

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

### éditorial

Un microsystème n'est pas qu'un objet manufacturé de taille micrométrique, de grande complexité, et où interviennent des processus mécaniques, thermiques, électriques, magnétiques, optiques, fluidiques, chimiques et/ou biologiques. C'est aussi et surtout un objet manufacturé par les techniques de fabrication de masse issues de la lithographie électronique ; ces mêmes techniques qui ont donné lieu en moins de 40 ans aux évolutions spectaculaires de la microélectronique (7 à 8 ordres de grandeur en nombre de transistors par circuit, en coût, en énergie consommée, en vitesse de traitement et de transmission des données, en capacités de stockage, etc.). Un microsystème peut intégrer des capteurs physiques (inertiels, de pression, de température, de distance, de luminance, etc.), chimiques et biochimiques, des micro actionneurs, des fonctions de récupération et de gestion de l'énergie, de communication RF ou optiques, et bien entendu, de traitement de l'information.

Les microsystèmes offrent de nouvelles possibilités d'instrumenter et d'agir à un niveau très fin, de façon massive et économe, en coût et en énergie. Le spectre de leurs applications et de leurs enjeux socio-économiques est vaste : systèmes embarqués dans l'aéronautique, l'espace, l'automobile et les transports, dans l'environnement, dans les technologies médicales pour le diagnostic et l'action thérapeutique, dans la domotique, pour la communication, l'interaction, les applications ludiques et "grand public". Les défis scientifiques et technologiques que soulèvent les microsystèmes sont tout aussi vastes et interdisciplinaires. Le positionnement national et international du LAAS sur ces défis est excellent, en particulier via une large participation à une quinzaine de projets européens FP6 et à autant de projets ANR sur ces sujets, ainsi qu'à des partenariats structurants, dont plusieurs laboratoires communs recherche - industrie. On trouvera dans ce numéro de la Lettre du LAAS quelques exemples de ces défis, projets et partenariats, en cours au laboratoire.

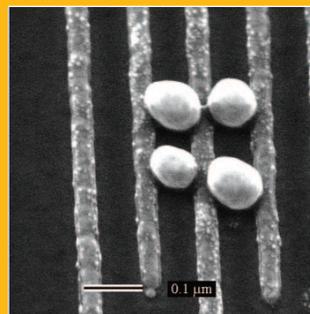
Le Plan stratégique du LAAS 2007-2010 prévoit une focalisation de nos travaux sur les microsystèmes autour de quatre axes, dont trois sur des secteurs applicatifs essentiels, biologie et chimie, communication, et gestion de l'énergie, et un 4<sup>ème</sup> axe, transverse et méthodologique, sur la conception de microsystèmes embarqués. Ces quatre axes stratégiques mobilisent d'ores et déjà un potentiel de plus de 100 cadres scientifiques et techniques et autant de jeunes chercheurs ; ils ambitionnent un objectif de croissance volontariste.

Ces quatre axes s'appuient sur un investissement structurant : la plate-forme technologique microsystèmes. Grâce au soutien du Contrat de plan Etat-Région, du plan national RTB, du CNRS, et du Club de affiliés du LAAS, c'est un investissement de plus de 12 M€ déjà engagés, dont 50% en équipements et 50% dans le projet immobilier (le bâtiment Jean Lagasse, dont la 2<sup>ème</sup> tranche sera achevée fin 2006, qui offrira au total 1500 m<sup>2</sup> de salle blanche, et 700 m<sup>2</sup> de salles grises et de caractérisation). On prévoit 8M€ d'investissement en équipements complémentaires au cours du prochain quadriennal. Cette plate-forme ouverte se veut être un investissement de recherche sur les microsystèmes, structurant pour toute la région. Son comité d'orientation comporte les représentants de neuf laboratoires et établissements partenaires ; les modalités d'accueil des projets partenaires ou exogènes fonctionnent d'ores et déjà pour 44 projets. J'espère que ce numéro de la Lettre du LAAS vous informera sur les possibilités que cette plate-forme pourrait ouvrir à vos recherches et projets. Je vous en souhaite une bonne lecture.

Malik Ghallab

Directeur du LAAS-CNRS

### Micro et nanotechnologies au LAAS



De la communication jusqu'à la santé, des micro et nanosystèmes aux applications très variées



Nouvelle plateforme technologique

## Micro et nanotechnologies au LAAS

# Des efforts de recherche adaptés aux enjeux

Le domaine d'activité des micro-systèmes est né à la fin des années 80 et a très vite mobilisé des efforts de recherche importants compte tenu de ses enjeux économiques et industriels. Le point de départ a été l'intégration sur silicium de structures comportant des pièces mobiles actionnées de manière électrostatique (MEMS). Le concept n'a pas cessé depuis lors de s'enrichir et de se diversifier : MOEMS, MEMS-RF, ... Sur la base des travaux menés sur les composants électroniques : transistors bipolaires et MOS, composants de puissance, composants optoélectroniques, le LAAS a accompagné ce développement depuis son origine et a enrichi sa panoplie de technologies.

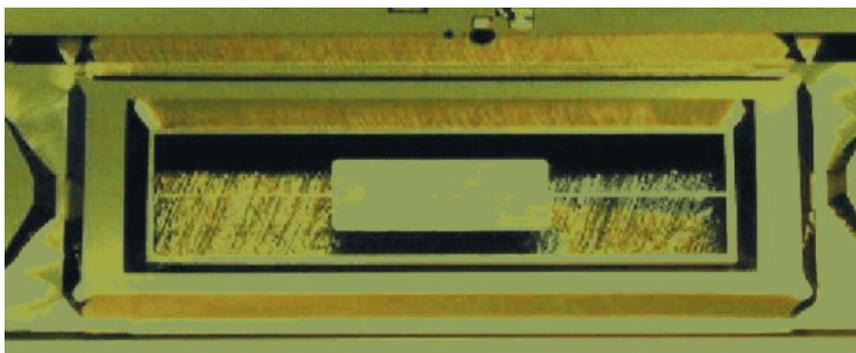
Aujourd'hui, les thématiques du Pôle Micro et nanosystèmes impliquent environ 70 cadres scientifiques du LAAS, 60 doctorants et 15 post-doctorants distribués dans six groupes de recherche et travaillant en étroite collaboration avec les deux services techniques du laboratoire, l'un centré sur la technologie des composants et des micro et nano systèmes, l'autre sur l'informatique et l'instrumentation. Les travaux portent sur les micro et nanotechnologies, la conception, la fabrication et la caractérisation de composants et de micro-systèmes pour de nombreux domaines applicatifs tels que les communications, la gestion de l'énergie, la santé, l'environnement et les transports. Les motivations générales de ces travaux sont :

- la réduction des dimensions,
  - la maîtrise du processus de conception, ainsi que l'intégration de matériaux, de technologies et de fonctions, pour la réalisation de nouvelles fonctions ou de nouveaux systèmes intégrés
  - l'accroissement des performances, de la fiabilité, et de la robustesse,
  - la fabrication de masse à bas coût.
- Ces travaux peuvent être décrits selon trois grands champs émergents.

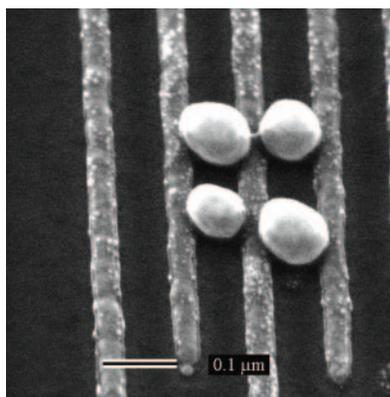
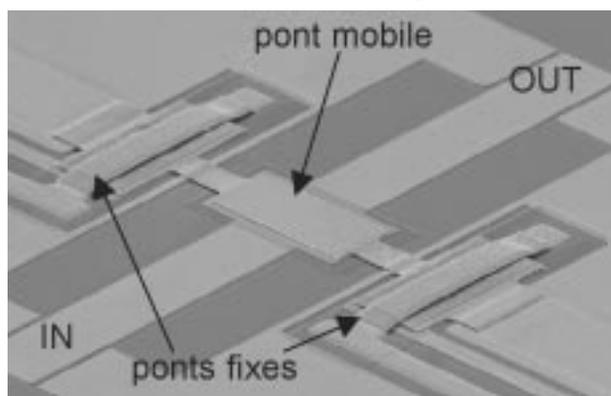
**Les micro et nanosystèmes pour l'information et la communication,** basés sur des filières technologiques Si et GaAs. Les composants et systèmes associés sont les sources laser à semi-conducteur III-V à émission par la tranche ou par la surface (VCSELs), les photodétecteurs, les micro miroirs pour le routage et l'optique adaptative, les circuits hyperfréquence, et les micro-systèmes RF ou optiques.

**Les micro et nanosystèmes pour la physique, la chimie et les sciences du vivant.** Les travaux portent ici sur les capteurs utilisant des composants microélectroniques, les biodétecteurs et les actionneurs à base de MEMS et de nanodispositifs, les fonctions de la microfluidique et leur intégration (laboratoire sur puce), ainsi que les structures de nanoadressage.

Micromiroir sur silicium

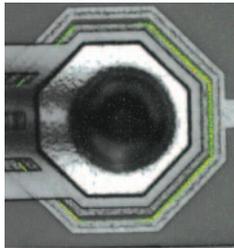


Module de communication 24GHz ultra compact

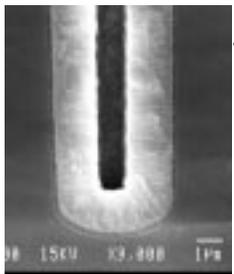
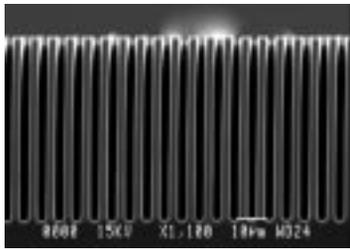


Nanodispositif de détection immunologique ultra-sensible. Les électrodes de 30 nanomètres de large détectent des nanoparticules métalliques de 80 nanomètres de diamètre qui se fixent sur des anti-corps cibles.

**Les micro systèmes pour la gestion de l'énergie.** L'objectif, dans ce domaine, est d'améliorer les performances et les fonctions des composants électroniques de puissance en proposant de nouvelles architectures semiconductrices, intégrant des fonctions de commande et de protection, mais également d'évoluer vers l'intégration de micro-convertisseurs mettant en jeu des composants actifs et passifs.



Protection ESD

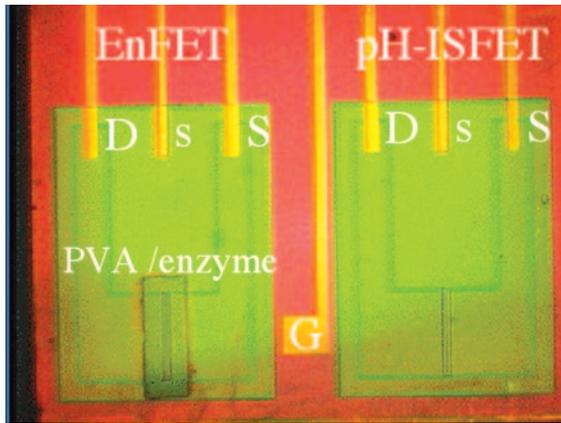


Condensateur sur silicium pour convertisseur DC-DC, vue globale et détail

Les évolutions de ces grands domaines impliquent d'importantes mutations technologiques, comme par exemple :

- le développement et l'adaptation des procédés d'intégration des technologies silicium en vue d'applications pluridisciplinaires,
- l'utilisation grandissante des matériaux organiques issues des technologies polymères, ainsi que des matériaux magnétiques, diélectriques, piézo électriques réalisés en couches minces,
- le développement de technologies compactes tridimensionnelles pour l'intégration, l'encapsulation et le conditionnement fonctionnel,
- la forte émergence des technologies de fonctionnalisation et de nanostructuration.

L'ensemble de ces travaux a pour support la plateforme technologique, et un centre de caractérisation, couplé à cette plate-forme, qui permet d'assurer



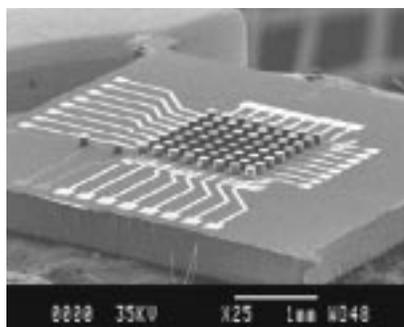
Micro-capteur pour la détection enzymatique

les caractérisations physiques et électriques des procédés technologiques et des composants et systèmes étudiés.

Cette plateforme est le résultat d'une évolution continue de moyens technologiques de réalisation de composants et microstructures mis en place avec le laboratoire dès 1968. Support à la majeure partie des actions de recherche du LAAS, ses moyens ont été adaptés aux thématiques scientifiques du laboratoire : composants silicium et III-V, microtechnologies, nanotechnologies. Aujourd'hui, la plate-forme technologique du LAAS compte parmi les cinq plates-formes nationales soutenues dans le cadre du plan RTB (recherche technologique de base) élaboré par le ministère de la Recherche et des nouvelles technologies, le CNRS et le CEA. Au delà de son rôle interne, cette plate-forme a été un acteur essentiel au niveau régional et national. Son expertise est reconnue pour la mise au point d'échantillons supports d'études dédiés à la communauté scientifique, ou pour la réalisation de prototypes avec des partenariats industriels. Au niveau européen, la plateforme a participé au projet IMPACT d'accès aux infrastructures pour les micro-systèmes.

**Jean-Louis Sanchez**  
Sous-directeur du LAAS-CNRS  
Responsable du pôle micro  
et nanosystèmes  
sanchez@laas.fr

Micro-éjecteurs matriciels



## Sommaire

### Editorial

par Malik Ghallab

### Actualité scientifique 2

- Micro et nanotechnologies au LAAS : Des efforts de recherche adaptés aux enjeux
  - Des "nano" pour la "bio"
  - Vers des microsystèmes communicants intelligents
  - Systèmes de gestion de l'énergie : des filières technologiques en évolution
- Systèmes sur puce : Une nouvelle génération de synthétiseurs hyperfréquence
- Point de vue : Pour un accès aux technologies dans le monde académique
- De la microélectronique aux micro-nanotechnologies
- Serveurs Internet : Une architecture tolérante aux intrusions

### Europe 13

- ReSIST, réseau d'excellence européen sur la résilience informatique
- Napa, un projet intégré européen sur le "nanopatterning"
- NanoCMOS, repousser les limites de la technologie CMOS

### Expérience 17

- Daisuke Saya, chercheur sur poste d'accueil au LAAS : "J'aimerais rester en France"

### Partenariat, Valorisation 19

- Microsystèmes communicants : Un réseau de capteurs intelligents pour la détection de mouvement
- LAAS-Freescale Semiconducteurs : Dix ans de partenariat, un troisième laboratoire commun

### Rubriques 20

- Brèves 20, 21, 22, 23
- Habilitations à diriger des recherches 22
- Thèses 21, 22, 23
- Le LAAS accueille 23
- Conférences 23, 24

## Des “nano” pour la “bio”

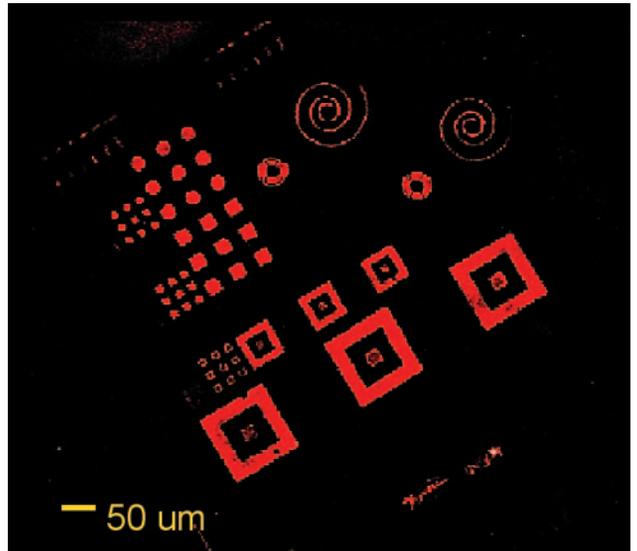
*Le mariage des biotechnologies et des technologies de la miniaturisation constitue un des secteurs les plus prometteurs pour les nanotechnologies. La recherche académique dans ce domaine travaille à la fois avec des médecins et avec des industriels, l'enjeu social étant particulièrement important dans le secteur de la santé.*

Le vocable “Nanobiotechnologies” recouvre le couplage des micro et nanotechnologies (ensemble de techniques dérivées de la microélectronique) avec les biotechnologies. Il inclue le concept de “lab-on-a-chip”, ou laboratoire sur puce en français, ou le terme plus technique de  $\mu$ TAS pour Micro-total-analysis-system, c'est-à-dire des systèmes capables de manipuler des échantillons de solutions, de les trier, de les purifier, de les mélanger, de les analyser et de délivrer un signal numérique en sortie. Sur un plan plus académique, l'enjeu est de mettre en œuvre les nouvelles techniques et les savoir-faire récents issus des développements de la nanophysique (microscopes en champ proche, nano-composants...), les avancées spectaculaires de la chimie (polymères, auto-assemblage, chimie supra-moléculaire, greffage...) au service de l'étude fine à l'échelle de la biomolécule unique de nombreux mécanismes biologiques fondamentaux (moteurs biologiques, activités enzymatiques, machineries ADN, ARN...). Sur le plan des applications, toutes sortes de biopuces miniatures ou de biocapteurs spécifiques verront le jour, qui bouleverseront complètement la ma-

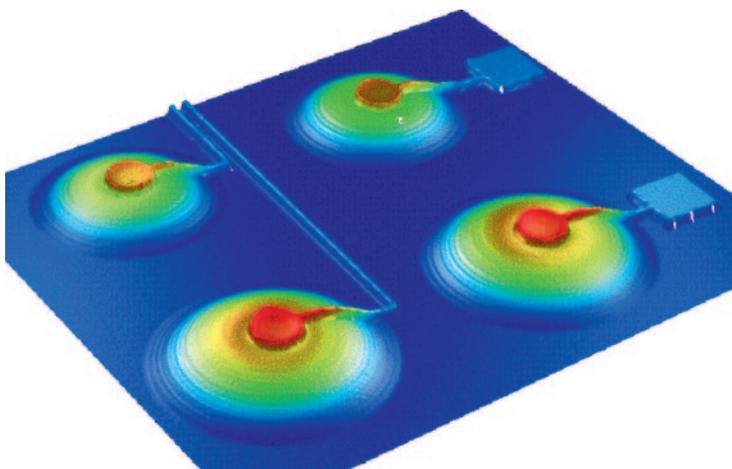
nière d'appréhender les analyses médicales, le dépistage, la détection de contaminants, le criblage de médicaments et à plus long terme la thérapie. Utiliser des nano-systèmes pour étudier les mécanismes élémentaires d'interactions entre biomolécules et de régulation des fonctions biologiques passe par la capacité de notre technologie à isoler des éléments biologiques élémentaires (nucléotides, protéines, cellules...), à les manipuler sans dénaturer leurs fonctionnalités, et à mesurer des signaux permettant d'accéder à leur mode de fonctionnement. Ces objectifs nécessitent la mise en place d'outils technologiques nouveaux, de très haute précision spatiale (la taille des biomolécules d'intérêt est inférieure à 10 nm) et qui garantissent l'intégrité des entités

biologiques. Au sein du LAAS, le groupe “Nano” associé à la plateforme Biopuces de la Génopole de Toulouse développe ces nouveaux procédés et s'intéresse à deux verrous technologiques pour lesquels la miniaturisation à l'échelle micrométrique ou nanométrique présente des avantages évidents :

**Le “biopatterning”** : Il s'agit d'immobiliser sur une surface différents types de biomolécules : ADN, protéines, peptides, enzymes, sucres... On cherche ainsi à mettre au point des procédés permettant le dépôt contrôlé de très petites quantités de solution (<femtolitre) voire de biomolécules à l'unité. Un microsystème innovant a notamment permis de fabriquer des puces à protéines en déposant



“Biopatterning” d'oligonucléotides fluorescents déposés manuellement par lithographie douce sur une lame de verre.



Micro-membranes de 300 µm et 600 µm équipées d'un système d'excitation et de biodétection mécanique à base de céramiques piézoélectriques

## Vers des microsystèmes communicants intelligents

*L'environnement intelligent est un champ de recherche en pleine expansion. Il requiert des systèmes de communication, par voie optique ou hertzienne, miniaturisés et aux fonctionnalités augmentées et diversifiées. Des travaux du LAAS portent sur des systèmes micro-électro-mécaniques, dits MEMS pour la radiofréquence ou MOEMS pour l'optique, visant à réaliser des systèmes intelligents et capables de communiquer entre eux.*

des volumes de solution de l'ordre du picolitre. Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation de réseaux de microleviers en silicium dotés de réservoirs qui permettent par contact avec la surface de déposer des spots biologiques de manière parallélisée et automatisée. Une autre approche utilise une méthode de "tamponnage moléculaire" plus connue sous le nom de "lithographie douce" qui permet de réaliser des motifs de taille et de forme contrôlées sur une surface par impression directe à partir d'un tampon.

**La détection intégrée :** il s'agit dans ce cas d'utiliser des nanosystèmes afin de mesurer des signaux électriques, mécaniques ou optiques permettant de comprendre les mécanismes d'interaction entre biomolécules. Dans cet esprit, des microsystèmes mécaniques à base de membranes résonnantes sont étudiés afin de détecter de manière intégrée à une puce des interactions spécifiques entre biomolécules. A une échelle de miniaturisation encore plus poussée, nous développons également des nanoélectrodes qui permettent de transformer en signal électrique l'interaction spécifique entre biomolécules. La dernière née des techniques utilisées passe par l'optique. L'interaction biologique est alors mesurée par variation de l'intensité diffractée par un motif de biomolécules arrangées en réseau périodique à l'échelle nanométrique.

Les applications poursuivies sont nombreuses : diagnostic fin du diabète de type I, détection ultra-sensible de marqueurs cancéreux, criblage de médicaments. La recherche académique se couple avec les industriels (Innopsys, Pierre Fabre) et les médecins (Institut Claudius Regaud). Ce couplage est vital car la société attend beaucoup des nanotechnologies dans le secteur de la santé et des produits commerciaux nouveaux issus des nanotechnologies doivent désormais apparaître.

### CONTACT

Christophe Vieu • [vieu@laas.fr](mailto:vieu@laas.fr)

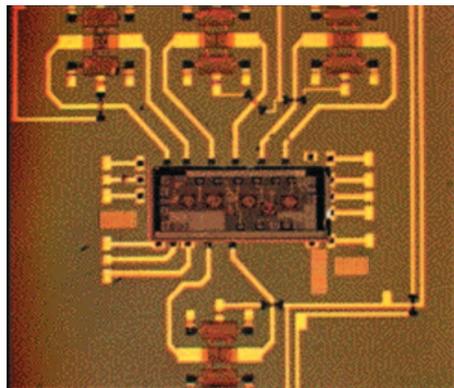
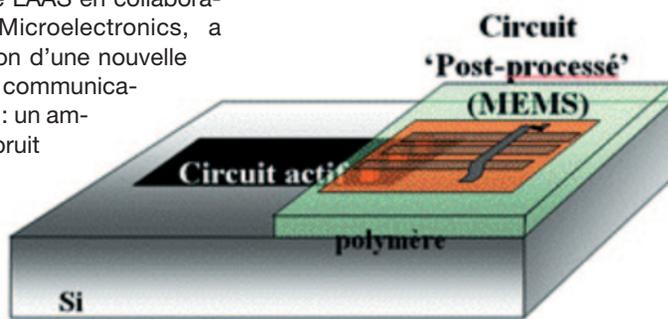
Ces dernières années ont vu naître de nouvelles structures, appelées systèmes micro-électro-mécaniques, aussi bien pour les transmissions de données hyperfréquences qu'optiques (d'où leur nom respectif MEMS RF pour RadioFréquence et MOEMS pour l'optique), dont les performances sont reconfigurables grâce à l'actionnement de parties mobiles. L'introduction de ces nouvelles fonctions dans les microsystèmes se heurte à de nombreuses difficultés dues essentiellement à la variété des filières technologiques, qui rendent les procédés de fabrication peu compatibles entre eux. A ce jour, la voie la plus avancée pour la réalisation de microsystèmes électro-mécaniques hyperfréquences ou optiques repose sur l'hybridation des différents éléments reconfigurables, actifs et passifs, sur un substrat silicium pouvant comporter des éléments mécaniques ou électroniques préalablement réalisés. Dans ce cadre, le LAAS en collaboration avec ST Microelectronics, a étudié l'élaboration d'une nouvelle architecture de communication micro-ondes : un amplificateur faible bruit reconfigurable en fréquence à l'aide de capacités variables MEMS insérées dans les réseaux d'adaptation entrée et sortie du microsystème. Ainsi, au lieu de multiplier le nombre de circuits nécessaires aux diverses bandes de fréquence utilisées habituellement par la téléphonie mobile, l'emploi de structures MEMS assure la reconfigurabilité en fréquence avec un seul et même circuit fabriqué.

Ce circuit a été optimisé pour fonctionner aux fréquences HYPERLAN et BLUETOOTH (à 2.45 et 5.5GHz respectivement) et est très compact grâce à son intégration tri-dimensionnelle.

De façon analogue, l'intégration de fonctions photodétectrices pour une gamme de longueurs d'onde appropriée peut directement bénéficier de l'utilisation du silicium, qui offre la possibilité de leur associer, de façon monolithique, des fonctions électroniques de conditionnement et de

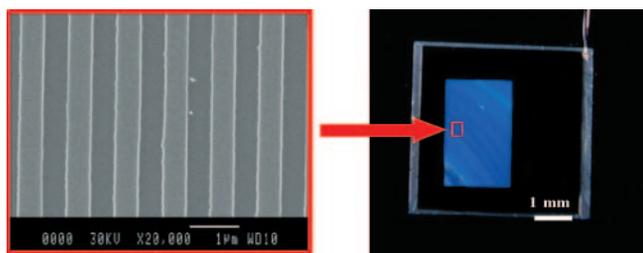


Le principe, et sa réalisation, d'un amplificateur faible bruit reconfigurable en fréquence à l'aide de capacités variables MEMS



traitement du signal. Ainsi, par la mise en œuvre d'une technologie compatible CMOS, on peut envisager des procédés de fabrication collective à faible coût, et obtenir des composants compacts et robustes dont un atout supplémentaire réside dans la suppression de la plupart des liaisons électriques externes. Dans ce contexte, une étude d'intégration monolithique de fonctions optique et photo-déetectrice sur silicium a conduit à la réalisation d'un prototype de détecteur de déphasage optique.

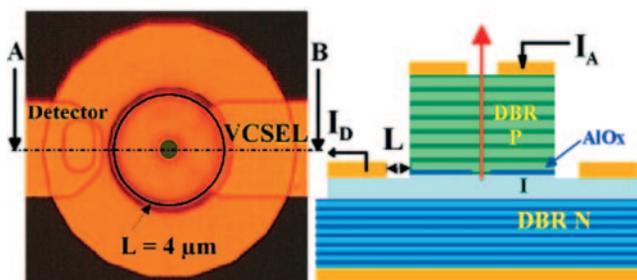
Les nouvelles technologies développées, aussi bien pour les communications optiques que hertziennes, permettent donc, grâce à des intégrations dites monolithiques, de fabriquer des produits très miniaturisés comportant de plus en plus de fonctionnalités, notamment à l'aide de MEMS et MOEMS. Le transfert d'informations étant un élément primordial à tout système électronique, les applications visées par ces travaux sont très vastes et incluent notamment les communications civiles ou militaires, par la télé-



Vue détaillée et générale d'un détecteur monolithique de déphasage optique

Dans le cadre de la détection intégrée, il est souvent nécessaire de mesurer la puissance moyenne délivrée par une source laser afin de la maintenir constante. Ce monitoring est souvent réalisé par hybridation d'un photodétecteur externe et implique le prélèvement d'une partie de la puissance émise (émission stimulée). Notre approche générique mesure l'émission spontanée souvent considérée comme perdue et inutile, comme indiqué sur l'illustration ci-dessous.

phonie mobile comme par réseaux à très haut débit à fibres optiques. Elles vont dans le sens d'un environnement toujours plus intelligent : radars anti-collisions dans nos futures voitures, réseaux de capteurs intégrés à nos axes routiers et communicants avec nos véhicules pour prévenir d'un danger. Dans le domaine médical, elles pourraient, par l'insertion de microlaboratoires pilotables à distance, offrir des solutions non invasives au traitement de certaines maladies.



Photographie et principe de fonctionnement d'un VCSEL à détecteur intégré

Même s'il n'y a pas de corrélation directe entre ces deux émissions, en asservir l'une revient à contrôler l'autre. Cette détection intégrée permet d'atteindre un niveau de courant conséquent appréciable pour de l'instrumentation et notamment en réinjection optique. Cette détection intégrée confère une autoréparabilité à la fonction optique réalisée.

#### CONTACT

Katia Grenier • grenier@laas.fr

## Systèmes de gestion de l'énergie

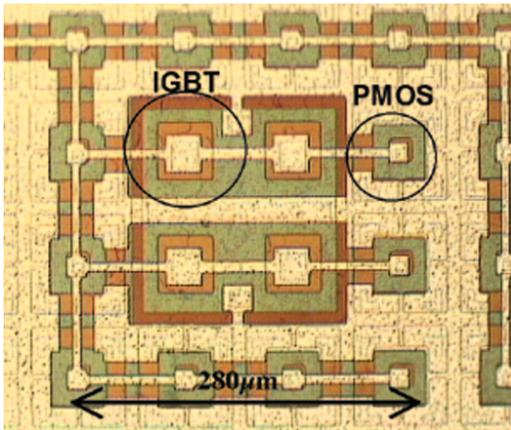
### Des filières technologiques en évolution

*Electronique nomade, avions et automobiles "tout électrique"... , la solution électronique se généralise et requiert de nouvelles architectures de conversion de l'énergie adaptées à des exigences nouvelles. Le LAAS étudie des filières originales, dans le domaine de la technologie et des nouveaux matériaux, qui représentent une rupture technologique avec les solutions actuelles.*

Dans de nombreux domaines (télécommunications, électronique grand public, domotique, informatique, électronique automobile, transports...), l'accroissement des performances est liée à une augmentation des tensions, fréquences et températures de fonctionnement des composants. Une intégration totale des systèmes de gestion de l'énergie est visée, basée sur une fabrication collective afin de conserver les possibilités de réduction de taille, de coût et de pertes. Ces systèmes de gestion de l'énergie doivent être non seulement performants mais également robustes et fiables dans des conditions de fonctionnement en régimes extrêmes (température, surcharges inductives...) ou d'agressions extérieures (radiations, ESD, EMI...), notamment lorsqu'il s'agit de systèmes embarqués. S'appuyant sur sa plate-forme technologique et l'étude de matériaux nouveaux, le LAAS propose de nouvelles filières technologiques de puissance pouvant répondre à ces besoins.

#### Une filière flexible dédiée à l'intégration fonctionnelle de puissance.

Cette filière est composée de briques technologiques optimisées et compatibles entre elles. Celle-ci est établie autour d'un processus auto-aligné à grille polysilicium, type IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) ou



Photographie des cellules de la fonction micro-disjoncteur (IGBT et PMOS à canaux préformés)

thyristor-MOS et complétée par des étapes technologiques spécifiques telles les régions différenciées en dopage sur les faces avant et arrière du substrat ou la formation de canaux préformés. Elle a été utilisée pour la réalisation de capteurs de tension d'anode, dans le cadre de la réalisation de structures de protection des IGBT contre les courts-circuits, ainsi que des dispositifs plus complexes procédant du mode d'intégration fonctionnelle comme des micro-disjoncteurs dont la tenue en tension est de 300V. Dans la perspective d'évoluer vers des structures bidirectionnelles en tension, un procédé permettant la fabrication de murs traversant en polysilicium dopé bore a été développé et des dispositifs ayant une tenue en tension symétrique de 250V ont été réalisés.

#### Une filière CMOS/LIGBT à isolation diélectrique partielle.

Cette filière permet d'intégrer des fonctions électriques travaillant à des niveaux de courant et de tension très différents. En particulier, peuvent coexister sur un même substrat, les circuits de contrôle (CMOS), avec les circuits traitant l'énergie comprenant les composants de puissance de type LDMOS ou LIGBT (Lateral IGBT). Cette filière s'appuie sur la technologie LEGO (Lateral Epitaxial Growth over Oxide) qui permet la réalisation à faible coût de structures à isolation diélectrique (SOI : Silicon On Insulator) partielle. Le procédé LEGO implique une phase critique de recristallisation

en phase liquide d'une couche de silicium polycristallin déposée sur le film isolant. L'isolation, pour être totale, est complétée par des structures latérales pouvant être des diffusions ou des tranchées remplies d'oxyde et de polysilicium.

Pour développer le procédé LEGO, dans le cadre du laboratoire commun LCIP II (lire page 20) le LAAS a apporté ses compétences en fours de recuits thermiques rapides (RTP). Les résultats obtenus à ce jour confirment la possibilité de réaliser des structures SOI de plusieurs millimètres carrés dont les qualités cristallographiques sont compatibles avec la réalisation de composants IGBT. Ainsi la faisabilité de composants LDMOS et LIGBT avec une tenue en tension de l'ordre de 300V a pu être démontrée.

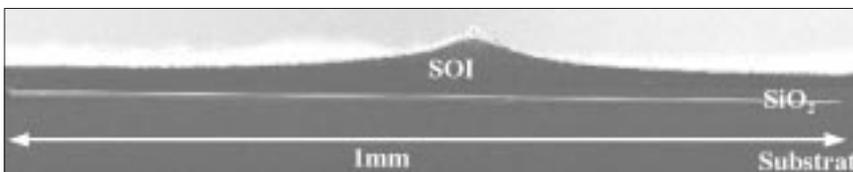
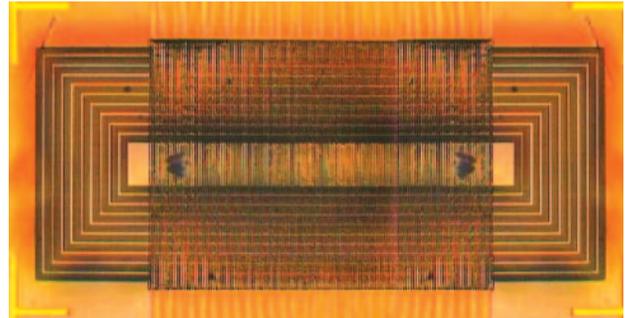
#### Une filière pour composants passifs intégrés.

La fabrication de composants passifs intégrés: bobines, condensateurs, transformateurs dont les performances doivent être adaptées aux contraintes de puissance à convertir, constitue un verrou pour l'intégration complète d'un convertisseur d'énergie

de faible puissance (quelques watts). La filière des composants passifs sur substrat de silicium ou verre est basée sur des technologies utilisées pour les microsystèmes et focalisée sur procédés basses températures compatibles avec la technologie des éléments actifs du dispositif. En particulier, elle prévoit l'élaboration de matériaux magnétiques (alliages fer-nickel) par voie électrochimique pour la réalisation de noyau de fer des microbobines, ainsi que de conducteurs épais déposés sur plusieurs niveaux. Une structure en spirale, conçue pour des niveaux d'inductance de l'ordre du microhenry et pouvant fonctionner à 500 kHz a été fabriquée avec trois niveaux de matériaux : cuivre et fer-nickel. La réalisation de condensateurs présentant des densités de capacité de quelques dizaines de nF/mm<sup>2</sup> est faite quant à elle, par gravure ionique réactive profonde du silicium, dépôts de diélectriques et de polysilicium dopé dans des tranchées.

Ces nouvelles filières technologiques, représentent un gage de réussite pour le développement de nouveaux systèmes intégrés et performants de conversion de l'énergie

Prototype de bobine de type "spirale" pour convertisseur DC-DC



Photographie MEB suivant la largeur d'un motif SOI de 2mm<sup>2</sup> (1mm x 2 mm), entièrement monocristallin.

#### CONTACT

Magali Brunet • [mbrunet@laas.fr](mailto:mbrunet@laas.fr)

## Systèmes sur puce

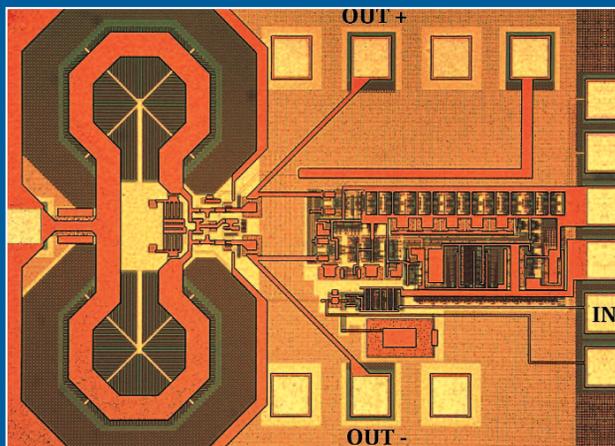
# Une nouvelle génération de synthétiseurs hyperfréquences

L'objectif de diminution des dimensions et du prix de revient des systèmes de télécommunication oriente les conceptions vers l'approche SoC ("System on Chip", en français : "Système sur puce"). De tels systèmes imposent l'intégration avancée de sources synthétisées, qu'il convient de mener au mieux par des techniques originales de conception et une numérisation poussée, sans compromis sur les performances souhaitées. La synthèse de fréquences est une des fonctions les plus utilisées et les plus critiques du domaine des télécommunications. En effet, n'importe quel standard de communication se doit de disposer de nombreux canaux multiplexés, en fréquence notamment (AMRF : Accès multiple par répartition de fréquences), et nécessite donc un système programmable de génération de fréquences. De plus, les techniques modernes de codage ou de cryptage d'informations prévoient, pour un canal d'information donné, des sauts de fréquences

pseudo-aléatoires très rapides (dont la séquence change en fonction du canal et n'est connue que du récepteur), imposant dès lors une bonne agilité en fréquence des synthétiseurs utilisés. Enfin, la qualité de la transmission étant conditionnée à une bonne stabilité du signal généré, il est indispensable que le synthétiseur de fréquences génère des signaux de bonne pureté spectrale. La tendance actuelle est à la numérisation totale de la synthèse de fréquence, permettant de la rendre encore plus compacte, versatile et agile en fréquence, offrant ainsi toutes les performances évoquées précédemment. Elle est obtenue par un nouveau type de synthèse : la synthèse digitale directe (DDS), sur laquelle les travaux de recherches évoluent actuellement.

### CONTACT

Éric Tournier • [tournier@laas.fr](mailto:tournier@laas.fr)



Un exemple d'intégration complète d'un synthétiseur de fréquences basé sur une boucle à verrouillage de phase semi-numérique, réalisé au LAAS. Ce circuit génère une fréquence au voisinage de 10 GHz, dans une bande de 500 MHz et occupe une surface de 1300x800  $\mu\text{m}^2$ .

## Point de vue

Structure en épi de la nouvelle salle blanche du LAAS (de gauche à droite : gravure, métallisation, chimie, électrochimie, centrale de masque, photolithographie).



La technologie microélectronique au LAAS-CNRS est, comme le détaille Norbert Fabre (lire page 10), une aventure de 40 ans, sous forme d'une série de progrès technologiques qui nous amènent aujourd'hui aux nanotechnologies. Cette aventure ne s'est pas faite sans de très nombreuses discussions sur les motivations de s'engager dans la voie des technologies puis d'y choisir les voies les plus pertinentes pour la recherche... Le LGE (Laboratoire de génie électrique, dont est issu le LAAS) puis le LAAS dans les années 60 ont d'abord développé une activité de caractérisation des transistors bipolaires et des transistors MOS, en accompagnement du développement de ces composants : effets de la température et dérives dans le temps n'avaient aucun secret pour le laboratoire. Cette compréhension des mécanismes fonctionnels a amené les équipes à s'impliquer dans le développement des modèles. Faut-il rappeler par exemple que les modèles IBIS sur les transistors bipolaires pouvaient, dans les années 60, proposer une représentation fonctionnelle complète incluant les effets structurels internes, les effets de surface, les effets de première et de deuxième avalanche....

Les succès engendrent de nouvelles ambitions dont celle de pouvoir rétroagir sur les technologies pour optimiser les composants et en créer de nouveaux : cette option a longtemps été controversée, comme celle de créer au CNRS un département de Sciences de l'ingénieur. Le LAAS tout entier est resté groupé et s'est mobilisé pour défendre ses points de vue. Ceux-ci ont fini par s'imposer avec la nomination de Jean Lagasse, directeur-fondateur du LAAS, à la direction

# Pour un accès aux technologies dans le monde académique



du nouveau département des Sciences pour l'ingénieur du CNRS. S'opposer à l'émergence d'une recherche en technologie au CNRS peut paraître aujourd'hui une attitude irresponsable, compte tenu de la réalité du développement technico-économique depuis 40 ans. Au nom de la priorité donnée à la recherche fondamentale, ces oppositions ont perduré jusqu'à l'émergence des microsystèmes dans les années 90, où l'on a pu mesurer combien il serait difficile de combler un défaut de maîtrise dans les technologies :

- difficulté pour valider des idées innovantes sur la création de nouveaux composants ou sur l'intégration de systèmes multifonctionnels,
- difficulté pour rester un partenaire crédible, sans bien connaître les exigences technologiques, dans tous les partenariats nationaux et européens.

L'intérêt national d'une recherche s'appuyant sur la maîtrise technologique est aujourd'hui parfaitement accepté avec la création récente du réseau de grandes centrales technologiques pour la Recherche technologique de base (RTB) qui identifie plusieurs pôles d'excellence dans ce domaine dont celui du LAAS. La France est aujourd'hui dotée d'un réseau technologique avec une grande diversité des technologies telles que décrites ci-dessous.

On considère aujourd'hui les nanotechnologies comme un axe de développement stratégique, d'une part dans la poursuite des premiers travaux sur la microélectronique (le LAAS continue de contribuer à la microélectronique ultime), et d'autre part vers les matériaux et composants moléculaires : les ambitions sont devenues considérables avec les matériaux nanostructurés

et les matériaux biologiques pour tenter de dégager des nouveaux principes de fonctionnement basés sur l'exploitation des architectures moléculaires.

On peut dire que les micro-nanotechnologies sont devenus des produits et des supports du développement. Il faut continuer d'aller dans le même sens de faciliter l'accès aux technologies pour la recherche. Les enjeux sont encore plus considérables :

- dans le secteur des communications ambulatoires et de la création d'objets autonomes, communicants, sans fils,...

- dans le secteur de la santé sur des objectifs de surveillance et de diagnostic précoce des maladies,
- dans les secteurs de la sécurité, de l'environnement,...

Les technologies de leur côté se sont multipliées : les machines sont le plus souvent automatiques et doivent être mises en œuvre par des procédés de conception complexes. C'est un enjeu pour le LAAS-CNRS que de préparer ces nouvelles plateformes adaptées à la conception.

**Daniel Estève**

Directeur du LAAS de 1981 à 1984

## Le LAAS et le plan national RTB

### Recherche technologique de base

Le LAAS a mis en place un comité d'orientation du pôle toulousain du plan national RTB. Ce comité permet d'associer des laboratoires régionaux dans la définition des grandes orientations du pôle et le suivi de son fonctionnement. Il est constitué des personnes suivantes :

- Alain Barthélémy, Institut de recherche en communications optiques et microondes, IRCOM, Limoges
- Joël Bertrand, Laboratoire de génie chimique, LGC, Toulouse
- Jean-Jacques Bonnet, Laboratoire de chimie de coordination, LCC-CNRS, Toulouse
- Alain Boudet, Institut des technologies avancées en sciences du vivant, ITAV, Toulouse

- Alain Claverie, Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, CEMES-CNRS
- Daniel Gasquet, Centre d'électronique et de micro-optoélectronique de Montpellier, CEM2
- Philippe Perdu, CNES, Toulouse
- Yvan Ségui, Laboratoire de génie électrique, LGE, Toulouse
- André Touboul, Laboratoire IXL, Bordeaux
- Didier Théron, CNRS, Coordination RTB

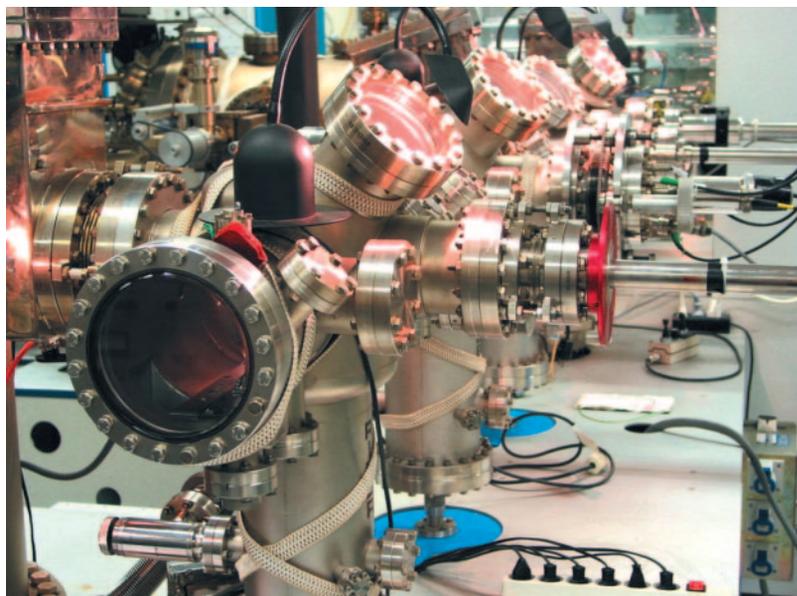
Et au LAAS de :

- Malik Ghallab
- Jean-Louis Sanchez
- Chantal Fontaine
- Norbert Fabre
- Monique Dilhan

# De la microélectronique aux micro-nanotechnologies

*La technologie microélectronique au LAAS-CNRS, c'est une aventure de près de 40 ans, qui a connu des évolutions qui ont marqué sa destinée. Norbert Fabre, ingénieur de recherche au LAAS et responsable des techniques et équipements appliqués à la microélectronique, les a accompagnées depuis la création du laboratoire. Des premières technologies sur silicium, développées dans les sous-sols du LAAS, aux derniers équipements fortement automatisés de la nouvelle salle blanche, il raconte l'évolution parallèle des techniques et des recherches qu'elles ont permises.*

**A** la naissance du LAAS, dans les sous-sols du laboratoire, une première équipe de précurseurs, composée de six ingénieurs et techniciens et d'une trentaine de chercheurs, a développé une technologie sur silicium pour étudier des composants élémentaires (diodes, transistors) sur des équipements dont la majorité avaient été récupérés chez les industriels. Une première machine, considérée à l'époque comme d'avant-garde, a été conçue et fabriquée par une équipe technique réduite : le premier implantateur d'ions du LAAS est né, après deux années de construction et de péripéties ! Le concept, bien que dépassé aujourd'hui, était cependant solide et cette machine a fonctionné jusqu'en 1986, après plus de 10 ans de services et des aptitudes à produire des faisceaux d'ions de bore, sélénium, magnésium, hydrogène, zinc, hydrogène, à température ambiante ou jusqu'à 800°C, à des énergies qui pouvaient atteindre 150KeV.



Bâti d'épitaxie par jet moléculaire pour matériaux III-V

## LA PREMIÈRE SALLE BLANCHE EN MILIEU ACADÉMIQUE

En 1977, un autre matériau, l'arséniure de gallium, est venu perturber cette technologie silicium, et l'épitaxie en phase liquide a été développée sur des fours conçus et construits au laboratoire. Les premières diodes laser et les premiers transistors bipolaires ont vu le jour. Il a fallu acquérir d'autres équipements pour faire une place à ce nouveau matériau dont la technologie n'était pas compatible avec celle du silicium.

En 1979, nous avons inauguré une nouvelle salle blanche de 275 m<sup>2</sup> et nous pouvions nous enorgueillir à l'époque d'avoir la première salle blanche créée en milieu académique. C'est alors qu'un tournant a été pris et que l'épitaxie par jets moléculaires a été initiée, d'abord sur un bâti expérimental développé au laboratoire et quelques années plus tard sur un bâti RIBER. Cette acquisition a sonné le glas et la disparition de l'épitaxie en phase liquide.

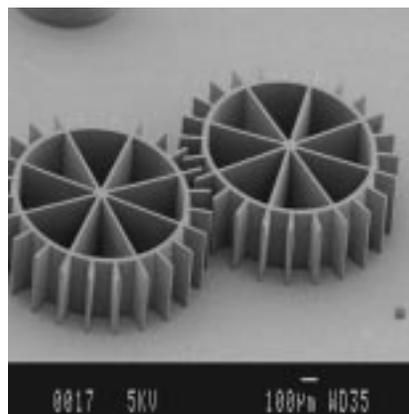
Cette technologie, tout comme le développement des technologies submicroniques et la forte intégration, ont vu le silicium connaître une phase de récession en terme de nombre de projets.

Ce n'est qu'après 1990, avec l'avènement des microtechnologies, qu'il a repris un nouvel essor. Les technolo-

gies des composants microélectroniques ont conduit au développement de nouveaux dispositifs mécaniques, comme le micromoteur électrostatique : un mélange de couches actives et de nouvelles couches, dites "couches sacrificées". L'aventure s'est poursuivie avec l'apport de dispositifs chimiques, comme le capteur d'oxygène dissous, qui ont nécessité de nouvelles technologies comme les dépôts électrochimiques et l'extension des gravures chimiques anisotropes à base de TMAH et KOH. Une nouvelle photolithographie d'accompagnement s'est développée : la lithographie double face. En 1995 une autre photolithographie a vu le jour : la lithographie de résines épaisses, qu'on a appelée alors "le LIGA du pauvre".

## NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS, NOUVEAUX CONCEPTS

Aujourd'hui, électrochimie, résines épaisses, matériaux diélectriques en couches minces, (oxydes, nitrides, silicium polycristallin) gravures chimiques et par plasma sont les ingrédients d'une génération de nouveaux dispositifs (inductances, capacités, filtres et commutateurs micro ondes, micro propulseurs, micro injecteurs, micro miroirs, micro pompes...). Certains préféreront employer les termes de MEMS et de MOEMS. Aux



Microstructure réalisée en résine épaisse SU8 (300µm de hauteur)

Machine automatique cassette à cassette de dispense de résines photosensibles

côtés de composants de puissance et de circuits intégrés de puissance sont apparus des termes nouveaux comme : les passifs ; la microfluidique ; les microcapteurs ; les microactionneurs, et pour englober et intégrer toutes ces technologies : l'assemblage ! Le terme de "micro" connaît aujourd'hui un nouveau compagnon de route : le "nano", qui parle de composants à plus petite échelle et donc d'autres moyens technologiques regroupés autour de la lithographie électronique ; cette dernière ne sera-t-elle pas détrônée demain par un autre candidat : la "soft lithographie" ? Cette évolution a été conduite par un ensemble homogène de chercheurs, ingénieurs et techniciens. Un autre élément consécutif à l'augmentation du nombre de projets est la consommation en matériaux ou fluides qui connaît une croissance moyenne de 20 à 30 % par an ! Cette croissance est facilitée par les nouveaux équipements fortement automatisés, et de nouveaux concepts de travail : il n'est pas rare de voir un doctorant se déplacer en salle blanche avec son lot de 25 plaques de silicium ; quelques années plus tôt, nous travaillions à l'unité, les plus téméraires avec quelques pièces.

On parle de machines automatiques cassette à cassette, de machines pouvant travailler en temps partagé, de diamètre de plaque de 150 mm, de traitements collectifs et d'autres termes pouvant sembler antinomiques comme la flexibilité ou la spécialisation. Ce nouveau vocabulaire s'est parfaitement intégré dans le concept de la nouvelle salle blanche du bâtiment Jean Lagasse. 700 m<sup>2</sup> consacrés à la recherche, avec une structure modulable capable de s'adapter à de nouvelles exigences en qualité d'environnement de matériaux, de machines, et de personnel.

La structure dite en "épi" est par principe une structure ouverte, où tous les équipements sont accessibles dès l'entrée en salle blanche, c'est aussi un clin d'œil à sa vocation de plate-forme technologique. Quant au personnel technique, il accompagne et souvent précède ces évolutions, y compris dans sa formation ; on ne parle plus aujourd'hui de physico-chimiste mais, les événements montrent que le nom devrait s'inverser et l'appellation serait plutôt chimico-physicien.

**Norbert Fabre**

Responsable du Service Techniques et équipements appliqués à la microélectronique au LAAS  
nfabre@laas.fr

## Plateforme Mode d'emploi

La mission de la plateforme technologique du LAAS est d'être le support des équipes de recherche du laboratoire et de ses partenaires. La plateforme repose sur les activités du service Techniques et équipements appliqués à la microélectronique, TEAM, et sur le potentiel scientifique du pôle Micro et nano-systèmes, MINAS. Dans le cadre de la constitution du réseau national des grandes centrales de technologie, elle a vocation à être une plateforme technologique nationale ouverte aux laboratoires partenaires.

Les moyens technologiques sont financés par l'ANR et les ressources propres du LAAS. 44 projets ont été accueillis ces trois dernières années. Ceux-ci sont de nature diverse : prestations de service, projets collaboratifs ou projets exogènes. Pour accéder à la plateforme, il suffit de rédiger une demande de soutien qui permettra d'évaluer la faisabilité du projet, son coût et les délais. Monique Dilhan, ingénieur de recherche au LAAS-CNRS, est chargée de l'analyse de ces demandes. Si le projet peut être réalisé au LAAS, un interlocuteur, chercheur ou ingénieur, sera chargé de suivre sa réalisation. S'il n'est pas réalisable au LAAS, il sera redirigé vers les autres centrales du réseau (IEMN, IEF, LPN, FEMTO, FMNT). Si un chercheur extérieur au LAAS y est accueilli, une convention sera établie et sa formation assurée grâce à des cours de technologie (21 modules sont disponibles).

### CONTACT

Monique Dilhan • dilhan@laas.fr

Pour en savoir plus sur la plateforme technologique : [www.laas.fr](http://www.laas.fr), cliquer sur : La plateforme technologique

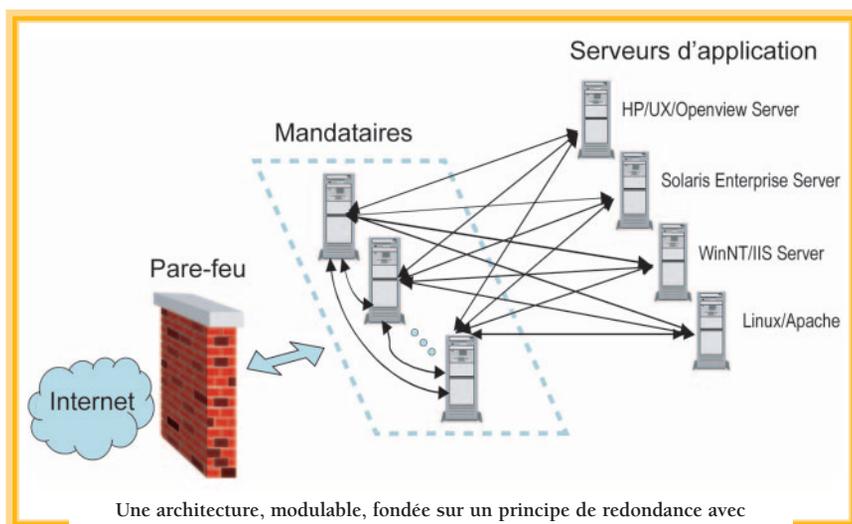
### DE LA PHYSICO-CHIMIE À LA CHIMICO-PHYSIQUE

Des termes nouveaux sont apparus pour la dénomination des machines.

## Serveurs Internet

# Une architecture tolérante aux intrusions

*Le nombre d'utilisateurs du réseau Internet est en constante augmentation, avec son corollaire d'utilisateurs malveillants, toujours plus compétents et prompts à exploiter les vulnérabilités de systèmes informatiques, eux-mêmes d'une complexité croissante. Comment prémunir les serveurs Internet contre ces intrusions ?*



Une architecture, modulable, fondée sur un principe de redondance avec diversification : le service étant rendu par plusieurs serveurs utilisant des matériels, systèmes opératoires et logiciels différents.

Les machines fournissant des services sur Internet sont les cibles d'attaques récurrentes, comme l'accès frauduleux à des informations, l'empêchement de leur consultation ou même leur destruction. Comment permettre à un serveur Internet, potentiellement vulnérable, de continuer à fonctionner normalement en dépit d'interventions malveillantes ? En proposant une architecture capable de les "tolérer". C'est l'objectif des travaux réalisés au LAAS, dans le cadre du projet DIT : Dependable Intrusion Tolerance, en collaboration avec SRI International, institut de recherche américain indépendant, avec un financement de l'agence de la défense américaine, la DARPA.

Une attaque vise généralement les vulnérabilités spécifiques à un matériel ou un logiciel et reste inopérante sur les autres. Les travaux réalisés au LAAS proposent une architecture, modulable, fondée sur un principe de redondance avec diversification : le service n'étant pas rendu par un serveur unique mais par plusieurs serveurs utilisant des matériels, systèmes opératoires et logiciels différents. L'architecture envisagée comporte ainsi plusieurs serveurs Web, redondants et diversifiés, mais également plusieurs ordinateurs qui jouent

le rôle de mandataires tout en mettant en œuvre la politique de tolérance aux intrusions. L'un d'eux, élu "meneur", représente le serveur Web du point de vue des utilisateurs extérieurs. C'est lui qui reçoit les requêtes des clients destinées aux serveurs, puis les transmet, après vérifications, à un nombre variable de serveurs Web. L'adaptabilité est en effet une des originalités de cette architecture. Le niveau de redondance s'adapte à celui de l'alerte, pouvant passer du mode simplex (envoi des requêtes à un seul serveur Web) aux modes duplex, triplex (envoi des requêtes à deux ou trois serveurs et comparaison des résultats), ou global (envoi des requêtes à tous les serveurs Web et comparaison des résultats).

La pluralité des mandataires, qui se surveillent entre eux, permet à chaque instant le remplacement du meneur jugé défaillant par un autre. Ce remplacement s'opère grâce à un système de gestion des alertes, qui, selon leur nature, prend en permanence des décisions de reconfiguration de l'architecture. Là encore s'applique le principe de redondance et de diversification. Les alertes proviennent de systèmes de détection d'intrusions variés, les avantages des uns compensant les faiblesses des autres. Par

exemple, l'un de ces outils de détection, SNORT, est basé sur l'analyse de traces réseaux, un autre vérifie à distance l'intégrité de fichiers sur les serveurs Web. Ce dernier outil a été développé dans le cadre du projet. Deux variantes de cette architecture ont été étudiées, correspondant à des systèmes cibles différents. La première adaptée à des systèmes relativement statiques, où les mises à jour peuvent être faites hors-ligne, la seconde, plus générique, pour des systèmes dynamiques où les mises à jour sont faites en temps réel. C'est le cas par exemple d'un système de réservation d'agent de voyage. Dans cet exemple, la solution proposée consiste à utiliser un mandataire "adjudicateur" chargé, en collaboration avec le meneur, de gérer les accès à la base de données. L'implémentation d'un démonstrateur, présentant les fonctionnalités d'un serveur Web d'agence de voyages sur Internet, a permis de vérifier la faisabilité et d'expérimenter l'architecture. Les tests réalisés ont pu montrer que les dégradations de performances, induites par les mécanismes de sécurité mis en œuvre, sont suffisamment faibles pour rester acceptables. Surtout au regard de la menace, bien réelle, de la cybermalveillance, voire de la cybercriminalité à grande échelle. C'est un réseau d'un million et demi

## Portes ouvertes au LAAS, sauf pour les intrusions

600 visiteurs ont été accueillis au LAAS à l'occasion de la 14<sup>e</sup> édition de la fête de la science. Après les 140 collégiens et lycéens venus en semaine, ce sont 460 visiteurs qui ont profité de l'ouverture des portes du LAAS, samedi 15 octobre dernier, pour découvrir les recherches menées au laboratoire et rencontrer les chercheurs, ingénieurs et techniciens qui les conduisent. Ils ont ainsi pu découvrir les outils informatiques pour la sécurité des systèmes, mais aussi pour le diagnostic, de la voiture à la chimie ou à la pétrochimie, les outils de la communication sur Internet, les techniques d'automatisation des systèmes de transport. Au cœur de la révolution des micro et nanotechnologies, ils ont vu plusieurs des instruments qui forment une chaîne de fabrication des puces de demain, présentés et expliqués par ceux qui les font vivre au quotidien. "Bravo pour cette journée !" a écrit un groupe d'étudiants, "les démonstrations sont intéressantes et vivantes." Très "vivantes" en effet.

Durant la démonstration sur la tolérance aux fautes et la sûreté de fonctionnement informatique, et particulièrement sur les serveurs web tolérants aux intrusions, les participants ont eu l'occasion d'observer en direct une réelle tentative d'attaque, qui a échoué. Ils ont ainsi pu mesurer l'intérêt et la pertinence des solutions développées au LAAS pour se prémunir contre ce type de menace.

## ReSIST

Réseau d'excellence européen sur la résilience informatique, coordonné par le LAAS



L'état actuel des connaissances et du savoir-faire permet de raisonnablement maîtriser le développement, le déploiement et l'exploitation de systèmes informatiques critiques. Criticité vis-à-vis de la mise en jeu de vies humaines (comme, par exemple, dans la signalisation ferroviaire, l'avionique, la commande-contrôle nucléaire), ou criticité vis-à-vis de possibles pertes financières (comme, par exemple, dans les traitements transactionnels). La situation change radicalement pour les grands systèmes émergents, évolutifs, en réseaux fixes ou mobiles, qui mettent en œuvre des applications aux exigences toujours plus fortes. Les données statistiques sur les défaillances de ces systèmes émergents, qui préfigurent l'informatique omniprésente, mettent en évidence le creusement d'un véritable fossé en termes de sûreté de fonctionnement entre ces systèmes et les systèmes critiques initialement mentionnés.

Comblé ce fossé, en en contrecarrant les deux causes principales : complexité et pression économique, passe par un changement d'échelle de la sûreté de fonctionnement.

A côté, et en complément, de la majorité des travaux actuels, qui privilé-

gient la recherche d'approches de conception rigoureuses afin de minimiser vulnérabilités et fautes résiduelles, ReSIST se focalise sur la tolérance aux diverses classes de fautes susceptibles d'entraîner des défaillances. Les recherches conduites dans ReSIST visent à développer des concepts, modèles, politiques, algorithmes et mécanismes permettant de doter l'informatique omniprésente de résilience aux fautes physiques et aux fautes de développement résiduelles, aux attaques malveillantes, aux erreurs d'interaction, et de rendre cette résilience elle-même capable d'étendre sa portée.

Pour atteindre ces buts, les équipes partenaires de ReSIST sont convenues de restructurer leurs recherches, en les faisant évoluer des technologies de construction de la résilience vers les technologies d'extension de la résilience.

Une première phase portera sur l'intégration des technologies de construction de la résilience, sa conception, sa vérification, son évaluation, afin qu'elles soient à même de faire face conjointement aux diverses classes de fautes évoquées. Dans ce dessein, les activités de conception de la résilience mettront l'accent sur la

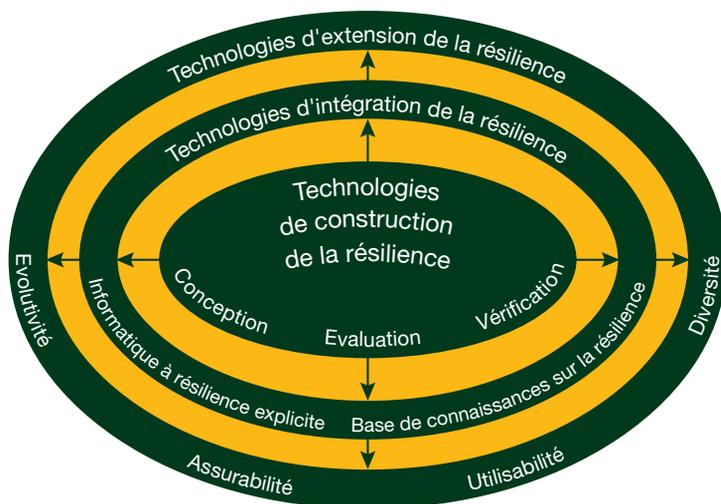
d'ordinateurs "piratés" qui a, par exemple, été démantelé en octobre dernier par les polices allemande et néerlandaise. Les ordinateurs, infectés, étaient utilisés pour attaquer des sociétés américaines dans le but de voler des mots de passe, données bancaires et comptes de paiement. Alors que tout le monde s'attend à voir de tels réseaux se développer en Asie, ce réseau, contrôlé par des Européens, est l'un des plus importants jamais observés.

### CONTACT

Yves Deswarte • [deswarte@laas.fr](mailto:deswarte@laas.fr)

Mohamed Kaaniche • [kaaniche@laas.fr](mailto:kaaniche@laas.fr)

Vincent Nicomette • [nicomette@laas.fr](mailto:nicomette@laas.fr)



surveillance en cours d'exploitation et sur la continuité de service, y compris via des défenses en profondeur, celles de vérification de la résilience sur les mécanismes de défense, et celles d'évaluation de la résilience sur des mesures unifiées de l'impact des fautes accidentelles et malveillantes.

La deuxième phase verra l'évolution vers les technologies d'extension de la résilience. Ces technologies sont au nombre de quatre : évolutivité, assurantivité, utilisabilité, diversité. L'évolutivité de la résilience portera sur l'adaptabilité aux changements d'environnements et de menaces. L'assurantivité de la résilience visera à une assurance procurée tout au long de la vie opérationnelle du système, en cours d'exploitation, dépassant ainsi les approches actuelles limitées aux phases de développement, donc précédant la vie opérationnelle. L'utilisabilité de la résilience s'attachera à réconcilier l'antinomie du rôle de l'homme : contribution à la résilience d'une part, et, d'autre part, entrave que la résilience doit tolérer. La diversité de la résilience permettra d'éviter que des vulnérabilités ne soient des causes uniques de défaillance.

Cette évolution des technologies de construction de la résilience vers les technologies d'extension de la résilience sera accompagnée et facilitée par les technologies d'intégration de la résilience. Celles-ci comporteront le développement d'une base de connaissances incorporant une ontologie de la résilience, ainsi que la formulation de la notion d'informatique à résilience explicite, basée sur la création et la manipulation de métadonnées de sûreté de fonctionnement.

En tant que Réseau d'Excellence du 6<sup>e</sup> Programme Cadre Communautaire, les motivations et le programme de travail de reSIST qui viennent d'être brièvement présentés visent quatre objectifs majeurs :

1) Intégration d'équipes de chercheurs afin que les problèmes fondamentaux posés par une informatique omniprésente résiliente soient abordés par un volume critique de recherche coopérative multidisciplinaire.

- 2) Identification, dans un contexte international, des voies majeures de recherche (tant techniques que socio-techniques) induites sur les systèmes informatiques omniprésents par les exigences de confiance dans la notion d'intelligence ambiante à laquelle ces systèmes serviront de support.
- 3) Production de résultats de recherche significatifs qui préparent l'avènement des systèmes informatiques omniprésents.
- 4) Promotion et diffusion d'une culture de la résilience dans les cursus universitaires et dans les pratiques industrielles.

## RESIST en pratique

### LES PARTENAIRES

- ◆ LAAS-CNRS (coordinateur), *France*
- ◆ Budapest University of Technology and Economics, *Hongrie*
- ◆ City University, *Royaume Uni*
- ◆ Technische Universität Darmstadt, *Allemagne*
- ◆ Deep Blue, *Italie*
- ◆ Institut Eurécom, *France*
- ◆ France Telecom Recherche et Développement, *France*
- ◆ IBM Research, *Suisse*
- ◆ IRISA, *France*
- ◆ IRIT, *France*
- ◆ Vytautas Magnus University, *Lituanie*
- ◆ Fundação da Faculdade de Ciencias da Universidade de Lisboa, *Portugal*
- ◆ University of Newcastle upon Tyne, *Royaume Uni*
- ◆ Università di Pisa, *Italie*
- ◆ QinetiQ, *UK*
- ◆ Università degli studi di Roma "La Sapienza", *Italie*
- ◆ Universität Ulm, *Allemagne*
- ◆ University of Southampton, *Royaume Uni*

**Début : janvier 2006**

**Durée : 3 ans**

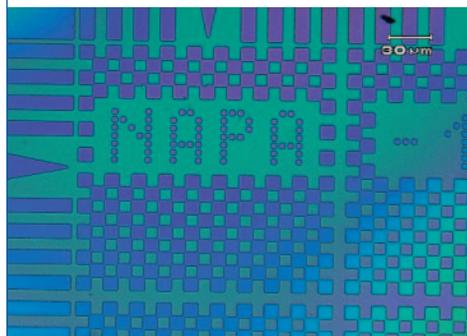
## NAPA, un projet intégré européen sur le "Nanopatterning"

La recherche dans le domaine des nanotechnologies est aujourd'hui une course dans laquelle l'Espace européen de la recherche (ERA) ne veut pas rester en retrait et c'est dans ce sens que le consortium NAPA est né en mars 2003 dans le cadre d'une des thématiques prioritaires du programme cadre FP6. Le consortium NAPA (Méthodes émergentes de nanofabrication) intègre tous les nouveaux paradigmes de nanofabrication en un seul projet intégré, anticipant ainsi une demande accrue de besoins de structuration à l'échelle nanométrique, de standards et de métrologie afin de renforcer les secteurs applicatifs.

Le consortium NAPA complète la technologie de lithographie optique en UV profond en proposant des procédés à faible coût ainsi que des outils permettant de couvrir les besoins en nanofabrication pour l'industrie des CMOS, pour les applications en Biotechnologies ou en Photonique. Afin d'atteindre ces objectifs, une recherche intégrée le long de trois axes principaux est proposée :

### LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSION

Il va s'agir ici d'utiliser des moules et d'imprimer sur des surfaces traitées (résines ou autres) des motifs de taille nanométrique par des procédés de "hot-embossing". Le consortium établit une roadmap pour ces technologies en termes de résolution, d'alignement, de rendement et de coût. La fabrication et le vieillissement des moules, les procédés d'impression et finalement les démonstrateurs fonctionnels font l'objet des travaux de recherche.



### CONTACT

Jean-Claude Laprie, coordinateur du projet • Jean-Claude.Laprie@laas.fr  
Karama Kanoun, responsable de l'intégration • Karama.Kanoun@laas.fr  
Bertrand Darly, assistant de gestion • Bertrand.Darly@laas.fr

## LITHOGRAPHIE DOUCE ET AUTO-ASSEMBLAGE

On va ici utiliser des méthodes "copier-coller", se basant sur l'utilisation de timbres plastiques peu onéreux qui vont servir à dupliquer des motifs nanométriques inscrits sur un moule original en silicium. Un timbre moulé peut être utilisé pour de multiples applications comme des dépôts localisés de biomolécules par exemple. Cette lithographie douce peut servir à diriger l'assemblage de nano-objets sur des surfaces, on parle alors d'assemblage dirigé. Les mécanismes d'assemblage de molécules de biomolécules et de nanoparticules sont donc étudiés conjointement à ces méthodes de lithographie par tamponnage.



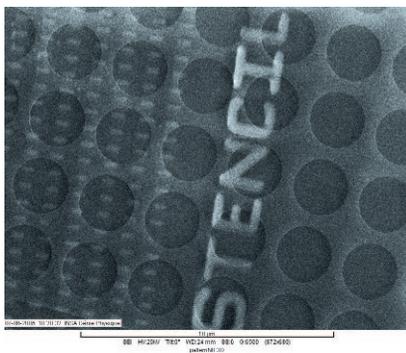
## NANO-FABRICATION À L'AIDE DE MICROSYSTÈMES

La méthode du pochoir est ici mise en œuvre à l'échelle nanométrique. En déposant de la matière au travers de membranes percées, la fabrication de motifs nanométriques sur des surfaces complexes est réalisable en une seule étape de dépôt. Le dépôt de solutions liquides à l'aide de bras de levier micrométriques est également développé pour des applications en chimie et biologie.

Ce dernier axe est encore à une étape cruciale de démarrage pour laquelle une rapide consolidation est nécessaire alors que les deux autres axes en sont déjà à une étape de maturité technologique laissant entrevoir des applications avant la fin du projet. Des recherches structurantes communes à ces trois axes sont également entreprises concernant : les matériaux, les équipements et la simulation. Les industriels européens du domaine des équipements pour la lithographie et des matériaux polymères sont partenaires de ce projet intégré.

NaPa rassemble 30 instituts académiques et industriels leaders dans le domaine, et intègre au total 3500 personne-mois à travers toute l'Europe. Le projet NAPA a pour ambition de

proposer des bibliothèques de procédés, des matériaux et des outils destinés à résoudre les problèmes de nano-fabrication auxquels sont désormais confrontés les industriels des secteurs de la communication, des transports, de l'alimentaire, des textiles ou de la santé.



En complément de la partie recherche et développement, le consortium met en place des formations spécifiques en nanotechnologies dédiés aux jeunes scientifiques et ingénieurs afin de promouvoir le domaine des sciences et de la technologie auprès des jeunes générations. Les activités de communication et d'informations vers la société et vers des secteurs encore faiblement représentés dans la communauté "Nano" forme une part intégrale du projet NAPA et c'est dans ce sens que la première école d'été basée sur le programme NAPA a eu lieu l'été dernier à Toulouse.

Le LAAS est impliqué dans le projet intégré NAPA dans le domaine de la nano-impression pour la fabrication de moules d'impression de très haute résolution spatiale, dans le domaine de la lithographie douce de biomolécules et de l'assemblage dirigé de nanoparticules, ainsi que dans le développement de réseaux de bras de levier pour le dépôt automatisé de solutions liquides. Le laboratoire est également responsable de la partie éducation du projet.

## CONTACT

Christophe Vieu • [Christophe.Vieu@laas.fr](mailto:Christophe.Vieu@laas.fr)

## NAPA en pratique

### LES PARTENAIRES

- ◆ Technical research centre of Finland, Finlande, Coordinateur Ecole polytechnique fédérale de Lausanne,
- ◆ IBM research GmbH, Suisse
- ◆ LAAS-CNRS, France
- ◆ Micro Resist Technology GmbH, Allemagne
- ◆ University College Cork, national University of Ireland, Irlande
- ◆ Suss Microtec Lithography GmbH, Allemagne
- ◆ Centre suisse d'électronique et de microtechnique, Suisse
- ◆ Gesellschaft für angewandte Mikro-und-Nano Optoelektronik mbH, Allemagne
- ◆ Fundacion Cidetec - Centro de tecnologicas electroquimicas, Espagne
- ◆ Consejo superior de investigaciones científicas, Espagne
- ◆ EV Group E. Thallner GmbH, Autriche
- ◆ Centro ricerche Fiat - Societa consortile per Azione, Italie
- ◆ Institute for microelectronics technology RAS, Russie
- ◆ Fundacion Inasmet, Espagne
- ◆ Consiglio nazionale delle ricerche, Italie
- ◆ Commissariat à l'énergie atomique, France
- ◆ Linkoeplings universitet, Suède
- ◆ Lunds universitet, Suède
- ◆ Universiteit Twente, Pays-bas
- ◆ Danmarks Tekniske universitet, Danemark
- ◆ Nanocomms Ltd, Irlande
- ◆ Nanoplus nanosystems and technologies GmbH, Allemagne
- ◆ NPL management Ltd, Royaume-Uni
- ◆ Obducat AB, Suède
- ◆ Paul Scherrer Institut, Suisse
- ◆ Istituto nazionale per la Fisica della materia, Italie
- ◆ Fundacion Tekniker, Espagne
- ◆ University of Glasgow, Royaume-Uni
- ◆ Politechnika Warszawka, Pologne

Début : mars 2004

Durée : 4 ans

<http://www.phantomsnet.net/NAPA/>

## NanoCMOS, repousser les limites de la technologie CMOS



**A**vec ses 24 millions d'euros de financement sur 27 mois, ce projet intégré est l'un des plus importants dans le cadre de la priorité "Technologies de la Société de l'Information" (IST) du 6<sup>e</sup> programme cadre de recherche et développement de la Commission européenne. Il s'agit d'un projet destiné à conforter la place de l'Europe à la pointe de la technologie des semiconducteurs. Son but est d'être à l'avant-garde des changements de matériaux, de technologies de fabrication, d'architecture de circuits et d'interconnexions nécessaires pour continuer à repousser les limites des semiconducteurs en termes de performance et de densité. Comme il a été déclaré par le coordinateur du projet (Guillermo Bomchil, ST Microelectronics) "NANOCMOS donne à l'Europe une opportunité unique de devenir le centre majeur de la nanoélectronique, tout en soutenant la recherche universitaire et en aidant les acteurs industriels régionaux à renforcer leur compétitivité".

Dans la pratique, les participants à ce projet, démarré en mars 2004, ont été chargés de démontrer la faisabilité de la technologie logique CMOS 45 nm en 2005 et de démarrer simultanément la recherche sur les prochaines générations technologiques de 32 et 22 nm. Ces dimensions plus petites se rapprochent de plus en plus de celles qui sont considérées comme étant les limites des technologies actuelles (~10 nm). Les résultats du projet NANOCMOS devraient ouvrir la voie à des applications totalement nouvelles pour la société de l'information.

Pour atteindre ces objectifs ambitieux, le consortium réunit les trois premiers fabricants européens de semiconducteurs : Infineon, Philips et STMicroelectronics, les deux principaux instituts de recherche technologique européens : le CEA Leti en France et l'IMEC en Belgique, quelques entreprises, dont IBS en France, et plusieurs laboratoires

appartenant à deux gros instituts publics de recherche: le FhG (Allemagne) et le CNRS.

La participation toulousaine à ce projet est assurée par une équipe formée par des chercheurs du LAAS et du GEMES qui contribuent au niveaux de trois thématiques différentes:

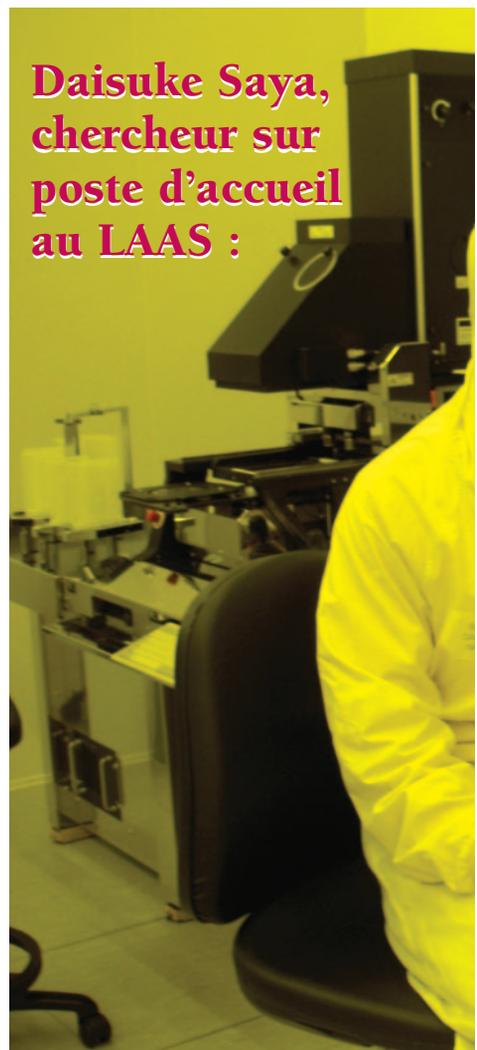
- la caractérisation structurale par microscopie électronique en transmission (TEM) des substrats comportant des nouveaux matériaux (notamment les matériaux à base de SiGe),
- l'optimisation de nouveaux procédés de fabrication des jonctions source et drain des transistors MOS (pre-amorphisation, recuit ultrarapides de durée inférieure à la milliseconde...),
- la modélisation des anomalies de diffusion et d'activation électrique des dopants lors des différentes étapes technologiques.

Suite aux résultats obtenus au cours de la première phase du projet, le consortium a déjà présenté à la Commission européenne une proposition relative à la seconde phase du projet NANOCMOS, qui démarrera en 2006 (pour une durée de 30 mois, projet PullNANO). Cette phase, qui verra encore le LAAS parmi ses partenaires, servira à démontrer la faisabilité des technologies 32 et 22 nm. En parallèle, le consortium proposera à l'organisation MEDEA<sup>1</sup> de commencer, en 2006, l'intégration et la validation de la technologie 45 nm dans un site de production de tranches en 300 mm. Ce pourrait être Crolles 2, le site commun à Motorola, Philips et STMicroelectronics.

### CONTACT

Fuccio Cristiano • [cfuccio@laas.fr](mailto:cfuccio@laas.fr)

## Daisuke Saya, chercheur sur poste d'accueil au LAAS :



*Daisuke Saya est un Japonais de 33 ans. Après un premier séjour en France où il a préparé un master, il a fait ses études doctorales et post doctorales au Japon puis a souhaité revenir en France où il est chercheur au LAAS depuis 2002. Son cursus scientifique a évolué de façon cohérente à mesure des avancées technologiques dans le domaine des microsystèmes.*

*Si c'est un peu le hasard qui l'a conduit en France une première fois, c'est sa rencontre avec les recherches menées au LAAS en nanobiotechnologies tout comme son goût de la vie en France qui l'y ont ramené, durablement l'espère-t-il.*

<sup>1</sup> Micro-Electronics Developments for European Applications  
[http://www.telecom.gouv.fr/composants/rd\\_medeia.htm](http://www.telecom.gouv.fr/composants/rd_medeia.htm)



“J'aimerais  
rester en  
France”

頑張ってください

#### La Lettre du LAAS

*Ton cursus scientifique, en somme, suit l'évolution des technologies de la microélectronique et des microsystèmes, puisqu'il démarre avec la fabrication de microleviers dès 93, puis des nanoleviers, et aujourd'hui, tu travailles sur le dépôt de picolitres de solutions biologiques en développant des matrices de microleviers à détection piézorésistive. Cette évolution vers les nanobiotechnologies est elle le fruit de rencontres ?*

#### Daisuke Saya

Au tout début, ce sont deux professeurs de l'Université de Tokyo, les professeurs Suga et Itoh, qui m'ont proposé un sujet de recherche pour obtenir le diplôme de Bachelor of Science. Le domaine des nanoleviers m'intéressait et j'ai continué dans cette voie pour obtenir le master, dans le laboratoire du professeur Kawakatsu

à l'Institut des sciences industrielles de l'Université de Tokyo.

*Pourtant, tu as passé la quasi-totalité de ton master en France, au Laboratoire de physique et de métrologie des oscillateurs (LPMO), à Besançon entre 95 et 98. Pourquoi ce choix de la France, et du LPMO ?*

Le Pr Kawakatsu était déjà en contact avec le LPMO ainsi qu'avec l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL. Nous étions deux étudiants en master dans son laboratoire et il nous a suggéré à chacun un séjour de six mois, l'un à l'EPFL, l'autre au LPMO. Je n'ai donc pas vraiment choisi la France mais le sujet était très intéressant, au point que j'y suis resté un peu plus de deux ans pour développer des nanocantilevers. Dans un premier temps, et n'ayant pu terminer mes recherches en six mois, j'ai été

autorisé à rester six mois de plus et finalement, à poursuivre mon travail jusqu'à son terme.

*Ce séjour à Besançon a-t-il permis une évolution ? Quelles difficultés as-tu rencontrées ?*

Bien sûr ! et puis j'ai eu mon diplôme. Au laboratoire, je n'ai pas connu de réelles difficultés. Il n'était pas indispensable de parler français et je m'exprimais en anglais. Le sujet de recherche était certes nouveau pour moi, c'est passionnant de fabriquer des nanocantilevers, mais la technologie est la même en France ou au Japon. Après mon master, j'ai continué en thèse au Japon, à l'Université de Tokyo mais j'ai toujours conservé le désir de revenir en France et je me suis mis à étudier le français.

*Tu es donc de nouveau en France, chercheur au LAAS depuis avril 2002. Quels projets développes-tu ?*

Je travaille dans le domaine du nanoadressage et des nanobiotechnologies, dans le cadre du projet européen NAPA. Nous développons un système de dépôt de biomolécules (ADN, protéines) sur des puces. L'objectif est de déposer, par rangées, le plus petit volume de ces biomolécules (de l'ordre du pico ou femtolitre) en sorte d'en avoir un maximum sur une surface minimum, la biopuce. Le dépôt se fait par électro-mouillage au moyen de microleviers alignés (comme les dents d'un peigne) pourvus d'un microcanal et d'un réservoir. La position des microleviers est contrôlée et un système de déplacement selon les axes X, Y et Z permet la mise en contact du dépôt et de la surface. Chaque "plume" est également pourvue d'une piézorésistance qui détermine la force à appliquer lors du contact pour garantir un dépôt homogène. Je fais aussi des recherches sur les films d'une protéine, l'Alpha-lactalbumine, pour réaliser un capteur de cations. L'idée, c'est de réaliser une membrane circulaire, dite "free-standing", d'un film mince de protéine (alpha-lactalbumine). En exploitant un effet mécano-chimique lié à la reconnaissance spécifique de l'ion calcium,



on peut mesurer la variation de fréquence de résonance induit par le changement de contrainte de la membrane. Contrairement aux capteurs actuels, basés sur une détection de masse et utilisant une technologie plus compliquée, il n'est pas nécessaire de réaliser des leviers ou des membranes en silicium pour y déposer le film sensible de protéine. Cette approche innovante permet de mesurer beaucoup plus précisément la présence d'ion calcium dans une gamme de 1 à 10mM avec des membranes de 200µm de diamètre. Je travaille beaucoup en salle blanche.

### Tu travailles seul ou en équipe ?

Là, il y a une vraie différence avec le Japon. Au Japon, il y a un laboratoire pour un professeur. Chaque laboratoire est bien distinct. On utilise les machines du laboratoire auquel on appartient. Utiliser les machines d'un autre professeur, donc d'un autre laboratoire, est soumis à autorisation après discussion entre les professeurs. C'est ainsi qu'en thèse dans le laboratoire du Professeur Kawakatsu, j'ai utilisé la salle blanche des professeurs Toshiyoshi et Fujita pour fabriquer des nano-oscillateurs mécaniques sur silicium, et pour intégrer l'AFM à l'intérieur d'un microscope électronique à balayage. On utilise les machines tout seul, et on ne discute des résultats qu'avec l'équipe du professeur.

En France au contraire, les équipements : salle blanche, salle de caractérisation, et même les bureaux, sont mis en commun. Si bien qu'on rencontre facilement d'autres chercheurs et étudiants d'autres équipes. En particulier au LAAS, on communique beaucoup avec les ingénieurs et techniciens qui mettent au point les machines, ainsi qu'avec d'autres chercheurs.

### Est-ce un plus pour tes travaux ?

Oui, tout à fait. De plus, la salle blanche du LAAS et la salle de caractérisation sont très bien équipées et offrent une palette technologique très étendue. Il n'est par ailleurs pas nécessaire d'apprendre à utiliser soi-même toutes les machines. Les équipements sont plus professionnels que ceux que j'avais utilisés à Tokyo. C'est le cas par exemple pour les machines semi-automatisées, le dépôt automatisé de résine photosensible, les fours d'oxydation et de recuit, les fours LPCVD, les machines automatisées de gravure ICP-RIE... En revanche, certaines contraintes de sécurité m'ont surpris au début. Au LAAS, la salle blanche est ouverte de 8 heures à 17 heures, tandis qu'au Japon, on commence à travailler à 10 heures du matin, mais on peut rester en salle blanche jusque tard le soir. Cette contrainte horaire me permet de mieux m'organiser dans mon travail.

### Qu'as tu appris au LAAS ?

C'est au LAAS que j'ai vraiment commencé à travailler dans le domaine des nanobiotechnologies, dans le groupe Nano-adressage, nanobiotechnologies. Nous travaillons avec les chercheurs du groupe, mais aussi avec des biologistes de l'INSA de Toulouse et avec l'IBCP (Institut de biologie et chimie des protéines) de Lyon. Ces échangent avec des spécialistes d'autres disciplines sont nouveaux pour moi et j'apprends beaucoup. En France, les réseaux de collaboration entre laboratoires sont très bien organisés.

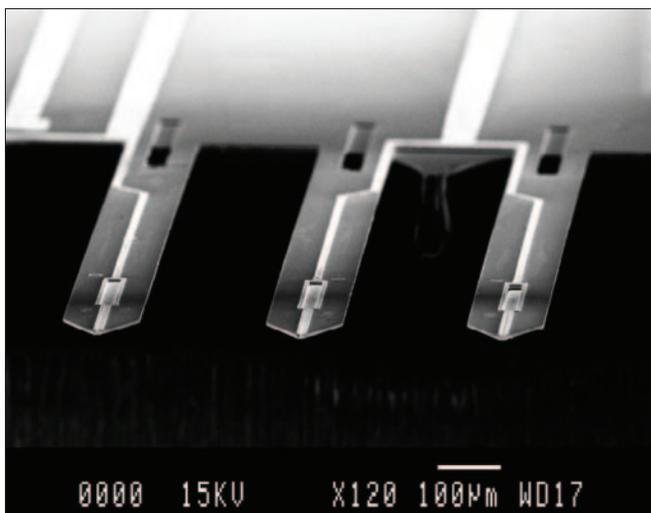
J'aimerais rester en France et continuer à travailler dans les nanobiotechnologies, car comprendre les interactions des biomolécules à cette échelle, et développer des biopuces, pour le diagnostic de maladies par exemple, sont des enjeux très importants.

### Qu'est-ce qui t'a le plus surpris en France ?

Il existe certes des différences culturelles mais celles-ci ne m'ont jamais vraiment gêné et je me sens parfaitement intégré. La vie scientifique est, comme je viens de le dire, organisée différemment et elle facilite les échanges. Même au tout début de la vie scientifique, on peut observer cette différence au travers d'un détail significatif : en France, les soutenances de thèse sont publiques, et suivies par ailleurs d'un moment festif. Au Japon, la soutenance se fait dans une petite salle où seul le jury est présent.

D'un point de vue plus personnel et anecdotique, j'apprécie le calme, ici, par rapport à Tokyo. J'ai constaté que mes goûts musicaux s'en trouvaient modifiés. Au Japon, j'écoutais beaucoup de hard rock tandis que j'écoute maintenant plus volontiers de la chanson française. J'aime aussi la cuisine et la culture françaises. Maintenant, je ne peux plus manger de camembert sans un bon vin rouge ! J'aime beaucoup la vie en France, et je vais tout mettre en œuvre pour y rester.

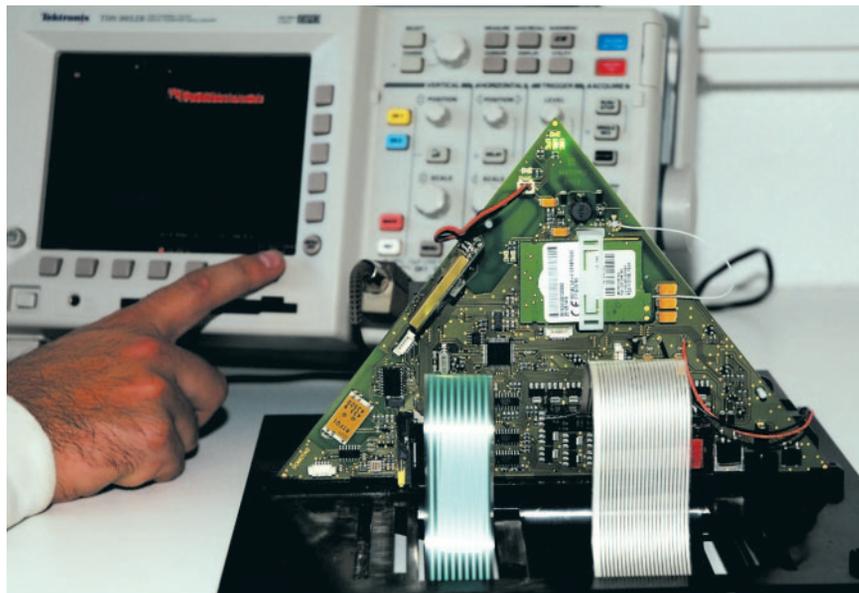
*Propos recueillis et traduits du japonais par Laurent Jalabert*



Nanobiotechnologies : Microleviers en silicium pour le dépôt localisé de solutions biologiques

## Microsystèmes communicants

# Un réseau de capteurs intelligents pour la **détection de mouvement**



Point central du réseau collectant les informations des capteurs et liaison bidirectionnelle vers le réseau GSM

*Dans le cadre d'un partenariat qui a donné lieu à la startup Tag Technologies, une équipe du LAAS a mis au point un réseau de capteurs communicants capable de détecter et discriminer un mouvement anormal.*

*Ce principe, issu d'une nouvelle génération de microsystèmes autonomes, répartis et communiquant en réseau, s'applique à un produit grand public destiné à la protection des biens, Domotag, que l'industriel vient de commercialiser.*

**L**es microsystèmes sont progressivement devenus des "produits sur étagères" dont les modes collectifs de production autorisent des prix de revient très compétitifs. Certains produits ont déjà atteint de très importants volumes de production (centaines de millions d'unités) et ont trouvé leur place dans des systèmes plus complexes, citons l'exemple de l'accéléromètre et de son application à l'airbag, des matrices de micro-miroirs utilisés dans les vidéos projecteurs numériques, ou des têtes d'imprimantes. Domotag est un système d'alarme et de protection des biens mobiliers et immobiliers qui réagit avant intrusion, à partir d'un réseau de capteurs communicants capables de détecter et discriminer un mouvement ou un comportement anormal. Ce produit propose une application des microsystèmes au grand public. Le nouveau capteur générique intégré mis au point détecte le moindre mouvement et communique au travers d'un réseau de capteurs. Ces capteurs élémentaires embarqués distinguent les vibrations habituelles du site des mouvements inhabituels pouvant

résulter d'une tentative de vol, pour communiquer un niveau de diagnostic et une probabilité vers une centrale directement en relation avec le réseau de communication GSM.

Trois points particulièrement délicats ont été résolus dans ce projet :

- la gestion économe de l'énergie embarquée sur le capteur par le choix judicieux des positions de veille, de veille active et d'action,
- l'intelligence répartie entre les capteurs (les TAGs) et la centrale pour le diagnostic, pour justement limiter la charge de transmission, et donc l'énergie embarquée,
- l'intégration multifonctionnelle : capteur, traitement du signal, télécommunication, et opérabilité par la connexion au réseau GSM.

Les contraintes de coût et d'alimentation embarquée à base de piles standard du commerce impliquent l'identification d'un mouvement utile dans des conditions environnementales variables (vent, température, vibrations,...), avec un processeur de faible coût et en garantissant une durée de vie des piles supérieure à un an. La solution développée par le LAAS permet d'extraire le signal utile de mouvement tout en économisant l'énergie.

Les essais sur des prototypes ont permis de valider le réseau de capteurs conformément aux différentes normes. Le système développé s'inscrit dans le domaine des microsystèmes autonomes répartis, communiquant en réseau. C'est un domaine scientifique et technique d'une grande actualité où l'on trouve des développements sur les capteurs, sur la communication à courte distance et sur les algorithmes embarqués de diagnostic.

### CONTACTS

Daniel Estève • [esteve@laas.fr](mailto:esteve@laas.fr)  
Jean-Yves Fourniols • [fourniols@laas.fr](mailto:fourniols@laas.fr)

## LAAS - Freescale Semiconducteurs

# Dix ans de partenariat, un troisième laboratoire commun

Depuis 1995, le LAAS-CNRS a un partenariat privilégié dans le cadre de laboratoires communs sans murs avec la société Motorola Semiconducteurs, devenue en avril 2003 Freescale Semiconducteurs : LCIP1 "Laboratoire Capteurs et Intégration de Puissance" et LCIP2 "Laboratoire Circuits Intégrés de Puissance".

Ce dernier s'est déroulé sur trois ans de juillet 2001 à juin 2004 et avec le soutien de la Digitip, du Conseil Régional de Midi-Pyrénées, du Conseil Général de Haute-Garonne et de la communauté d'agglomérations du Grand Toulouse. Son programme de recherche portait sur la conception de nouveaux composants de puissance pour commander des charges jusqu'à 2 KW, de nouvelles structures d'isolation et de la réalisation de circuits intégrés de puissance, auto-protégés et destinés essentiellement au marché automobile et des télécommunications. Depuis 1995, cette collaboration a dépassé les objectifs entre l'industriel toulousain et le LAAS-CNRS avec 15 brevets et une cinquantaine de publications dans des revues et des conférences nationales et internationales ainsi que 13 thèses soutenues. La convention pour le troisième laboratoire commun entre le LAAS-CNRS et Freescale a été signée en octobre 2005 : il est baptisé LISPA pour "Laboratoire d'Intégration des Systèmes de Puissance Avancés" et sera effectif jusqu'en octobre 2007. Il a obtenu les financements des mêmes collectivités locales et nationales pour un engagement d'investissements communs de 15,3 millions d'Euros composés d'équipements et de chercheurs publics et privés affectés au programme.

La continuité de ces efforts de recherche a pour ambition de relever les défis de l'augmentation en tension, fréquence et courant exigée dans les architectures d'énergie distribuée pour les systèmes embarqués allant des véhicules de transport aux applications de télécommunications et grand public.

Les travaux concerneront le développement :

- de nouvelles structures et de solutions technologiques associées pour les composants de puissance MOS avancés pour les gammes de tensions de 100 à 600V.
- de nouvelles architectures optimisées de convertisseurs DC-DC.
- des stratégies de protections associées contre les décharges électrostatiques (ESD) et contre les interférences électromagnétiques (EMI) répondant simultanément aux exigences des différentes normes en vigueur.

Il est important de noter ici que ce troisième laboratoire commun est un des piliers du projet IS2E (Intégration des Systèmes Energétiques Embarqués) du pôle de compétitivité Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués (AESE), l'autre pilier étant le laboratoire commun PEARL2 en collaboration avec Alstom.

### CONTACT

Marise Bafleur • [bafleur@laas.fr](mailto:bafleur@laas.fr)

## Le ministre de la Recherche au LAAS

Lors de son déplacement à Toulouse le 12 décembre dernier, François Goulard, ministre délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, a réservé sa première visite au LAAS. "Je suis particulièrement impressionné par la visite du LAAS, où les recherches conduites bénéficient très directement aux industries de la région. Le LAAS a inventé les pôles de compétitivité avant la lettre" a indiqué le ministre dans le livre d'or du laboratoire. Ce déplacement était l'occasion pour François Goulard de rencontrer les principaux acteurs du pôle de compétitivité Aéronautique, Espace, Systèmes embarqués, AESE, des régions Midi-Pyrénées et Aquitaine, et d'évoquer les objectifs et modalités de création d'un campus de recherche, dans le cadre du Pacte pour la recherche. La visite du LAAS, et notamment de la nouvelle salle blanche, a été suivie d'une visite de l'Observatoire Midi-Pyrénées puis d'une réunion de travail, en préfecture de région, avec les acteurs du pôle de compétitivité "Aerospace Valley".

## Michel Lafon, administrateur du LAAS-CNRS

Michel Lafon vient d'intégrer le LAAS avec une fonction, nouvelle au laboratoire, d'administrateur du LAAS-CNRS.

Michel Lafon a une formation de juriste en finances publiques et droit budgétaire. Au CNRS, il a occupé précédemment les fonctions de délégué régional à Lyon puis à Meudon et, en 2005, de chargé de mission auprès du secrétaire général du CNRS, chargé de l'analyse financière des budgets des délégations régionales du CNRS.

## Le JRL-France, laboratoire international de robotique, s'implante à Toulouse

Le robot humanoïde est au cœur des recherches du laboratoire franco-japonais, le Joint Robotics laboratory (JRL) dont le pôle français vient de s'installer au LAAS. Créé en décembre 2003 par le CNRS, l'Université de Versailles Saint-Quentin et l'Institut national de la science et des technologies industrielles avancées du Japon (AIST), le JRL est un laboratoire bipolaire. Son centre français s'est d'abord installé au laboratoire de robotique de Versailles, avant de rejoindre le LAAS. Le JRL compte également des chercheurs du laboratoire d'informatique, de robotique et de micro-électronique de Montpellier (LIRMM). Le centre japonais se trouve dans les locaux de l'Institut de recherche sur les systèmes intelligents (IRSI) à Tsukuba. Le JRL est basé sur un principe de symétrie, pour les moyens financiers et matériels comme pour

l'accueil des chercheurs au Japon et en France. Chaque pôle est co-dirigé par un binôme franco-japonais. Le programme scientifique vise à améliorer l'autonomie des robots humanoïdes, tant dans leur perception et leur compréhension de l'environnement que dans leurs modes de locomotion, de coopération et d'interaction avec l'homme. Pour mener à bien ces recherches, le LAAS accueillera un robot humanoïde de type HRP-2 dont le financement est assuré par le département STIC, le LAAS, et le Club des Affiliés. Cette plate-forme d'intégration, conçue par l'AIST, sera largement ouverte sur la communauté scientifique française.

### CONTACT

Jean-Paul Laumond •  
Jean-Paul.Laumond@laas.fr  
Eiichi Yoshida • yoshida@laas.fr



Le robot HRP-2, conçu à l'AIST et bientôt accueilli par le LAAS, sera le support d'intégration des travaux du JRL

### Thèses

#### ■ 8 juin 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse

Par Ali Kalakech

Etalonnage de la sûreté de fonctionnement des systèmes d'exploitation – Spécifications et mise en oeuvre

#### ■ 10 juin 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par Guillermo de Jesus Hoyos Rivera

CoLab : Conception et Mise en Œuvre d'un Outil pour la Navigation

Coopérative sur le Web

#### ■ 20 juin 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national des sciences appliquées

Par Taha Bennani

Tolérance aux fautes dans les systèmes répartis à base d'intergiciels réflexifs standards

#### ■ 24 juin 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par Stéphane Cambon

Planifier avec les contraintes géométriques du mouvement et de la manipulation

#### ■ 19 juillet 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par Laurent Rabbia

Nouvelle filière technologique pour micro-commutateurs parallèles capacitifs micro-ondes sur membrane diélectrique

#### ■ 20 juillet 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par Emmanuel Jordana

Conception, réalisation et caractérisation de grilles en silicium polycristallin déposé amorphe à basse température et dopé bore in situ

#### ■ 29 septembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse

Par Carmen Draghici

Modélisation et conception d'algorithmes pour la planification automatique du personnel de compagnies aériennes

## Thèses

### ■ 29 septembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national Polytechnique de Toulouse

Par *Jérémi Gancet*

Systèmes multi-robots aériens : architecture pour la planification, la supervision et la coordination

### ■ 30 septembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse

Par *Luc Reberga*

Commande robuste multivariable des turboréacteurs

### ■ 7 octobre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse

Par *Antonio Orantes Molina*

Méthodologie pour le placement de capteurs à base de méthodes de classification en vue du diagnostic

### ■ 20 octobre 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par *Frédéric Py*

Contrôle d'exécution dans une architecture hiérarchisée pour systèmes autonomes

### ■ 21 octobre 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

Par *Fabien Lavergne*

Méthodologie de synthèse de lois de commandes non-linéaires et robustes : application au suivi de trajectoire des avions de transport

### ■ 4 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse

Par *Magnos Martinello*

Modélisation et évaluation de la disponibilité de services mis en oeuvre sur le web - Une approche pragmatique

### ■ 4 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier

Par *Charles Bockstal*

Modélisation de réseaux IP Multiservices, au moyen de la théorie différentielle du trafic et de la simulation hybride distribuée

## Habilitations à diriger des recherches

### ■ 22 septembre 2005

Par *Philippe Galy*

Conception et analyses de composants microniques et submicroniques en milieux hostiles

### ■ 21 octobre 2005

Par *Serge Guillaume*

Représentation des connaissances et systèmes d'inférence floue

### ■ 7 décembre 2005

Par *Thierry Gayraud*

Qualité de service dans les architectures de communication sans fil

### ■ 8 décembre 2005

Par *Philippe Arguel*

Approches de l'intégration photonique dans les microsystèmes

## Ouvrage

# Représentation diffusive, par Gérard Montseny

Introduite il y a une dizaine d'années, la représentation diffusive est une approche de portée générale dédiée à l'analyse, l'approximation et la synthèse d'opérateurs intégraux non rationnels de type pseudo-différentiel, incontournables dans nombre de problèmes en modélisation, simulation numérique, estimation et contrôle. Cet ouvrage en constitue la première monographie. Les fondements de la théorie ainsi que ses principaux résultats spécifiques sont exposés dans sa première partie. L'essentiel en est accessible sans connaissances mathématiques au-delà du premier cycle universitaire. Les paragraphes techniques d'importance secondaire pour le praticien sont clairement signalés.

Certains cas particuliers intéressants sont approfondis et illustrés de nombreux exemples, notamment, les

désormais classiques opérateurs intégral-différentiels fractionnaires qui sont ainsi abordés d'une manière naturelle à la fois simple et efficace. Sont ensuite décrites en détail une quinzaine d'applications dans des domaines variés : analyse de systèmes dynamiques, modélisation et synthèse de signaux et images, modélisation et identification de processus physiques, contrôle robuste, contrôle de systèmes distribués, etc., autant d'exemples pratiques montrant comment mettre en oeuvre cette approche synthétique et fertile au carrefour de plusieurs disciplines.

### CONTACT

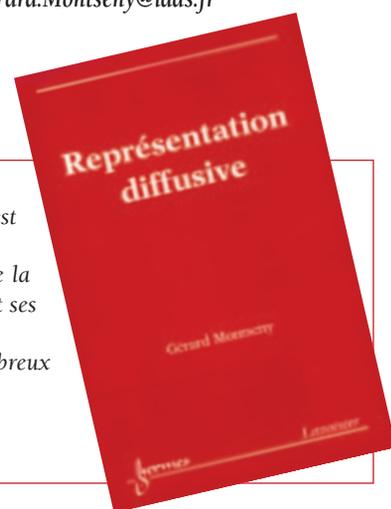
Gérard Montseny •  
Gerard.Montseny@laas.fr

### L'AUTEUR.

Mathématicien de formation, Gérard Montseny est chercheur au LAAS.

Depuis 1995, l'essentiel de ses travaux concerne la représentation diffusive d'opérateurs intégraux et ses applications dans diverses disciplines, menées en collaboration avec de nombreux laboratoires académiques et organismes industriels.

Éditions Hermès, 2005, 456 pages, 95 Euros



# Le LAAS accueille

## Eiichi YOSHIDA, membre de l'institut japonais AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology).

Eiichi Yoshida est co-directeur de l'antenne française du JRL (Joint Robotics Laboratory), un laboratoire international associé, nouvellement localisé au LAAS. Il travaille sur la robotique humanoïde, principal objet de recherche du JRL. Issu de l'AIST à Tsukuba, il a passé un an et demi entre 2004 et 2005 au Laboratoire de Robotique de Versailles, précédent laboratoire d'accueil du JRL Japon.  
(Lire page 21)

## Conférences

### Second IEEE Workshop on High Performance Computing in Medicine and Biology

<http://Pdcl.wayne.edu/HiPCoMB-2006>

Vienna University of Technology, Vienne, Autriche

18-19 avril 2006

HiPCoMB-2006 se propose de réunir les chercheurs en informatique, engineering, médecine et biologie qui utilisent le calcul à haute performance pour résoudre des problèmes liés à la biologie et la médecine nécessitant un long temps de calcul. Ce workshop sera un forum pour la présentation et l'échange des nouvelles idées dans ce domaine.

#### CONTACT

Andrei Doncescu  
[Andrei.Doncescu@laas.fr](mailto:Andrei.Doncescu@laas.fr)



### 3rd EOS/ESD/EMI WORKSHOP

Immunity of electronic applications to electrical (EOS/ESD) and electromagnetic (EMI) stresses: From system level to chip level

<http://www.laas.fr/~Enolhier/WORKSHOP2006/>

Toulouse, 18-19 mai 2006

Le workshop EOS/ESD/EMI, co-organisé et sponsorisé par le CNES et le LAAS, est un forum de rencontre des experts du domaine sur les aspects d'immunité des applications électroniques vis à vis des décharges électrostatiques (ESD) et des perturbations électromagnétiques (EMI). Il se déroulera à l'Institut Aéronautique et Spatial (IAS) de Toulouse, du 18 au 19 mai 2006. La première demi-journée sera consacrée à deux tutoriaux (ESD et EMI).

#### CONTACT

Marise Bafleur  
[Marise.Bafleur@laas.fr](mailto:Marise.Bafleur@laas.fr)

Date limite pour la soumission des abstracts : 3 avril 2006

#### ■ 7 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse  
*Par Jean-Charles Atine*  
Méthodes d'apprentissage floues : application à la segmentation d'images biologiques

#### ■ 10 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse  
*Par Vincent Lecomte*  
Stéréovision embarquée sur véhicule : de l'auto-calibrage à la détection d'obstacles

#### ■ 22 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse  
*Par Anis Youssef*  
Réseau de communication à haut niveau d'intégrité pour des systèmes de commande-contrôle critiques intégrant des nappes de micro-systèmes

#### ■ 24 novembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse  
*Par Sylvaine Muratet*  
Conception, caractérisation et modélisation : Fiabilité prédictive de MEMS à actionnement électrothermique

#### ■ 5 décembre 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier  
*Par Christophe Escriba*  
Conception, réalisation et caractérisation de capteurs infrarouge thermopiles : application à la détection de présence passive dans l'habitat

#### ■ 6 décembre 2005

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier  
*Par Christophe Salamero*  
Méthodologie de prédiction du niveau de robustesse d'une structure de protection ESD à l'aide de la simulation physique TCAD

#### ■ 7 décembre 2005

Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse  
*Par Olivier Alphan*  
Architecture à Quadans un contexte NGN

**NOTERE'2006**

Nouvelles technologies de la répartition

<http://www.laas.fr/~Enotere06/>

Toulouse, 6-9 juin 2006

Dans le sillage des premières éditions organisées à Pau, Montréal, Paris, Saïdia et Gatineau, la conférence NOTERE'2006 a pour objectif d'offrir à la communauté des chercheurs et industriels actifs dans le domaine des technologies de la répartition un espace à dominante francophone pour partager leurs connaissances et points de vue sur les techniques actuelles et en devenir de leurs domaines d'activité. La conférence propose une journée de tutoriels et trois jours de conférence.

Les thèmes privilégiés seront :

- **Réseaux et Intergiciels**

Communication, programmation orientée aspects, composants logiciels, algorithmique répartie, architectures réparties, réseaux pair à pair, mobilité.

- **Services et Applications**

Coopération, coordination, composition de services, services Web, architectures orientées services, auto-curatif, auto-organisation, auto-adaptation, sensibilité au contexte.

- **Modèles et Outils**

Techniques semi-formelles et formelles, UML, simulation, vérification, test, méthodologie.

**5th IFAC Symposium on Robust Control Design**<http://www.laas.fr/rocond06/>

Toulouse, 5-7 juillet 2006

Il s'agit du 5<sup>e</sup> symposium sur la commande robuste. Les réunions précédentes ont eu lieu à Rio de Janeiro (1994), Budapest (1997), Prague (2000) et Milan (2003). Cette conférence aura lieu dans les locaux de l'ancienne manufacture des tabacs, dans le centre historique de Toulouse. C'est l'événement majeur mondial dans le domaine de la théorie et des outils numériques pour la commande robuste dans des environnements incertains. Depuis les années 80, la théorie de commande multivariable robuste a développé les méthodes formelles qui traitent des questions clés s'étendant de la théorie du rejet de perturbations à l'optimisation de marges de stabilité et de performance. La théorie de commande robuste est établie sur des mathématiques appliquées, la recherche opérationnelle (optimisation) et informatique (théorie de la complexité). Profondément enraciné dans des mathématiques rigoureuses, le but de la commande robuste est de développer les outils théoriques et informatiques pour des applications pratiques s'étendant de la conduite et la commande des systèmes aérospatiaux, aux systèmes de commande pour les industries, et la commande des systèmes de communication. Comme la performance numérique est un point critique pour des applications réalistes, les nouveaux outils d'optimisation seront centraux. L'un des buts du colloque est de rassembler des experts de la théorie de la commande et l'optimisation avec des ingénieurs automatismes. Des sessions plénières seront consacrées aux experts de la communauté de programmation mathématique, de la communauté robuste de commande et de l'industrie aérospatiale.

**CONTACT**

Khalil Drira  
Khalil.Drira@laas.fr

**CONTACT**

Denis Arzelier  
arzelier@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

**549 personnes dont**

- 180 chercheurs et enseignants-chercheurs
- 213 doctorants et 47 post-doctorants et chercheurs en poste d'accueil
- 108 ingénieurs et techniciens

**Départements**

**scientifiques CNRS :**

Ingénierie et MIPPU

**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

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  
Bonfont, Marie Breil, Magali  
Brunet, Andrei Doncescu, Jean  
Fanchon, Christiano Fuccio,  
Katia Grenier, Jérémie Guiochet,  
Marie-José Huguet, Laurent  
Jalabert, Florent Lamiroux,  
Gérard Mouney, Liviu Nicu,  
Christophe Prieur, Josiane  
Tasselli



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