













institut de recherche

# Un nouveau système d'imagerie biomédicale



mis au point à l'Institut XLIM et à l'Université de Tokyo

Ces dernières années, les laboratoires de recherche ont consacré un effort important au développement de techniques d'imagerie à haute résolution, effort notamment motivé par les **besoins et opportunités croissants d'un domaine biomédical en plein essor**.

Dans ce contexte, l'imagerie optique se révèle particulièrement prometteuse pour l'analyse d'échantillons biologiques, de l'échelle cellulaire à celle du tissu. Il est par exemple possible de combiner les techniques bien connues de tomographie optique cohérente et de spectroscopie [1] pour accéder à des informations à la fois structurelles (ou anatomiques : dimensions, forme, constitution des organes...) et fonctionnelles (ou "en action ": métabolisme cellulaire...). Les dispositifs d'imagerie non-linéaire sont actuellement basés sur l'utilisation de sources laser femtoseconde ou picoseconde onéreuses et encombrantes. En outre, ces systèmes ne permettent pas d'obtenir simultanément les signatures de multiples composés chimiques avec une seule illumination, du fait des effets dispersifs forts inhérents à l'utilisation d'impulsions brèves. Une action entre le laboratoire XLIM de Limoges et l'Université de Tokyo, soutenue par un **projet conjoint CNRS-JSPS**,\* a permis de mettre au point un nouveau système d'imagerie optique, alliant de façon inédite compacité, bas coût et prise d'image multiple. Le système, basé sur la méthode dite CARS, comprend notamment une source laser miniature et une fibre opti-

Fig. 1. Système laser compact développé pour la microspectroscopie CARS

que microstructurée [2]. L'imagerie non-linéaire par spectroscopie CARS (Coherent anti-Stokes Raman scattering) repose sur l'identification de transitions vibrationnelles des composés analysés. La signature d'une telle transition peut notamment être retrouvée en observant la génération d'une onde optique à une fréquence particulière, après excitation laser de l'échantillon sous test. Cet effet non-linéaire d'ordre trois, de type mélange à quatre

ondes, nécessite une valeur de puissance crête issue du laser importante afin de réaliser une image à fort contraste de l'élément microscopique étudié. Grâce au système laser innovant développé par les chercheurs du laboratoire XLIM (**Fig.1**), le groupe de recherche japonais, spécialisé dans le domaine de la spectroscopie, a pu obtenir **des images multiples de cellules de tabac, de vers et de peau de porc (Fig.2**). Tout récemment, l'observation dans le temps de cellules de levure a confirmé la facilité de la méthode à imager simultanément plusieurs composés chimiques.

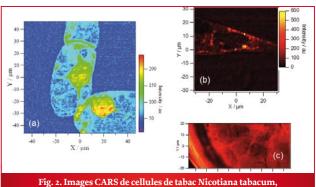


Fig. 2. Images CARS de cellules de tabac Nicotiana tabacum, type BY2 (a), de vers C. elegans (b) et de peau de porc (c)

Le système laser comprend une source impulsionnelle miniature multicomposant et un étage de conversion fréquentielle large bande à forte densité spectrale de puissance. Plusieurs brevets à portée internationale protègent cette invention, qui fait par ailleurs l'objet d'un transfert de technologie vers deux jeunes entreprises (LEUKOS, HORUS LASER) issues du laboratoire XLIM. Le développement d'un nouveau système laser compact pour l'imagerie CARS est également soutenu au niveau régional, dans le cadre d'un projet DIL,\*\* en partenariat avec l'AVRUL,\*\*\* la Région Limousin et OSEO Limousin. .../...

...suite... A LAUNE

Prochainement, un dispositif de microspectroscopie CARS sera mis en place au sein du laboratoire XLIM, dans le cadre du programme transverse Bioélectrophotonique. Il sera notamment un outil prometteur et complémentaire pour l'étude de cellules biologiques soumises à un rayonnement électromagnétique intense.

Par Philippe Leproux, Vincent Couderc Contacts: philippe.leproux@xlim.fr, vincent.couderc@xlim.fr

\* Japan Society for the Promotion of Science
\*\* Détection Innovation Laboratoires
\*\*\* Agence pour la Valorisation de la Recherche Universitaire du Limousin

#### OUR EN SAVOIR PI

- [1] L. FROEHLY, M. OUADOUR, L. FURFARO, P. SANDOZ, P. LEPROUX, G. HUSS, AND V. COUDERC, "Spectroscopic OCT by grating based temporal correlation coupled to optical spectral analysis", International Journal of Biomedical Imaging, ID 752340 (2008)
- [2] M. OKUNO, H. KANO, P. LEPROUX, V. COUDERC, AND H.-O HAMAGUCHI,

  "Ultrabroadband multiplex CARS microspectroscopy and imaging using
  a subnanosecond supercontinuum light source in the deep near infrared",
  Optics Letters 33, 923-925 (2008) Article également publié dans Virtual
  Journal for Biomedical Optics (vol. 3, n° 6, 2008)

INTERVIEW

# Jean-Louis Lanet, enseignant-chercheur à XLIM

**Abdelkader Necer**: Jean Louis, tu es Professeur des Universités au département Mathématiques et Informatique (DMI), un des départements de l'Institut de Recherche XLIM, peux-tu rappeler aux lecteurs de la lettre d'XLIM ton parcours?

**Jean-Louis Lanet :** Il n'est pas du tout standard. Après des études scolaires "ordinaires", j'ai rejoint l'IUT de Montpellier pour préparer un DUT en Electronique que j'ai obtenu en 1978. Ce diplôme en poche, je me suis lancé dans un projet de création d'entreprise. Ce projet ayant tourné court au bout de six mois, j'ai rejoint la SNECMA (qui fait maintenant partie du groupe SAFRAN) à Paris où j'ai été embauché en qualité de technicien dans la division électronique.

#### De quoi s'occupait l'équipe au sein de laquelle tu travaillais ?

J-L.L: C'était le laboratoire de recherche en charge de la définition des nouvelles architectures des calculateurs embarqués de régulation des turboréacteurs. On travaillait essentiellement sur des propriétés de sûreté de fonctionnement et de reconfiguration dynamiques de ces calculateurs. C'est d'ailleurs le responsable de cette équipe qui est à l'origine de la poursuite de mes études. Je lui dois beaucoup : il y a comme ça des rencontres qui vous changent la vie.

## Tu as donc décidé d'arrêter cette activité pour continuer tes études ?

J-L.L: Non, je n'ai pas arrêté de travailler. Tout en étant à la SNECMA, j'ai suivi les cours du soir du CNAM - Paris. J'ai obtenu mon diplôme d'Ingénieur du CNAM (diplôme dont je suis le plus fier!) ainsi qu'un DEA à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6) en 1992. Je me suis ensuite inscrit en thèse à l'Université Paris 6 au Laboratoire d'Informatique. J'ai soutenu ma thèse de doctorat en 1995 sous la direction de Marc Giraud sur le thème de la conception de systèmes d'exploitation tolérant les fautes.

#### As-tu continué à travailler à la SNECMA?

**J-L.L:** Oui, jusqu'à ma soutenance de thèse. Après, j'ai rejoint le laboratoire de recherche de GEMPLUS (maintenant Gemalto, un des leaders mondiaux de la carte à puce). J'ai beaucoup travaillé sur la sécurité des cartes à puce. J'y suis resté 11 années pendant lesquelles j'ai eu l'occasion d'encadrer 3 thèses et plusieurs stagiaires en Master Recherche et Master Professionnel, ainsi qu'en école d'ingénieur. Il s'agissait essentiellement de concevoir les cartes à puce du futur ou des méthodes et outils pour en améliorer la conception. De 2004 à 2005, j'ai pris un congé sabbatique à l'INRIA, pendant lequel j'ai participé, avec Gilles Barthes, à la création de l'équipe Everest qui promeut l'utilisation des méthodes formelles dans le cadre de la sécurité des systèmes.

#### Oue faisais-tu exactement à L'INRIA?

**J-L.L:** J'intervenais beaucoup dans la valorisation et le transfert vers l'industrie des travaux des collègues de l'INRIA. C'est pendant cette période d'ailleurs que j'ai soutenu mon HDR.

## Peux-tu nous parler du travail que tu effectues depuis deux ans à Limoges ?

J-L.L: J'ai été recruté à l'Université de Limoges en 2007 sur un poste en 27<sup>ème</sup> section. Depuis, i'ai monté l'équipe SSD (Smart Secure Device) comprenant 6 enseignants-chercheurs dont un des objectifs est l'étude des petits systèmes embarqués. J'ai également monté deux projets labellisés chacun par deux pôles de compétitivité (Solutions Communicantes Sécurisées, région PACA; Syste@ tic, lle de France et Elopsys). Nous travaillons beaucoup avec les industriels de ce domaine grâce au réseau établi. Le fait d'être adossé au master Cryptis nous aide beaucoup, particulièrement pour la recherche de stages. Les activités de recherche concernent la sécurité intrinsèque des objets comme les TPM, les cartes à puce et leurs utilisations dans des systèmes. Pour bien comprendre comment fonctionne la sécurité, il faut développer des attaques et concevoir des défenses. C'est ainsi que nous avons mené une attaque sur des cartes de type Java Card, qui a été présentée à la conférence SS-TIC en juin et dont une proposition de contre mesure sera publiée dans le journal dédié à la virologie. Une démonstration de ce travail a été présentée à un industriel l'été dernier ; nous travaillons aussi sur les capacités à inférer de l'information secrète à partir des signaux électriques émis par la carte, ce sont des travaux proches de ce qui est fait à XLIM en CEM. Là aussi, nous avons un industriel de la carte qui est intéressé par ces travaux et nous sommes en discussion avec lui pour un partenariat sur le long terme. Comme on peut le voir nos travaux sont assez appliqués avec plusieurs partenaires industriels et c'est pourquoi le Carnot XLIM nous a bien aidé pour démarrer nos activités. La reconnaissance académique de nos travaux nous a valu d'être **program chair** dans deux conférences majeures de la carte à puce et de la cryptographie [Cardis 2010, CHESS 2009].

Notre recherche est pluridisciplinaire, elle nécessite évidemment de bonnes connaissances en informatique théorique mais aussi une base solide en mathématiques et traitement du signal. Nous souhaitons maintenant nous ouvrir sur des aspects importants comme la physique et l'électronique afin de bien comprendre le comportement des composants électroniques que nous cherchons à perturber. De plus, le laboratoire XLIM représente bien cette possibilité de s'appuyer, dans une même entité, sur d'autres compétences complémentaires pour nos axes de recherche. Bien sûr cela prend du temps et il nous faut déjà consolider notre reconnaissance par la communauté avant d'investiguer ces nouvelles pistes passionnantes. Mais j'ai bon espoir d'y arriver assez rapidement!

#### Deux mots sur ta vie privée?

**J-L.L :** Je suis père de deux enfants. J'adore la randonnée et la généalogie.

Par Abdelkader Necer

#### INTERVIEW

# Accueil d'un chercheur invité au département **MINACOM**

**Matt ALDISSI,** chercheur de nationalité américaine âgé de 56 ans, est président du Fractal Systems Inc. Il a été accueilli au département MINACOM du 1<sup>er</sup> octobre 2008 au 30 juin 2009, en tant que Chercheur Associé et Directeur de Recherche.



**Françoise Cosset :** Tu es actuellement Professeur invité au département MINACOM, est-ce la r<sup>ère</sup> fois que tu séjournes en France en tant que Professeur invité ?

**Matt Aldissi:** C'est la première fois que je viens en France en tant que chercheur invité mais je suis déjà venu à Royan pendant un an pour apprendre le français, puis, plus tard à Montpellier pour suivre toutes mes études universitaires.

#### Pourquoi avoir choisi Limoges et pourquoi plus spécifiquement le Projet Optoélectronique Plastique de MINACOM?

**M.A.:** Pour les activités de recherche de cette équipe dont je connais bien les travaux.

#### Es-tu venu seul ou en famille? Comment s'est passée votre adaptation?

**M.A.:** Je suis venu avec ma femme et mon fils de 6 ans. Pour moi, qui connais assez bien la langue française, l'adaptation s'est faite sans trop de souci ; j'ai "simplement" dû m'adapter au système français pour mon travail. Mon fils de 6 ans, inscrit à l'école primaire, a très vite lié connaissance avec ses camarades de classe, ce qui lui a permis d'apprendre le français assez vite, il a maintenant 7 ans et s'exprime relativement bien en français. Il est inscrit au conservatoire de musique. En revanche, pour mon épouse qui reste à la maison mais continue à travailler, grâce à Internet, l'adaptation a été plus difficile.

#### Que faisais-tu avant de venir en France?

**M.A.:** Il y a 12 ans, j'ai créé le laboratoire de recherche privé Fractal Systems Inc (en Floride), dont je suis le président. Ce laboratoire emploie actuellement 4 personnes et nous travaillons dans le domaine assez vaste des applications des matériaux polymères et nano composites électroniques. Ces applications vont des bio-détecteurs au stockage d'énergie en passant par le blindage ou encore d'autres détecteurs ...

## Avant de créer ce laboratoire de recherche, où exerçais-tu ton métier de chercheur ?

**M.A.:** J'ai travaillé dans différents labos privés et également pour le gouvernement américain.

#### Peux-tu décrire en quelques mots ton parcours scientifique?

**M.A.:** J'ai fait toutes mes études universitaires en France : j'ai obtenu une Maîtrise de Chimie à l'Université de Montpellier puis un DEA, une thèse de troisième cycle et une thèse d'état dans le domaine des polymères. Je suis resté 10 ans à Montpellier.

## Peux-tu résumer tes activités de recherche au sein du département MINACOM depuis ton arrivée ?

**M.A.:** Je suis employé par le CNRS avec l'équivalent du titre de Directeur de Recherche, sur un contrat à durée déterminée. Je suis ici pour échanger mon expérience avec les étudiants et permanents du laboratoire et également pour participer à l'écriture de projets de recherche: plusieurs projets ANR ont été déposés en collaboration

avec d'autres laboratoires français et un laboratoire allemand ; j'ai également établi des liens avec des chercheurs en Allemagne et en Turquie. Je participe aussi à des colloques/congrés. Dernièrement j'ai présenté les travaux du groupe "High performance Organic Solar Cells through Enhanced Charge Transport" lors du congrès international "Printed Electronics Europe09", en Allemagne.

### Quelles différences vois-tu entre le système français et le système américain?

**M.A.:** Aux Etats unis, les choses se font plus rapidement, ici l'administration est "un peu lente". Chez moi, par exemple pour la signature d'un contrat, tout se fait par Internet et par email : de l'offre jusqu'à la signature du contrat, également pour les commandes (bon de commande envoyé par internet ou email !), il n'y a pas d'échanges de documents papier. Dès que le commanditaire du contrat a donné son accord (toujours par email !) les choses se font rapidement et simplement. Ici, "il faut de l'encre pour tout vérifier" et les étapes sont souvent très nombreuses entre le projet de contrat et la signature réelle...

#### Est-ce seulement le cas parce que ton laboratoire est un labo privé?

**M.A.:** Non, cela se passe exactement de la même façon à l'Université ou un laboratoire du gouvernement fédéral.

# Quelles sont tes perspectives/ projets à court terme et à moyen terme ? Si l'opportunité se présentait, souhaiterais-tu rester en France ?

**M.A.:** Maintenant que je suis plus familier avec le système français, oui, si j'en avais la possibilité, j'aimerais bien rester ici! Ma femme et mon fils se sont bien habitués aussi. J'ai postulé au CNRS mais ça n'a pas marché. Si certains projets déposés sont acceptés, il y aura peut-être une chance pour moi de revenir ici à temps partiel... cela permettrait aussi à mon fils de parfaire ses connaissances en français! Sinon je retournerai aux Etats Unis diriger Fractal Systems Inc ... mais je continuerai à parler français avec mon fils pour qu'il n'oublie pas.

Par Françoise Cosset

#### POUR EN SAVOIR PLUS

O. YAVUZ, M. RAM AND M. ALDISSI, "Electromagnetic Applications of Conducting and Nanocomposites Materials", chapter in "The New Frontiers of Organic and Composite Nanotechnology", ed., V. Erokhin, M. Ram and O. Yavuz, Elsevier, (2008), pp. 435-475

 M. RAM, O. YAVUZ AND M. ALDISSI, "Gas sensors based on ultrathin films of conducting polymers and nanocomposites", chapter in "Colloidal Nanoparticles in Biotechnology", Ed., A. Elaissari, Wiley, New York, NY, April, 2008.

• O. YAVUZ AND M. ALDISSI, "Biomaterial Based Infrared Detection, Bioinspiration & Biomimetics 3 (2008) 035007.

 BOGOMOLOVA, E. KOMAROVA, K. REBER, T. GERASIMOV, O. YAVUZ, S. BHATT, AND M. ALDISSI, "Challenges of Electrochemical Impedance Spectroscopy in Protein Biosensing", Analytical Chemistry, April 13, 2009.

XLIM la lettre • NUMÉRO 10 • JUILLET 2009

# Vulnérabilité des grands systèmes

# face à une agression électromagnétique

L'Institut XLIM organise l'année prochaine le 15ème Colloque International sur la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM 2010). Il se veut le plus ouvert possible sur les problèmes d'interférences et de couplages entre, d'une part les champs statiques, évanescents, propagés ou guidés et d'autre part les structures, les systèmes électroniques et le vivant. Nous présentons, dans cet article, les études menées par le projet CEM d'XLIM sur les problèmes de vulnérabilité des systèmes.

Dans la vie de chacun, de multiples objets sont devenus, au fil du temps, des bijoux de technologie. Citons en particulier le téléphone. l'ordinateur, la voiture, l'avion... Chacun d'entre eux utilise des signaux hautes fréquences pour fonctionner et communiquer. Ils captent plus ou moins la pollution dite "électromagnétique" c'est-à-dire les ondes électromagnétiques (E.M.) émises par les multiples antennes de télécommunication pour des services liés à la téléphonie mobile, la télévision ou l'Internet pour ne citer que les plus importants. On parle alors de la notion de susceptibilité du système pour apprécier sa sensibilité aux agressions électromagnétiques (AGREMs). Celleci va dépendre, dans un premier temps, de l'efficacité du blindage isolant le système de son environnement extérieur. Toutefois pour de multiples raisons, celui-ci peut s'avérer insuffisant ou impossible à mettre en œuvre ce qui pourra conduire incidemment à une perturbation du système à cause, par exemple, d'un émetteur trop puissant et trop proche, voire, dans des cas extrêmes, à une mise hors service. Lorsau'on étudie les risques de dysfonctionnement, on parle d'étude de vulnérabilité du système. Un système hors service peut conduire à une situation grave en particulier lorsque des vies humaines sont en jeu. C'est le cas pour la voiture et de manière plus emblématique des avions "gros porteurs" type Airbus ou Boeing. Le premier problème de CEM est la foudre. Un avion de ligne est foudroyé une fois toutes les 1000 heures de vol selon l'Office National d'Etude et de Recherche Aérospatiale (ONERA). Toutefois, ce risque est bien maîtrisé aujourd'hui et n'a produit aucun accident grave d'avions de ligne depuis quatre décennies.

Dans le cadre du projet de recherche VULCAIM (vulnérabilité des cartes de circuit imprimé) pour le compte de la Direction Générale de l'Armement (DGA/MRIS), l'équipe CEM du département OSA étudie et développe des méthodes pour la mise au point d'outils d'analyse prédictive des problèmes de vulnérabilité sur de grands systèmes contenant de l'électronique embarquée. La problématique est complexe et multi-échelle. Deux approches peuvent être envisagées dans l'analyse des interactions ondes-structures. La première est la modélisation globale du système soutenue par un maillage des structures et une résolution numérique précise des équations de Maxwell dans chaque cellule du maillage. Les champs E.M. étant connus partout, nous pouvons en extraire les grandeurs physiques visées telles que le courant, la tension, un mode stationnaire, etc. Le simulateur temporel TEMSI-FD développé au sein de l'équipe CEM est basé sur cette méthodologie. Utilisé avec succès sur de très gros systèmes et en particulier pour l'étude de la vulnérabilité d'un avion et d'un bâtiment face à la foudre, nous touchons les limites de cette approche au-delà de la fréquence de 1 GHz (109 Hz). En effet, les longueurs d'onde pour ces fréquences sont inférieures à 30 cm et ce paramètre est une contrainte pour le choix de la taille des mailles qui doit être, dans cette situation, réduite à quelques centimètres tout au plus. Des contraintes supplémentaires d'ordre topologique s'y ajoutent pour modéliser des équipements et des boîtiers électro-

niques pour lesquels les motifs géométriques descendent à l'échelle du millimètre (fente, ouverture, connectique). On change encore d'échelle pour les pistes transportant les signaux et les substrats-supports sur les cartes électroniques où les dimensions se réduisent au dixième de millimètre. Malgré le recours au calcul parallèle massif (supercalculateur) mis en place dans TEMSI-FD et aux maillages multi-échelles, ces contraintes géométriques sont rédhibitoires pour l'analyse globale. Aussi une voie alternative est choisie dans le cadre du projet VULCAIM. Suivant le cheminement de l'onde électromagnétique pénétrant à travers les ouvertures dans une structure fermée (**Fig.1**), des modes de type guide ou cavité s'établissent à l'intérieur pour se coupler avec les équipements et les boîtiers électroniques.

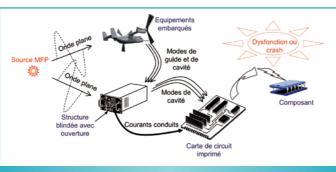


Figure 1: Cheminement d'une source MFP dans un avion

Nonobstant le changement d'échelle entre la structure initiale et le boîtier, le même cheminement se répète à l'intérieur de celui-ci car ils se comportent tous deux comme des cages de Faraday imparfaites. Ensuite, les champs dans les boîtiers électroniques vont induire des courants et des tensions parasites sur les pistes conductrices des cartes électroniques pour, finalement, perturber le dernier maillon de la chaîne qui est le composant électronique situé aux extrémités des pistes. Cette décomposition topologique simplifiée fait apparaître des couplages simples et indépendants : [onde MFP (Micro-onde de Forte Puissance) + ouverture + modes structure initiale], [modes structure + boîtier], [modes de cavité boîtier + cartes électroniques] et [piste + composant]. Ceci nous permet d'étudier séparément ces différents problèmes de couplage qui peuvent à terme être chaînés afin d'avoir, par exemple, une quantité analogue à une fonction de transfert globale. En outre, des méthodes rapides et adaptées à chaque type de couplage sont développées :

- Solveur électromagnétique 3D pour les structures et les équipements (solveur TEMSI-FD).
- Résolution de la théorie des lignes multifilaires pour la modélisation rapide des cartes (solveur LAMLIM).
- Résolution de circuits non-linéaires : solveur variable d'état et utilisation solveur de type SPICE pour la modélisation des circuits de protection (**Fig.2**).

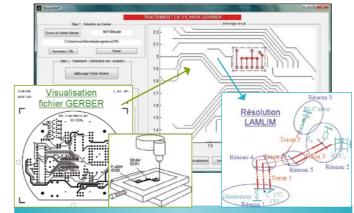


Figure 2 : Chaîne de traitement d'une carte électronique (du fichier au format

Il est intéressant de créer des modèles comportementaux associés à chaque type de modélisation pour ensuite mener une résolution globale mais rapide du système. C'est pourquoi nous nous sommes basés sur la méthode introduite par Kron en 1945 qui repose sur un découpage des systèmes en sous-systèmes pour ensuite étudier chacun d'entre eux séparément mais également les associer avec des modèles comportementaux simplifiés. Pour ce faire, la méthode fait appel à la topologie au sens mathématique du terme. Ainsi, on définit des efforts et des flux appartenant à deux espaces vectoriels duaux (dans les applications CEM, ce sont généralement les grandeurs tension et courant). Un tenseur métrique relie les deux espaces. Il caractérise le sous-système à étudier. Des matrices de connectivités sont définies pour relier les différents espaces traduisant ainsi les chemins physiques d'échange d'énergie (conduit ou rayonné).

On voit que la méthode présente un aspect tout à fait général en ce sens que les objets topologiques peuvent être définis à différents niveaux; par exemple, un schéma traduisant une topologie de piste sur une carte peut se ramener à un macromodèle vu des accès circuits. Ainsi, on peut passer d'un niveau de description très détaillé à un niveau plus macroscopique. En outre, le formalisme tensoriel permet de garder une certaine généralité qui offre la possibilité de traiter des problèmes multiphysiques (électromagnétisme, thermique, physique du plasma...).

Un autre aspect important du projet est l'étude de l'effet des paramètres caractérisant les cartes électroniques (conducteurs, substrats, charges, ...) sur la susceptibilité au champ E.M. Pour maîtriser les nombreux facteurs impliqués, nous avons eu recours aux plans d'expériences numériques qui apportent non seulement une réduction du nombre d'essais à réaliser mais aussi une méthodologie pour analyser les effets des caractéristiques d'une carte sur des observables données.

L'estimation expérimentale de la susceptibilité d'une carte électronique est mise en œuvre à travers un banc de mesure hyperfréquence automatisé utilisant la chambre réverbérante à brassage de modes dite CRBM (**Fig.3a**). Celle-ci permet de créer une ambiance électromagnétique très riche en modes alors que le brasseur est un moyen de faire varier ces modes afin d'obtenir un champ stochastique homogène et isotrope dans la zone de test. En outre, la puissance appliquée sur l'objet sous test est contrôlée et des niveaux de champ électrique de 100V/m peuvent être atteints sur une large bande de fréquence. Les résultats expérimentaux sont confirmés par le calcul numérique avec les solveurs cités précédemment TEMSI-FD (méthode FDTD) et LAMLIM (méthode MTL) comme le montre la **Fig.3b**.

Le dernier maillon de cette chaîne de vulnérabilité est le composant électronique. De plus en plus de fonctions critiques sont désormais confiées à des microprocesseurs et autres circuits intégrés numériques spécialisés, et nous nous sommes intéressés à la mo-

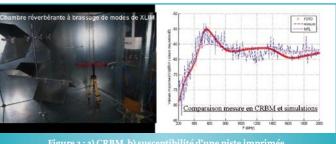
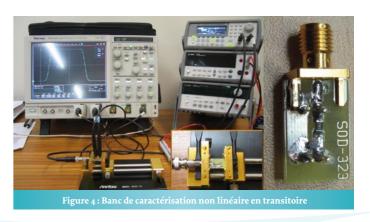


Figure 3: a) CRBM b) susceptibilité d'une piste imprimée

délisation des étages d'entrée de ces circuits afin de déterminer le niveau de perturbation pouvant atteindre leur cœur logique. Ces étages d'entrée comprennent principalement des éléments de protection contre les décharges électrostatiques (ESD), et sont censés être transparents en fonctionnement normal. Cependant, ces protections sont des composants non linéaires qui présentent à l'état inactif des capacités parasites pouvant modifier le signal entrant dans le circuit intégré. Par ailleurs, lorsque la perturbation excède les tensions d'alimentation, particulièrement à des fréquences au-delà des spécifications fabricant, les protections ESD deviennent actives et des phénomènes non linéaires surviennent, comme la création d'une pseudo composante continue par redressement. Il est donc primordial de pouvoir modéliser ces comportements, et, face à la pauvreté des modèles fournis par les fabricants, nous avons été amenés à développer une méthode de caractérisation et de modélisation de ces étages.

Une méthode transitoire pour caractériser ces protections non linéaires a été mise au point. En association avec un modèle comportemental basé sur SPICE, spécialement développé pour cette étude, cette technique permet d'extraire tous les paramètres du modèle non linéaire à partir d'une seule mesure temporelle (**Fig.4**). Cette méthode présente l'avantage d'éviter une série de mesures complexes (capacité NL, courbes I/V), et surtout de permettre la mise en évidence des phénomènes de stockage de charges électriques et de temps de diffusion de ces charges, qui sont à l'origine des problèmes rencontrés. Ces derniers phénomènes ne sont, en effet, pas pris en compte dans les modèles fournis par le constructeur, alors qu'ils sont cruciaux en termes de vulnérabilité.



Après validation par des mesures, le modèle est implanté dans un solveur de type SPICE couplé avec LAMLIN de manière à prendre en compte dans le calcul global les composants non linéaires présents sur les cartes imprimées.

.. / ...

5 XLIM la lettre • NUMÉRO 10 • JUILLET 2009

En conclusion, l'étude de la vulnérabilité des grands systèmes fait face à une complexité croissante de l'électronique embarquée et des chemins de câblage rendant difficile la mise au point de logiciels de simulation globale. Les problèmes d'échelle nous obligent à faire une décomposition topologique en sous-systèmes et à mettre au point des techniques de couplage entre eux afin de pouvoir rendre compte de la vulnérabilité globale du système.

> Par Christophe Guiffaut, Alain Reineix, François Torrès Contacts: alain.reineix@xlim.fr, christophe.guiffaut@xlim.fr, francois.torres@xlim.fr

#### POUR EN SAVOIR PLUS:

- A. REINEIX, K. EL FELLOUS, G. ANDRIEU, O. MAURICE, "Etude théorique de la pénétration du champ électromagnétique dans une cavité par la méthode de Kron", REE, N°1, janvier 2009, pp.50-55
- H. TARHINI, M. EL HAFFAR, Ch. GUIFFAUT, G. ANDRIEU, A. REINEIX, B. PECQUEUX and J. Ch. JOLY, "Susceptibility of Printed Circuit Boards in the Reverberation Chamber", EMC Europe 2008, Hamburg, Germany, 8-12 september 2008
- B. BEN M'HAMED, F. TORRÈS, G. ANDRIEU, A. REINEIX, P. HOFFMANN, 'Influence des protections ESD sur la susceptibilité des circuits intégrés numériques aux perturbations HF"; 14ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité Electromagnétique et Journées Scientifiques d'URSI France - CEM 2008 - CNFRS/URSI, Paris, France, 20-23 mai 2008, Session B3: Immunité 1

#### THÈSES

#### Martin DRUON

11 février 2009 (Bourse Régionale) "Modélisation du mouvement par polynômes orthogonaux: application à l'étude d'écoulements fluides."

#### **Yannick BOURGEOIS**

13 février 2009 (Bourse CIFRE - France Télécom)

"Modélisation des perturbations électromagnétiques générées sur un réseau de télécommunications par une agression de type foudre."

#### **Emmanuel DUPOUY**

27 février 2009 (Bourse CNES)

"Etude et réalisation d'un oscillateur bande X, contrôlé en tension, à varactor MEMS, pour application spatiale."

#### **Hassan CHREIM**

6 mars 2009 (Bourse ARIV-RADIALL) "Etudes d'antennes BIE multifaisceaux agiles. Amélioration de la couverture omnidirectionnelle en azimut."

#### Bo WANG

19 mars 2009 (Financement laboratoire contrat CNRS)

"Techniques de modélisation et de simulation pour la vérification précise de PLLs à facteur de division entier."

#### **Aurélien PERIGAUD**

26 mars 2009 (Bourse CIFRE-Thales systèmes aéroportés)

"Conception de banques de filtres microondes passifs compacts dans la bande 2-20 GHz à l'aide des technologies multicouches."

#### **Mohamad HOUSSINI**

26 mars 2009 (Financement laboratoire - CDD CNRS)

"Conception de circuits reconfigurables à base de MEMS RF."

#### **Guillaume LEBRUN**

31 mars 2009 (Bourse CIFRE France Telecom-

"Ondelettes géométriques adaptatives vers une utilisation de la distance géodésique."

#### Ji FAN

6 mai 2009 (Allocation de Recherche) "Analyse et simulations de résonateurs piézoélectriques pour des applications de filtrage."

#### **Hassan SAOUD**

8 juin 2009 (Allocation de Recherche) "Etude des problèmes unilatéraux : analyse de récession, stabilité de Lyapunov et applications en électronique et en mécanique."

#### **Louis Del RIO**

17 iuin 2009 (Allocation de Recherche) "Utilisation d'un processus d'optique non linéaire en somme de fréquences dans le cadre de l'optique cohérente appliquée à l'imagerie haute résolution."

#### **Pierre-Francois LEON**

19 juin 2009 (Allocation de Recherche) "Animation et contrôle de structures topologiques: application à la simulation d'évolution de couches géologiques 2 D."

#### Kamel FRIGUI

2 juillet 2009 (Bourse CNES)

"Synthèse de filtres bibandes optimisés en pertes et modélisation numérique multiphysique du phénomène de claquage dans les filtres d'OMUX."

#### **Boualem BENSEBAA**

3 juillet 2009 (salarié)

"Groupe de Galois de trinômes."

#### **Olivier TULET**

6 juillet 2009 (Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche)

"Intégration des effets spatiaux et spatiotemporels dans la prédiction de l'apparence colorée."

#### Vincent ROSSELLI

8 juillet 2009 (Contrat Européen EDCiné) "Etude du comportement du système visuel humain: application au Cinéma Numérique."

#### Agnès DUVAL

8 juillet 2009 (Bourse BDI RADIALL)

"Nouveau concept d'antenne B.I.E. agile développée pour une application de TéléMesure Image (T.M.I.)."

#### **Fabien MAURY**

10 juillet 2009 (CDD CNRS)

"Conception, réalisation et test de déphaseurs microondes à base de MEMS RF."

#### HABILITATION à DIRIGER DES RECHERCHES

#### DÉ PARTEMENT MINACOM

2 mars 2009 : Stéphane BILA,

Chargé de Cecherche CNRS "Contributions au développement de méthodologies de conception pour les dispositifs hyperfréquences."

#### DÉ PARTEMENT C2S2

26 mars 2009 : Denis BARATAUD,

Maître de Conférences

"Évolution et développement de techniques de caractérisation de composants, circuits et sous systèmes microondes non linéaires: du domaine fréquentiel au domaine temporel."

#### DÉ PARTEMENT DMI

22 juin 2009 : **Ali MOUHIB** 

Chercheur Invité

"Problèmes liés à la théorie du corps de classes et à la théorie d'Iwasawa.'

#### ACCUEIL DE CHERCHEUR SÉTRANGER SET POST-DOC

#### DÉ PARTEMENT DMI

#### **Ahmed AIT MOKHTAR**

(15/03/2009 au 30/03/2009) Maître Assistant, ENS de Kouba, Alger, Algérie.

#### Sergeï ABRAMOV

(20/03/2009 au 30/03/2009)

Directeur de Recherche, Académie Russe des Sciences, Moscou, Russie.

#### Richard EGLI

(20/03/2009 au 03/04/2009)

Associate Professor, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.

#### Jilali ASSIM

(15/06/2009 au 15/07/2009)

Professeur Habilité, Université de Moulay Ismaïl, Meknès, Maroc.

#### **Ahmed CHERCHEM**

(01/05/2009 au 30/05/2009)

Chargé de cours, USTHB, Alger, Algérie.

#### Ngaï Van HUYNH

(01/05/2009 au 31/05/2009) Professeur, University of Quinhon, Vietnam.

#### Henryk ZOLADEK

(06/05/2009 au 10/05/2009) Professeur, Université

# de Varsovie, Pologne.

#### Joydeep DUTTA

(25/05/2009 au 25/06/2009)

Professeur, Indian Institute of Technology Kampour, Inde.

#### **Ali MOUHIB**

(01/06/2009 au 30/06/2009)

Professeur, Faculté

#### Polydisciplinaire Taza, Maroc.

#### **Ihsen YENGUI** (01/06/2009 au 30/06/2009

Professeur, Faculté des

#### Sciences de Sfax, Tunisie. **Chahrazed BENOUARET**

(17/06/2009 au 6/07/2009)

Chargé de cours, USTHB Alger, Algérie.

#### DÉPARTEMENTOSA

#### **Caterina MERLA**

(01/05/09 au 30/04/10) Post-Doc, Université.

#### DÉPARTEMENTSIC

#### Ahmed MOUSSA (25/04/2009 au 25/07/2009)

Chercheur Invité, Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Tanger, Maroc.

#### DÉPARTEMENT PHOTONIQUE

#### **Jian SUN**

(13/04/09-31/07/09)

Post-Doc, Nanyang Technology University, Research Technoplaza, Singapour.

#### **Luis MARTINEZ LEON**

(22/06/2009 au 22/12/2009)

Post-Doc, Université de Jaume de Castellon, Espagne.

#### DÉPARTEMENTC2S2

#### Alain XIONG

(01/02/09 au 31/05/09), Post-Doc Université

(01/06/09 au 28/02/10), Ingénieur Prestation Recherche

#### AVRUL - XLIM.

**Emmanuel DUPOUY** (01/04/09 au 31/07/09) Post-Doc, Université.

#### COLLOQUE

# 15ème Colloque International

et Exposition sur la Compatibilité ElectroMagnétique















Le 15<sup>ème</sup> Colloque International et Exposition sur la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) se déroulera à la faculté de Droit de Limoges du 7 au 9 Avril 2010. Il est organisé par le département OSA (Ondes et Systèmes Associés) de l'Institut XLIM.

Ce congrès, qui réunit toute la communauté des chercheurs et des industriels travaillant sur les problèmes de CEM, est l'occasion de présenter les dernières études scientifiques de ce domaine. Les thématiques couvrent les multiples facettes de la CEM ainsi que les nouveaux axes de recherche émergents.

#### **Thèmes scientifiques**

- CEM des transports
- CEM des systèmes spatiaux • CEM des systèmes complexes
- CEM des composants Méthodes numériques
- Modèles de couplage Movens d'essai
- Techniques de mesure • Intégrité de signal
- Protections et blindages
- Perturbations transitoires CFM et communications sans fil
- Effets biologiques et dosimétrie • CEM en électronique de puissance
- Câblages et lignes de transmission • CEM et environnement
- Thèmes émergents en CEM

#### Comité d'organisation Président

A.Reineix (XLIM)

Secrétaire N.Aymard (XLIM)

Secrétaires scientifiques C. Guiffaut (XLIM) F. Torrès (XLIM)

#### Conférences invitées D. Sérafin (DGA)

**Exposants** O. Dafif (XLIM)

#### Wehmaster G. Andrieu (XLIM) Membres

P. Lévêque (XLIM) M. Lalande (XLIM)









Président du comité d'organisation : Alain Reineix

**EN SAVOIR PLUS** http://cem2010.xlim.fr/w

Email webmaster: cem2010@xlim.fr Secrétaire scientifique : Christophe Guiffaut - 05-55-45-77-36

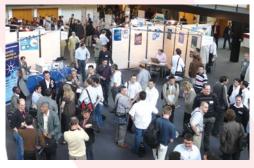
Secrétariat: 05-55-45-73-56

XLIM la lettre • NUMÉRO 10 • JUILLET 2009

### XLIM à l'honneur aux JNM 2009

La communauté des hyperfréquences s'est réunie du 27 au 29 mai 2009 à Grenoble à l'occasion des 16èmes Journées Nationales Microondes.

La manifestation, qui est la seconde traitant des micro-ondes en Europe derrière l'European Microwave Week, a regroupé plus de **530 participants**, dont une forte délégation limousine. A l'occasion de la conférence, **320 contributions** (sur plus de 360 soumises) ont été présentées à l'oral ou sous forme d'affiches, près d'une soixantaine provenant de notre laboratoire. Les différentes contributions ont été regroupées suivant 4 thématiques : **antennes et propagation**; **composants, circuits et dispositifs passifs**; **composants actifs et circuits intégrés**; **circuits complexes, sous-systèmes, systèmes, instrumentation et applications**.



Le comité scientifique a récompensé Pierre Guillot, doctorant à NXP/Université de Paris Est, pour ses travaux sur la faisabilité de référence haute fréquence pour les architectures RF et Claire Dalmay, doctorante à XLIM, avec les prix respectivement de la meilleure présentation orale et du

meilleur poster. Les travaux de Claire Dalmay concernent la mise au point de bio-capteurs pour l'analyse cellulaire basée sur l'interaction de signaux microondes avec le milieu cellulaire. Un principe de bio-détection original a été développé : il repose sur l'utilisation de dispositifs planaires RF résonants très sensibles qui, lors de leur mise en contact avec des cellules biologiques, permettent de mesurer leur bio-impédance. Selon le type cellulaire considéré et son état pathologique, ce paramètre caractéristique varie et permet de discriminer pour, à terme, trier différents types cellulaires, cela de manière non-invasive sans être obligé de les marquer ou de les modifier. Travaillant dans le spectre 10-35 GHz, ces capteurs ont une taille très réduite et la partie sensible permet de travailler à l'échelle de la cellule unique dont la taille est comprise entre 10 et 15 µm. Ce travail est le résultat d'une étroite collaboration avec le laboratoire d'Homéostasie cellulaire et Pathologies (EA 3842) de l'Université de Limoges dont l'une des principales thématiques de recherche porte sur l'étude de cellules souches neuronales cancéreuses et de leur rôle dans la récidive des cancers au niveau du cerveau humain. La prochaine grande étape de ces travaux portera sur la reconnaissance de ces cellules grâce aux capteurs conçus à XLIM.

Par Stéphane Bila et Claire Dalmay

#### INTRANET



#### L'Intranet d'XLIM (https://intra.xlim.fr)

a été mis en place, à l'origine, à destination du bureau de l'Institut Carnot XLIM afin d'échanger

des informations et de garder un historique facilement accessible. Il a évolué ensuite afin de diffuser des informations depuis le bureau Carnot vers l'ensemble du laboratoire. Il a aujourd'hui vocation à être à la fois un outil de communication pour le laboratoire et un outil basique de travail collaboratif. Le logiciel qui sert de support à cet Intranet est un Wiki (même famille de moteur que Wikipedia), prévu pour permettre à tout le personnel de facilement participer et enrichir le contenu. L'Intranet, comme son nom l'indique n'est accessible que depuis le réseau interne XLIM mais les membres du laboratoire peuvent également y accéder depuis Internet à l'aide d'un client VPN que pourra fournir le service informatique XLIM. L'outil de l'Intranet le plus utilisé est le **plugin Doodle** qui permet de planifier des réunions. Il se substitue au service Doodle (doodle.ch) dont l'utilisation est déconseillée par le CNRS. L'Intranet contient également des informations à destination de tous les membres du laboratoire comme par exemple celles liées à l'hygiène et à la sécurité, l'établissement d'un contrat de recherche avec des entreprises, les objectifs et le fonctionnement de l'institut Carnot... Cet outil doit évoluer, s'adapter à nos besoins et sera utile si notre communauté participe à son évolution et contribue à étoffer son contenu.

Par Henri Massias

#### ADELCOM >

L'ADELCOM éditera à nouveau, dès septembre 2009, son Annuaire des Doctorants et Anciens Membres qui sera mis en ligne sur le site : http://www.unilim.fr/adelcom/. On y retrouve également les offres d'emploi proposées par les industriels en relation avec XLIM.

#### ADDMUL >

http://www.unilim.fr/addmul/



Retrouvez les actualités et les derniers développements dans le domaine de la recherche sur notre site : www.xlim.fr Directeur de la publication : Dominique Cros
Directrice de la rédaction : Annie Bessaudou
(contact : annie.bessaudou@xlim.fr)
Co-Directrices : Françoise Cosset, Claire Darraud
Assistante de publication : Sophie Lebraud
Conception/réalisation : volonterre.fr

Imprimé sur papier certifié PEFC

