une conception efficace des circuits dans lesquels ils sont intégrés car chaque zone du pont conditionne les différentes caractéristiques du commutateur : tension d'activation, raideur et performances RF. Ces composants MEMS RF permettent la conception de circuit de hautes performances à caractère reconfigurable. Dans le cadre du projet RNRT "TREMICROMEDIA", un aiguilleur de signal millimétrique à base MEMS a été réalisé. Il comporte une entrée avec deux sorties et présente notamment des perfor-

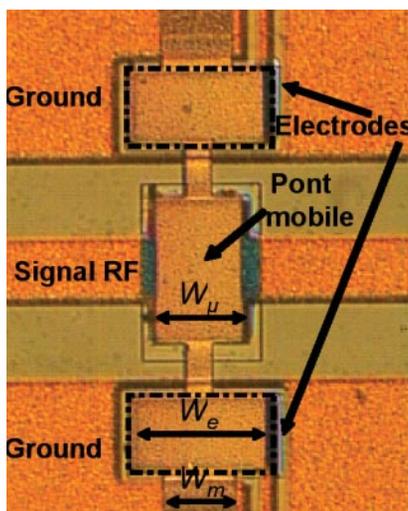


Fig. 1 : composant MEMS

mances en termes de pertes d'insertion à l'état de l'art. Sa photographie est indiquée sur la *figure 2*.

La seconde filière se focalise sur la réalisation de MEMS RF de puissance pour les parties *émission* des systèmes de communication. Nous avons démarré cette action depuis un an sous l'impulsion d'un projet DGA et d'un projet avec la région qui visait à développer une filière technologique de MEMS pouvant supporter des fortes puissances jusqu'aux fréquences millimétriques.

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur la réalisation de composants micro-ondes coplanaires résistant à de fortes puissances RF et développé une méthodologie de conception permettant d'anticiper les phénomènes d'électromigration et ainsi d'optimiser les structures micro-ondes. Concernant les micro-commutateurs, nous avons développé une topologie permettant de s'affranchir des effets "d'auto-actionnement" dus à la puissance RF du signal appliqué. La *figure 3* présente la structure à double électrode qui a été retenue, dont les ponts supérieurs sont immobiles et servent au maintien du pont mobile intermédiaire à l'état haut même sous forte puissance RF.

Nous avons également développé une méthodologie de conception permettant de modéliser à la fois les propriétés électromagnétiques et

thermiques des micro-commutateurs. En particulier, nous avons montré que le paramètre important correspondait aux densités de courant. Elles se traduisent par des effets thermiques, qui dégradent les performances des micro-commutateurs.

Cette filière sera utilisée pour la fabrication de déphaseurs de tuners pour les amplificateurs de puissance mais aussi pour la réalisation d'antennes reconfigurables. Ces projets sont soutenus par l'ESA et Alcatel Space.

Enfin, nous menons une action sur l'étude de la fiabilité des technologies MEMS RF, en collaboration avec les CNES, MEMSCAP et Alcatel Space. Nous avons dans un premier temps mis en place un banc de test original permettant d'effectuer différents types de stress sur les composants RF (thermiques, RF, cyclage). Notre approche consiste à un contrôle des paramètres micro-ondes des composants avant et après les stress. En

particulier, nous avons mis en place une procédure de vieillissement accéléré particulièrement efficace basée sur du stress DC et nous avons corrélé les dégradations observées avec des cyclages dynamiques. Nous menons des études sur les phénomènes de charges dans les diélectriques, qui est actuellement le phénomène de dégradation majeur observé. A partir des données que nous avons déjà obtenues, nous avons proposé des topologies de circuits qui intègrent les performances de fiabilité et qui en particulier minimisent les effets de charges dans les diélectriques. ▶

#### CONTACT

D. Dubuc, [dubuc@laas.fr](mailto:dubuc@laas.fr)  
 K. Grenier, [grenier@laas.fr](mailto:grenier@laas.fr)  
 P. Pons, [ppons@laas.fr](mailto:ppons@laas.fr)  
 R. Plana, [plana@laas.fr](mailto:plana@laas.fr)

Fig. 2 : aiguilleur de signaux RF à MEMS

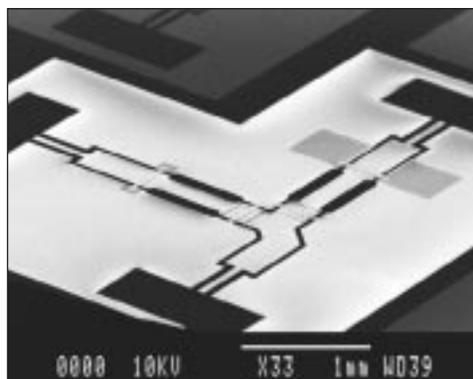
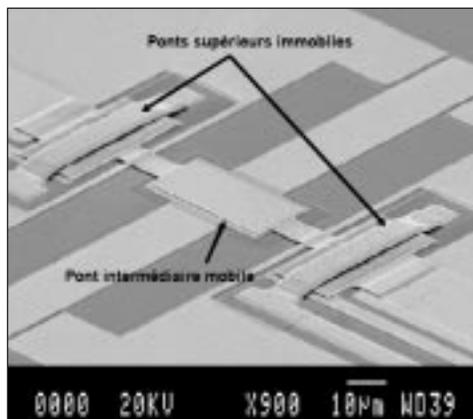


Fig. 3 : micro-commutateur RF de puissance



# Intégration de microsystèmes RF

Les microtechnologies permettent l'assemblage hétérogène de circuits passifs ou de réglage avec les circuits actifs conventionnels (amplificateur faible bruit, mélangeur oscillateur) développant ainsi le concept de microsysteme intelligent c'est-à-dire présentant des fonctionnalités de réglages, d'adaptabilité voire de réparation.

**C**ET assemblage peut être réalisé de différentes manières. La première consiste à fabriquer les éléments passifs, tels que filtres, antenne et circuits de commutation sur un substrat silicium à haute résistivité qui minimise les pertes diélectriques, et à reporter les dispositifs actifs en les encastrant dans une cavité du substrat hôte des circuits passifs MEMS ou encore à l'aide notamment de la technique dite de "flip-chip". C'est le cas de la tête de réception millimétrique du contrat RNRT TREMICROMEDIA.

Il s'agit d'un microsysteme faible bruit de redondance, qui met à profit les technologies faibles pertes précédemment décrites. Dans le cas de ce circuit, les technologies MEMS assurent non seulement le caractère faible bruit par l'antenne à haute performance et les filtres à faible pertes d'insertion mais également la reconfigurabilité par l'intermédiaire des micro-commutateurs à membranes mobiles de l'aiguilleur de signaux précédemment montré. En effet, si l'une des voies défaille, le circuit se reconfigure sur l'autre voie garantissant ainsi une qualité de service optimale. Cette solution d'assemblage est privilégiée lorsque les éléments passifs sont importants en terme d'encombrement et par conséquent consommerait trop de silicium sur lequel sont fabriqués les composants actifs.

Une autre intégration possible consiste à élaborer les circuits passifs par-dessus les éléments actifs déjà réalisés en exploitant le caractère tridimensionnel du microsysteme et le même substrat, tout en utilisant des

techniques et équipements conventionnels de la microélectronique. Il s'agit alors de "post-processing", grandement facilité par le greffage de technologies polymères sur les éléments actifs. Cette étude est effectuée dans le cadre du projet IST européen ARTEMIS, dont un exemple est indiqué sur la *figure 1*.

Après conception et réalisation de circuits actifs sur la technologie SiGe II du fondeur ATMEL, une antenne est post-traitée et micro-usinée autour des circuits déjà existants. Ceci permet d'obtenir un microsysteme de réception ultra compact (3x3 mm<sub>l</sub>) à faible coût.

Enfin, la *figure 2* présente une vue de principe d'un système de communication complet sur lequel nous travaillons actuellement.

Il comprend antennes et filtres sus-

pendues grâce au micro-usinage du silicium, des coupleurs passifs à faibles pertes grâce à leur sur-élévation par couche épaisse polymère et enfin les circuits actifs tels que mélangeurs et combineurs à base d'hétérostructure silicium-germanium.

Ces différentes techniques d'assemblage permettent d'atteindre de plus haut degré d'intégration et donc d'optimiser la compacité des dispositifs tout en assurant d'excellentes performances à faible coût. ▶

## CONTACT

D. Dubuc, [dubuc@laas.fr](mailto:dubuc@laas.fr)  
K. Grenier, [grenier@laas.fr](mailto:grenier@laas.fr)  
P. Pons, [ppons@laas.fr](mailto:ppons@laas.fr)  
R. Plana, [plana@laas.fr](mailto:plana@laas.fr)

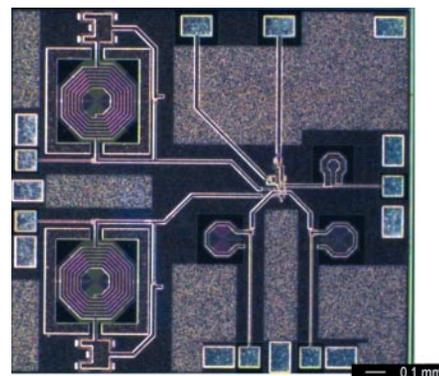
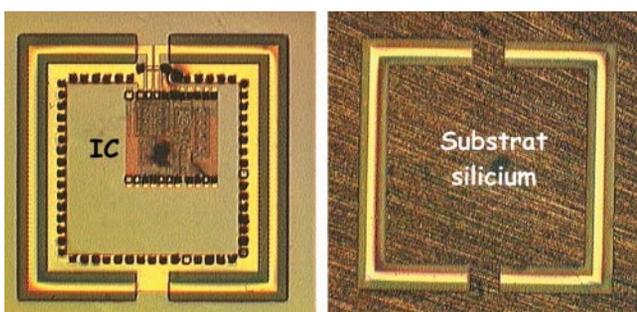


Fig. 1 : Exemple de circuit actif et masque de son intégration avec une antenne micro-usinée



Photographies faces avant et arrière d'une antenne micro-usinée autour d'un circuit intégré (IC)

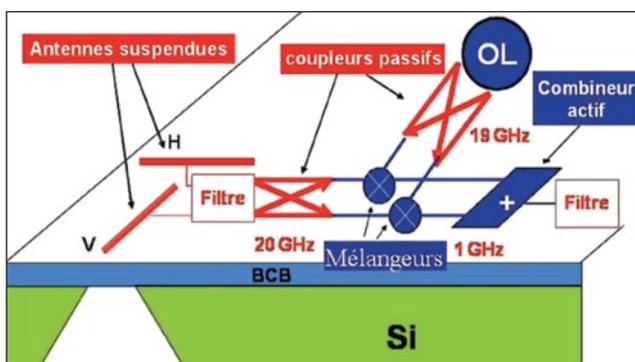


Fig. 2 : Intégration microsysteme à partir d'une filière technologique polymère

## Oscillateurs micro-ondes ultra stables pour PHARAO

Le refroidissement d'atomes par laser a conduit à des progrès spectaculaires dans le domaine des horloges atomiques. Lorsque ce type de dispositif est placé en microgravité, la dernière cause de mouvement des atomes disparaît, et l'interrogation du gaz de césium peut se faire plus efficacement, sur une durée plus importante. On obtient alors une source d'une stabilité en fréquence sans équivalent, et c'est précisément l'objectif du projet PHARAO (Projet d'horloge atomique à refroidissement d'atomes en orbite) qui consiste en une expérience embarquée sur la station spatiale internationale (ISS). Toutefois, le bon fonctionnement de cette horloge atomique suppose que la source d'interrogation du gaz de césium soit elle-même très pure (avant même sa synchronisation sur la raie atomique). La source micro-onde actuellement embarquée est une source synthétisée classique, basée sur un oscillateur à quartz. Cependant, d'autres approches plus novatrices sont étudiées, soit pour de futures missions de ce type, soit pour équiper les stations "sol" de ce programme. Il s'agit cette fois de générer directement une fréquence micro-onde très pure au voisinage de la fréquence du césium (9.2 GHz), grâce à un oscillateur utilisant un résonateur constitué d'un bloc de saphir monocristallin et un module amplificateur particulièrement optimisé en bruit de phase, à base d'un transistor silicium-germanium. Ce type de dispositif est étudié, depuis quelques années au LAAS, en collaboration avec le LPMO-CNRS Besançon et avec le soutien du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et du BNM (Bureau National de Métrologie). Les oscillateurs déjà développés constituent l'état de l'art actuel des sources libres en gamme centimétrique à température ambiante. De nouveaux dispositifs sont en cours d'étude. Ils feront appel à la cryogénie pour l'obtention de performances ultimes. ▶



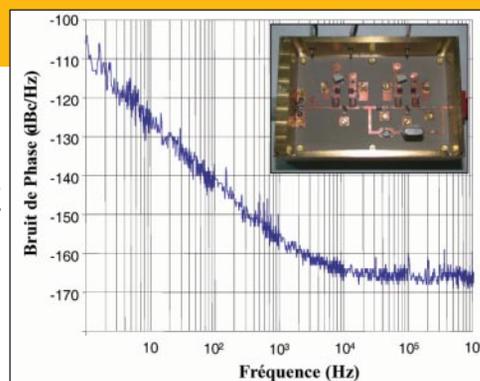
Caractérisation par battement de fréquence de deux sources saphir-TBH SiGe à 4.85 GHz. Le niveau (effectivement mesuré) de bruit de phase est de -138 dBc/Hz à 1 kHz de la porteuse

## Distribution optique de références de fréquence dans un satellite

La fibre optique présente de nombreux avantages sur un câblage classique pour les applications spatiales : outre son diamètre et son poids beaucoup plus faibles que ceux d'un câble coaxial, elle ne perturbe pas les dispositifs électriques ; elle assure d'autre part une bonne isolation du signal transmis et facilite l'accès à des éléments froids (antennes). Le remplacement, dans le satellite, de nombreux harnais de câbles coaxiaux par des faisceaux de fibres optiques est donc un objectif à moyen terme de l'industrie spatiale. Ceci ne peut se faire cependant sans une évaluation précise de la dégradation en termes de qualité du signal (bruit, intermodulation) qui peut résulter du passage par l'optique. En particulier, le rapport signal sur bruit est critique pour de nombreuses applications. C'est le cas lorsque l'on souhaite transmettre et distribuer dans le satellite des références de fréquence très pures (horloges).

Le LAAS est impliqué, avec Alcatel Space, dans cette problématique appliquée à des signaux de référence de fréquence allant de la gamme Radio Fréquence (RF) jusqu'aux hyperfréquences. Un des problèmes cruciaux, ayant fait l'objet d'une étude détaillée, est la distribution par fibre optique de la principale référence temps-fréquence du satellite : l'oscillateur ultra stable à 10 MHz. La solution choisie utilise un laser DFB à modulation directe comme émetteur et un conditionnement particulier du signal au niveau du récepteur réalisé à l'aide d'un photo-oscillateur. Le photo-oscillateur, un oscillateur synchronisé par l'onde optique modulée, permet de délivrer un niveau de signal constant en sortie et assure également un bruit de phase très faible au delà de 10 kHz de la porteuse (-165 dBc/Hz), même pour une distribution sur un grand nombre de récepteurs (50 environ). ▶

Bruit de phase d'une liaison optique 10MHz



CONTACT

Olivier Llopis  
courriel : llopis@laas.fr



# WCC 2004 a eu lieu!

Le 18<sup>e</sup> World Computer Congress, WCC2004, Congrès mondial des sciences et technologies de l'information et des communications s'est tenu à Toulouse du 22 au 27 août 2004. Après Beijing en 2000 et Montréal en 2002, Toulouse a ainsi été pour une semaine la capitale mondiale de l'informatique. Dans la sélection de Toulouse par l'Assemblée Générale de l'IFIP (International Federation for Information Processing, où sont représentés soixante pays), la présence de laboratoires de renommée internationale, en particulier l'IRIT, le LAAS et l'ONERA, œuvrant dans le domaine des STIC a été un facteur décisif. Organisé par le LAAS, la SEE et Europa Organisation sous l'égide de l'IFIP, le WCC 2004 a été, à l'unanimité des participants, un succès scientifique et organisationnel. Les retours ont été extrêmement positifs, voire élogieux, et l'implication de nombreuses personnes du LAAS y a contribué pour beaucoup.



Le témoignage de cette réussite collective a été formulé par le Président de l'IFIP, Klaus Brunnstein, dans son rapport écrit à l'Assemblée Générale de l'IFIP, qui s'est réunie juste après le Congrès (voir ci-contre). Ce rapport résume parfaitement ce qu'étaient les buts du LAAS dans l'organisation du WCC 2004 (dans sa présentation orale, Klaus Brunnstein a même dit "the best", au lieu de "one

of the best"). Ces buts peuvent être caractérisés par le mot-clé interactions :

- interactions scientifiques favorisées par la couverture thématique des conférences, et par la présence des "Topical Days", orthogonalement aux conférences,
- interactions sociales grâce aux manifestations auxquelles tous les participants étaient conviés.



Ci-dessus : Jean-Claude Laprie souhaite la bienvenue aux congressistes lors de la séance d'ouverture

Ci-contre : interaction sociale en œuvre au château de Pibrac

Page de droite : Jean-Luc Moudenc, maire de Toulouse, remet la médaille de la ville à Klaus Brunnstein, président de l'IFIP

## Le 18<sup>e</sup> World Computer Congress, un prélude à l'informatique omniprésente



### IFIP World Computer Congress 2004 in Toulouse: a large success!

With more than 1000 participants engaged in a rich program of 9 conferences, 14 topical days, 11 workshops, 12 tutorials and a rich student forum with 9 sessions, IFIP WCC-2004 was truly a large success. With excellent support from the French government, authorities and a wide range of sponsors, embedded into the well-known French hospitality, enriched with cultural events and culminating in an impressive evening in the beautiful court and park of the chateau de Pibrac, the World Computer Congress 2004 instantiated "the spirit of Toulouse" in WCCs participants and accompanying persons. We offer our thanks to the organisers and supporters, esp. Jean-Claude Laprie, Mme Marie Dervillers and Alain Costes, Reino Kurki-Suonio and the International Program Committee, as well as Leon Strous and Kluwer Academic Publishers and their Yana Lambert for having prepared an event which will be long remembered (besides the material products as 21 books and their electronic images) in IFIP and in the participants memories as one of the best organised IFIP World Computer Congresses ever.

Klaus Brunnstein, président de l'IFIP

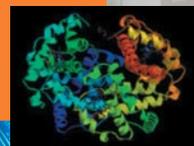
Que l'informatique ait induit une révolution dans notre manière de travailler, apprendre, vivre, est maintenant un lieu commun. Chacun peut en percevoir les effets et les conséquences dans sa vie de tous les jours. La perception, banalisée, que nous en avons est un ordinateur personnel connecté à l'Internet. Derrière cette perception, la révolution continue et est même en train de s'amplifier, se matérialisant par les systèmes dits enfouis, c'est-à-dire non directement perceptibles, mais bien présents. C'est déjà le cas dans de nombreux objets dont nous nous servons quotidiennement, tels l'électroménager, l'automobile, l'audiovisuel, le téléphone portable. Ce sera demain la généralisation dans des secteurs encore expérimentaux ou confinés à des niches spécialisées, depuis le vêtement jusqu'aux médicaments, en passant par la surveillance de notre environnement, créant un monde où l'informatique sera omniprésente.

Tous les ingrédients de cette informatique omniprésente ont été au centre des présentations et des débats du WCC 2004, où plus de 600 communications ont été présentées sous diverses formes aux 1100 participants venant de 71 pays : conférences plénières, colloques spécialisés, journées thématiques, ateliers, forum des étudiants.

Ont ainsi été présentés les plus récents progrès technologiques dans les systèmes enfouis, les cartes à puce, la réalité virtuelle, l'informatique mobile, l'intelligence artificielle, les interactions entre humains et systèmes informatiques, etc.

Egalement discutées les promesses véhiculées par la convergence des bio, nano- et info-technologies, ou par les robots personnels, d'assistance et de service. Les transformations que ces progrès induiront sur l'organisation de la société n'ont pas été ignorées, avec le commerce électronique, la conduite électronique des affaires et les entreprises virtuelles, le gouvernement électronique, ainsi que les questions d'éthique associées. Les dangers potentiels qui accompagneront inévitablement l'informatique omniprésente ont également été largement discutés, qu'il s'agisse des malveillances, de la dépendance des infrastructures essentielles (électricité, transport, santé, etc.) dans l'informatique, sans oublier le talon d'Achille que constituent les erreurs logicielles, et plus généralement les défaillances de toutes causes. Enfin, une place significative a été accordée à l'éducation, tant à l'informatique que par elle.

WCC 2004 a ainsi été un forum où ont été présentés et débattus réalité, promesses, espoirs, risques et dangers de l'informatique omniprésente.



Jean-Claude Laprie  
Président du WCC 2004

## Habilitations à diriger des recherches

■ 10 mars 2004

Par Gérard Montseny  
Représentation diffusive

■ 22 avril 2004

Par Jean-Marie Garcia  
Modélisation, commande et algorithmique des grands systèmes

■ 30 juin 2004

Par Denis Arzelier  
Théorie de Lyapunov, commande robuste et optimisation

■ 1<sup>er</sup> décembre 2004

Par Frédéric Morancho  
De nouvelles limites pour le compromis "résistance passante spécifique / tenue en tension" des composants unipolaires de puissance

■ 9 décembre 2004

Par Florent Lamiraux  
Algorithmique et commande du mouvement en Robotique

## Thèses

■ 9 février 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse  
Par Antonio Marin Hernandez  
Vision dynamique pour la navigation d'un robot mobile

■ 25 février 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Elvia Ruth Palacios Hernandez  
Contribution à la commande floue de type Takagi-Sugeno des systèmes non-linéaires

■ 27 février 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse  
Par Eric Marsden  
Caractérisation de la sûreté de fonctionnement de systèmes à base d'intergiciels

■ 2 mars 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse  
Par Il-Kyun Jung  
Cartographie et localisation simultanée en environnements 3D à partir de stéréovision

■ 12 mars 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse  
Par William Paquier  
Apprentissage Ouvert de Représentations et de Fonctionnalités en Robotique : Analyse, Modèle et Implémentation

■ 14 mai 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par David Trémouilles  
Optimisation et modélisation de protections intégrées contre les décharges électrostatiques, par l'analyse de la physique mise en jeu



## Pascal Belaubre,

chercheur au LAAS, a obtenu le prix de thèse **Le Monde de la recherche universitaire** pour sa thèse sur l'élaboration de biopuces à partir des technologies micro et nanosystèmes.

Menée au LAAS CNRS sous la direction de

Christian Bergaud et de Germain Garcia, sa thèse porte sur le développement de techniques innovantes de nanoadressage à la frontière entre les domaines des microtechnologies, de la biologie et de l'automatique.

Les biopuces sont des petits supports (lames de verre,...) recouverts de façon ordonnée par des dépôts de liquides biologiques (ADN, protéines,...) que l'on fait réagir avec un autre produit biologique. Ce dernier est marqué dans la plupart des cas en fluorescence. Les puces permettent ainsi d'analyser en quelques heures des milliers de séquences d'ADN, d'ARN ou de protéines. Il est ainsi possible de savoir immédiatement quels gènes répondent à l'action d'une molécule ou sont impliqués dans une maladie ou de déterminer l'expression de gènes de l'organisme étudié dans des conditions données.

Les travaux de sa thèse, basés sur l'utilisation des micro- et nanotechnologies, utilisent la technique de contact direct entre un outil déposant, un micro-levier et le support afin de déposer par capillarité des produits biologiques pour élaborer des biopuces. L'originalité du travail repose sur les dimensions géométriques permettant l'utilisation de volumes très faibles de produits, et sur le fait qu'il est possible de produire ces leviers en masse, à faible coût (rapport de 1 à 100) en utilisant des techniques conventionnelles de microfabrication en masse issues de la microélectronique.

Ces travaux ont fait l'objet d'un brevet international et sont intégrés dans un projet européen (NaPa). Plusieurs collaborations ont été mises en place notamment avec la plate-forme transcriptome du Génopôle de Toulouse afin de valider les protocoles biologiques mis en jeu dans ce type d'applications. Les développements en cours concernent principalement l'intégration de capteurs de force (piézorésistances) afin de garantir l'homogénéité du temps de contact et de la force d'appui des micro-leviers sur le support.

Le Monde de l'Education, avec le concours de la Fondation de France, de la Fondation Charles-Léopold Mayer, de la fondation Evens et de l'Office universitaire de presse, organisait pour la septième année consécutive cette opération visant à promouvoir les travaux de jeunes docteurs. Le concours permet de distinguer vingt jeunes docteurs qui se voient proposer la publication d'un article présentant leurs travaux à un large public. Ces articles prennent place dans un volume supplémentaire de la collection PUF/Le Monde, "Partage du savoir". ▶

CONTACT

Pascal Belaubre  
courriel : belaubre@laas.fr

## Christian Bergaud,

Directeur du LIMMS, première Unité mixte internationale  
du département STIC du CNRS

La première Unité mixte internationale (UMI) implantée en Asie a été créée par le CNRS et l'IIS (Institute of Industrial Science) de l'Université de Tokyo. Ses axes stratégiques de recherche concernent le développement de filières technologiques micro et nanosystèmes. Ils impliquent des activités dans le domaine des matériaux, des procédés technologiques, des techniques d'assemblages et d'intégration incluant le packaging, ainsi que dans le domaine de la modélisation et de la conception système. Les secteurs applicatifs visés sont la métrologie, les systèmes de communication avancés, la biologie et la santé.

L'UMI, créée le 25 juin 2004, est codirigée par un directeur français, Christian Bergaud, chargé de recherches au LAAS-CNRS, et un directeur adjoint japonais, Hiroshi Toshiyoshi. Elle est composée de chercheurs statutaires affectés par le CNRS et l'IIS, ainsi que d'étudiants de doctorats et de chercheurs post-doctoraux. Sa création correspond à un changement de statut du LIMMS (Laboratory for Integrated Micro Mechatronic System), laboratoire franco-japonais basé sur le campus de Komaba II de l'Université de Tokyo et opérationnel depuis 1995. Cette nouvelle structuration apporte au LIMMS une plus grande autonomie de fonctionnement ainsi que l'opportunité de participer à des programmes scientifiques nationaux et européens et d'intégrer les grands réseaux qui structurent l'espace de la Recherche, avec à la clé une véritable reconnaissance internationale. ▀



Christian Bergaud et une partie de son équipe à Tokyo, lors de la Beaujolais party

## Thèses

### ■ 15 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Marie-Laure Pourciel-Gouzy  
**Développement d'interfaces adaptées aux analyses biochimiques et biologiques - Application aux capteurs chimiques CHEMFETs**

### ■ 16 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier  
Par Badis Djeridane  
**Sur la commandabilité des systèmes non linéaires à temps discrets**

### ■ 18 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Efrain Jaime-Ang  
**Approximation analytique de la solution d'équations différentielles partielles par réseau de neurones artificiels : Application à la simulation thermique dans les micro-systèmes**

### ■ 21 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse  
Par Solange Lemai  
**IXTeT-eXeC : planification, réparation de plan et contrôle d'exécution avec gestion du temps et des ressources**

### ■ 23 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse  
Par Gianandrea Quadri  
**Contribution à l'étude de liaisons optiques analogiques pour la distribution de signaux de référence en gammes RF et micro-ondes**

### ■ 24 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse  
Par Noredine Abghour  
**Schéma d'autorisation pour applications réparties sur Internet**

### ■ 25 juin 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Catherine Mancel  
**Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoire issus d'applications spatiales**

### ■ 5 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées  
Par Ernesto Granado  
**Commande prédictive à base de programmation semi définie**

### ■ 6 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Ghislain Troussier  
**Intégration de bobines sur silicium pour la conversion d'énergie**

### ■ 6 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
Par Jérôme Valentin  
**Nouvelles approches d'intégration pour les microsystèmes optiques**

## Thèses

## ■ 7 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Abdelhakim Bourennane

**Etude et conception de structures bidirectionnelles en courant et en tension commandées par MOS**

## ■ 7 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Mathilde Sié

**Synthétiseurs de fréquence monolithiques micro-ondes à 10 et 20 GHz en technologies BiCMOS SiGe 0,35 et 0,25 um**

## ■ 12 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Mohamed Yacoub

**Conception des systèmes : Evaluation technico-économique et aide à la décision dans la conduite d'un projet "recherche"**

## ■ 16 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées

Par Miguel Gonzalez Mendoza

**Surveillance temps-réel des systèmes Homme-Machine. Application à l'assistance à la conduite automobile**

## ■ 21 juillet 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Cristina Simache

**Evaluation de la sûreté de fonctionnement de systèmes Unix et Windows à partir de données opérationnelles**

## ■ 17 septembre 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

Par Guillaume Lussier

**Test guidé par la preuve. Application à la vérification d'algorithmes de tolérance aux fautes**

## ■ 24 septembre 2004

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse (soutenance à huit clos)

Par Jean Duprez

**Automatisation du pilotage au sol pour la navigation aéroportuaire**

## ■ 15 octobre 2004

Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Thierry Miquel

**Contribution à la synthèse de lois de commande pour le guidage relatif entre avions de transport commercial**

## ■ 16 novembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées

Par Guillaume Auriol

**Spécification et implémentation d'une architecture de signalisation à gestion automatique de la QoS dans un environnement IP multi domaines**

## ■ Prix de thèse Jean LAGASSE 2003

*Le jury du Prix de thèse Jean Lagasse 2003, réuni le 9 septembre 2004 sous la présidence du professeur Marc Richetin, a distingué deux lauréats pour la première édition de ce prix.*

**Premier prix : Johann Sée**, pour une thèse de l'Université de Paris XI, préparée à l'Institut d'Electronique Fondamentale, UMR CNRS et intitulée : Théorie du blocage de Coulomb appliquée aux nanostructures semi-conductrices : modélisation des dispositifs à nanocristaux de silicium.

Né le 5 novembre 1977, Johann Sée est ancien élève de l'ENS de Cachan, agrégé en physique appliquée (1er) ; il est aujourd'hui Maître de Conférence à l'Université de Paris XI.

**Second Prix : Juan Cortés Mastral**, pour une thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, préparée au LAAS-CNRS et intitulée : Algorithmes pour la planification de mouvement de mécanismes articulés avec chaînes cinématiques fermées. Né le 15 août 1974, Juan Cortés est ingénieur de l'Université de Saragosse, Espagne ; il est aujourd'hui en séjour post-doctoral à l'Unité de Recherche en Biocatalyse, UMR CNRS, de l'Université de Nantes, et rejoindra prochainement le CNRS en tant que chargé de recherche affecté au LAAS.

*Le prix Jean Lagasse, en hommage au directeur-fondateur du LAAS, est destiné à récompenser chaque année une ou plusieurs thèses de doctorat, françaises ou en co-tutelle, dans le domaine des Sciences et technologies de l'information et de la communication. Y sont notamment appréciés l'excellence académique, la pertinence scientifique et l'impact socio-économique potentiel des travaux présentés.*

## ■ Prix INSATransfert 2004

**Frédéric Van Meer** a obtenu le prix INSATransfert 2004. Ce prix, ouvert aux doctorants de dernière année de l'INSA, est destiné à récompenser le meilleur travail de recherche fondamentale ou appliquée et son transfert technologique. Les travaux présentés par F. Van Meer : "Réalisation d'une instrumentation motorisée articulée intégrant un capteur d'effort pour la chirurgie laparoscopique télé-opérée : Projet EndoXiroB" sont le fruit d'un partenariat entre le LAAS et la société Sinters.

En octobre 2002, tandis qu'il était en première année de thèse, Frédéric van Meer avait été récompensé, avec Alain Giraud et Daniel Estève, par le prix Michel Benech du concours régional de l'innovation et par le Sitef d'Or. Il a eu également une mention spéciale aux Trophées de l'innovation 2004. Voir aussi les Lettre du LAAS n° 29 d'octobre 2002 et n° 30 de décembre 2002.

## ■ Prix de thèse Léopold Escande

L'INPT a décerné le prix de thèse de doctorat Léopold Escande à deux doctorants du LAAS :

**Solange Lemai**, pour sa thèse sur la planification dynamique de tâches (lire *Planification et contrôle d'exécution pour des robots d'exploration planétaire* page 7).

**Juan Cortes**, pour sa thèse sur la planification de mouvement pour chaînes cinématiques fermées.

## ■ Le LAAS accueille

### Jean-Louis BOIZARD,

Maître de Conférences à l'IUFM de Toulouse, à compter du 1/10/04 pour une période de 2 ans.

### Jérôme LAUNAY,

Maître de Conférences à l'Université Paul Sabatier, à compter du 1/01/05 pour une période de 2 ans.

### Igor BELOUSOV,

Leading Researcher de l'Institut Keldysh de Mathématique Appliquée (Académie des Sciences de Russie), à compter du 1/11/04 au 30/11/05.

### Jan SUDOR,

Ingénieur CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) à compter du 1/09/04, pour une période de 2 ans.

## ■ Hommage d'Actielec à Jean Lagasse

Une journée d'hommage à Jean Lagasse a été célébrée au sein de l'entreprise Actielec lundi 12 juillet 2004. Jean Lagasse, directeur-fondateur du LAAS en 1967 et décédé en 2003, fut Vice-Président du Conseil de Surveillance d'Actielec. La salle du Conseil d'Actielec a été baptisée salle Jean Lagasse.

## ■ Nominations, distinctions

**Norbert Fabre**, ingénieur de recherche et responsable du service Techniques et équipements appliqués à la microélectronique du LAAS, a reçu le Cristal du CNRS. Cette distinction récompense son investissement pour la mise en œuvre de la centrale de technologie du LAAS. Il s'agit de moyens technologiques lourds pour la recherche en microélectronique, optoélectronique, micro et nano technologies (voir la Lettre du LAAS n° 30 de décembre 2002).

**Didier Henrion**, chargé de recherche au LAAS et chercheur associé à l'Université Technique de Prague, a reçu la médaille de bronze du CNRS. Ses travaux portent sur les aspects numériques et algorithmiques de l'automatique. Il est co-développeur du logiciel domaine public LMI (résolution de problèmes d'optimisation polynomiale non convexes). Il est également impliqué dans une collaboration industrielle avec SNECMA Moteurs (commande robuste des moteurs d'avions).

Par décision de Bernard Larrouturou, directeur général du CNRS, **Robert Plana**, professeur à l'Université Paul Sabatier est nommé, à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2005, directeur de département scientifique par intérim pour le département des sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC), en remplacement d'Antoine Petit, en charge de la direction inter-régionale (DIR) Sud-Ouest.

**Anne-Marie Gué**, directrice de recherche au CNRS et responsable du groupe Microsystèmes et Intégration des Systèmes au LAAS, a été nommée membre de la Section 08 du Comité national de la recherche scientifique.

**Isabelle Queinnec**, chargée de recherche au CNRS et Membre du groupe Methodes et Algorithmes en Commande au LAAS, a été élue membre de la Section 07 du comité national de la recherche scientifique.

## Thèses

### ■ 19 novembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées

Par Patricia Pascal

**Gestion de ressources pour des services déportés sur des groupes d'ordinateurs avec qualité de service garantie**

### ■ 10 décembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse

Par Dragos Stoica

**Analyse, représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire**

### ■ 10 décembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Emmanuelle Despontin-Monsarrat

**Aide à la décision pour une coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande**

### ■ 14 décembre 2004

Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées

Par Tatiana Kempowsky

**Surveillance de procédés à base de méthodes de classification : Conception d'un outil d'aide pour la détection et le diagnostic des défaillances**

### ■ 17 décembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Par Abdelali Rennane

**Caractérisation et Modélisation du Bruit Basse Fréquence des composants Bipolaires et à Effet de champ pour applications Micro-ondes**

### ■ 17 décembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Salle de Conférences

Par Benoît Viallet

**Conception d'un amplificateur optique à 1300 nm : spectroscopie de couches minces de LaF3 dopé Nd3+ et développement de procédés technologiques innovant**

### ■ 20 décembre 2004

Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

Par Petra Schmitt

**Une recherche méthodologique pour l'évaluation prédictive de la fiabilité des microsystèmes en ambiance spatiale**

### ■ 22 décembre 2004

Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de

l'Espace, Supaero

Par Emmanuel Zenou

**Localisation topologique, amers visuels et treillis de Galois**

**EDCC-5**

**5th European Dependable Computing Conference**

Conférence européenne sur la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques

<http://sauron.inf.mit.bme.hu/EDCC5.nsf>

20-22 avril 2005, Budapest, Hongrie

Les domaines d'intérêt de la conférence couvrent les différents volets de la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques. Les thèmes qui seront abordés couvrent la théorie, les techniques et les outils pour la conception, la validation, l'exploitation et l'évaluation des systèmes en prenant en compte des fautes accidentelles et des fautes malicieuses. Outre la présentation de travaux de recherche, des exposés sont prévus sur des retours d'expérience concernant des cas d'études industriels, et sur des outils de test logiciel et de test matériel. La conférence comportera également des présentations de projets en cours sur la sûreté de fonctionnement.

■ Contact

**Mohamed Kaâniche**  
(président du comité des programmes)

[mohamed.kaaniche@laas.fr](mailto:mohamed.kaaniche@laas.fr)

**EUROPEAN MICROWAVE WEEK**

[www.eumw2005.com](http://www.eumw2005.com)

Paris, France, 3-7 Octobre 2005



European Microwave Week est l'événement majeur européen dans le domaine des radiofréquences, des micro-ondes, des radars et des technologies sans fils. Capitalisant le succès des années précédentes (Amsterdam 2004, Munich 2003, Milan 2002, Londres 2001), l'événement est de nouveau de retour à Paris après cinq ans et se déroulera au CNIT La Défense à Paris. European Microwave Week accueille quatre conférences couvrant l'ensemble des thématiques de recherche dans le domaine des micro-ondes, de nombreux WorkShops et Tutoriaux ainsi qu'une exposition de plus de 8000 m<sup>2</sup>. L'événement fournira aux communautés scientifiques académiques et industrielles (4000 participants sont attendus) l'opportunité de se tenir au courant des derniers développements technologiques et sera le lieu de forum de discussions des dernières tendances et d'échanges scientifiques et techniques.

■ Contacts

**Robert Plana**  
[plana@laas.fr](mailto:plana@laas.fr)

**David Dubuc**  
[dubuc@laas.fr](mailto:dubuc@laas.fr)

**CoNEXT'2005**

1<sup>ère</sup> conférence internationale sur les technologies réseaux émergentes et leurs expérimentations

En coopération avec ACM SIGCOMM

<http://www.co-next.net>

Toulouse, France, 24-27 Octobre 2005



CoNEXT a pour ambition de devenir une conférence de référence dans le domaine des technologies réseaux émergentes. Sous le patronage du réseau d'excellence européen E-NEXT (<http://www.ist-e-next.net/>), cette nouvelle conférence réunit plusieurs conférences de qualité existantes, mais destinées à des communautés plus étroites et cloisonnées. L'objectif est donc de favoriser les synergies entre ces communautés.

CoNEXT est conçue comme une conférence ouverte et multi-sessions destinée à promouvoir les études à long terme et à contribuer à l'intégration des recherches en réseaux à l'échelle internationale.

■ Contacts

**Michel Diaz**  
[diaz@laas.fr](mailto:diaz@laas.fr)

**Philippe Owezarski**  
[owe@laas.fr](mailto:owe@laas.fr)

**Le LAAS**

Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes

Unité propre de recherche du CNRS associée à l'UPS, l'INSAT et l'INPT

**502 personnes dont**

- 170 chercheurs et enseignants-chercheurs
- 181 doctorants et 42 post-doctorants et chercheurs en poste d'accueil
- 110 ingénieurs et techniciens

**Département**

**scientifique CNRS :**

Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC)

**La lettre du LAAS**

Publication du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS

7, avenue du Colonel Roche  
31077 Toulouse Cedex 4  
Tél. : 05 61 33 62 74  
Fax : 05 61 55 35 77  
Courriel : [laas-contact@laas.fr](mailto:laas-contact@laas.fr)  
Web : <http://www.laas.fr>

**Directeur de la publication**

Malik Ghallab,  
directeur du LAAS-CNRS

**Rédactrice en chef**

Marie-Hélène Dervillers

**Comité éditorial**

Slim Abdellatif, Sophie Bonnefont, Franck Carcenac, Andrei Doncescu, Jean Fanchon, Katia Grenier, Marie-José Huguet, Marc-Olivier Killijian, Florent Lamiroux, Jean-Pierre Laur, Gérard Mouney, Patrick Pons, Christophe Prieur, Josiane Tasselli



Pour recevoir gratuitement La Lettre du LAAS, merci de nous adresser vos coordonnées professionnelles.