

**Thèse de Doctorat :  
Surfaces 3D sensibles imprimées : de l'interaction ondes-matière à  
l'interface homme-machine**

**RESPONSABLE(S) DE LA THESE :**

Encadrants : Sylvain Blayac (Ecole des Mines Saint Etienne-Centre Microélectronique de Provence (EMSE –CMP)) et Muller Muriel (Télécom Sud Paris(TSP) (Evry))

**Date de démarrage :** automne 2013

**MOTS CLES :**

Electronique imprimée, surfaces sensibles, conception microélectronique

**RESUME**

Nous proposons ici de développer un concept innovant de surface sensible conformable sur des objets 3D.

La base technologique de ce projet est constituée d'un capteur RF imprimé sur un substrat souple actuellement en cours de développement. Ce capteur RF est essentiellement constitué d'une ligne de transmission imprimée

Sur laquelle circule un signal RF. La localisation du point de toucher est faite par une analyse fréquentielle de réflectométrie en entrée de ligne. Les manipulations en laboratoire ont permis de valider une détection simultanée de la pression d'appui et de la position du point de toucher.

Pour ce projet de thèse, nous proposons de passer du concept à une version compacte et intégrée de l'électronique d'acquisition, d'explorer les possibilités de traitement du signal avancé pour l'acquisition en mode 3D et « multitouch » et d'étudier l'intégration possible de ces objets au sein d'une interface homme-machine innovante.

**PROFIL DU CANDIDAT :**

Etudiant de niveau Master 2 en conception microélectronique, électronique analogique / RF, avec un attrait pour l'innovation dans le domaine des interfaces homme-machine.

**Renseignements / Candidatures :**

Envoyer CV/ lettre de motivation avant le 10 juillet à :

[blayac@emse.fr](mailto:blayac@emse.fr) ou [muriel.muller@telecom-sudparis.eu](mailto:muriel.muller@telecom-sudparis.eu)

## DESCRIPTIF DETAILLE

### Contexte

L'électronique imprimée connaît actuellement un développement très important. Les laboratoires et entreprises du secteur se sont d'ailleurs récemment fédérés au sein de l'AFELIM (Association Française de l'Electronique Imprimée). L'impression de matériaux conducteurs, semiconducteurs et isolants permet la réalisation de dispositifs électroniques sans masque, sans contact, et sur une grande surface. Les applications de l'électronique imprimée et flexible sont très vastes et s'étendent du tag imprimé [1], avec antenne imprimée, aux applications médicales [2], voire à des dispositifs de grande surface que permet cette technologie bas coût. En particulier, cette approche permet d'envisager le développement de système autoalimentés compacts, suivant le concept de l'energy harvesting, dans lesquels la source d'énergie peut être d'origine électromagnétique (harvesting RF) [3], thermique (harvesting thermoélectrique), optique, ou vibratoire. L'impression permet dans ce cas de rajouter et d'interconnecter des capteurs/harvesters autour d'un microcontrôleur.

La présente proposition de projet se focalise principalement sur l'étude de la propagation des signaux sur les lignes de transmission imprimées et sur la réalisation de circuits d'adaptation avec pour objectif final la réalisation d'une dalle tactile. Il existe encore relativement peu d'articles scientifiques décrivant l'étude et la réalisation de lignes de transmission imprimées [4] et il est nécessaire de mener des travaux de recherche pour parvenir à la maîtrise de ces objets en pleine évolution. Nous proposons donc le lancement d'une thèse en co-encadrement entre les départements PS2 de l'EMSE-CMP (Ecole des Mines de Saint-Etienne) et Eph de TSP (Télécom SudParis).

**Le département PS2** du Centre Microélectronique de Provence, basé à Gardanne développe une technologie d'impression basée sur le jet de matière. Cette technologie permet de déposer des matériaux actifs sur substrat souple sans contact et sans masque [5]. Ce dernier point est un élément important car il permet la reconfiguration du motif imprimé de façon aisée, sans recours à une nouvelle fabrication de masque. La technologie développée permet ainsi de réaliser des interconnexions de circuits reportés sur substrats souples [6] et des éléments passifs ; antennes (fig. 1a) [7], capacités, résistances avec une possibilité de réalisation de multicouches (fig. 1c) [8, 9]. La réalisation de lignes de transmission coplanaires imprimées a également été engagée depuis quelques mois (fig. 1b).

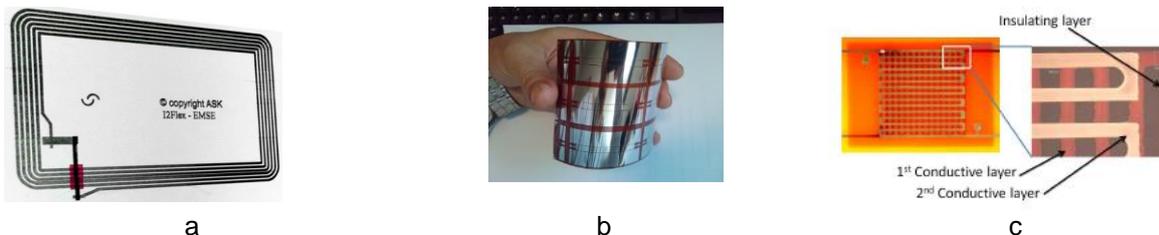


Fig. 1 : Quelques exemples de dispositifs réalisés au laboratoire : Antenne RFID (a), Lignes coplanaires imprimées sur support souple (b), Résistances multiveaux(c)

Parallèlement, le département travaille sur l'impression de matériau semiconducteur (programme ANR INXILICIUM) et a récemment obtenu des premières couches de silicium déposé par jet de matière à partir d'une encre de nanoparticules en suspension [10]. Ceci permet d'envisager l'impression de dispositifs actifs.

L'équipe «Hyperfréquence et Communication de Proximité» du **département Eph** de TSP a pour thème le design de circuits hautes-fréquences notamment pour des systèmes sans fil large bande. Elle a acquis une forte expérience dans l'optimisation de composants opto-électriques et la modélisation de lignes [11], dans la mise en place d'un banc de caractérisation non-linéaire pour transistors de puissance micro-ondes [12] et enfin, dans la conception MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit) de système très large bande UWB (Ultra Wide Band) pour la communication et la localisation, comme en témoigne les résultats très encourageants obtenus dans ce domaine récemment [13].

### Objet de la collaboration

La valorisation de la technologie d'impression par jet de matière passe par la réalisation de démonstrateurs fonctionnels. Ainsi, outre les réalisations ponctuelles, le département PS2 développe depuis deux ans un concept innovant de dalle tactile RF basée sur la localisation de points de toucher sur un substrat souple sur lequel est réalisée une ligne de transmission coplanaire. Cette localisation se fait par réflectométrie temporelle. Après validation du concept sur une ligne coplanaire en cuivre réalisée sur PCB verre/epoxy, un projet étudiant a permis la réalisation d'un système d'interfaçage et d'acquisition d'une dalle de 20 x 20cm<sup>2</sup> [14] (fig.2).

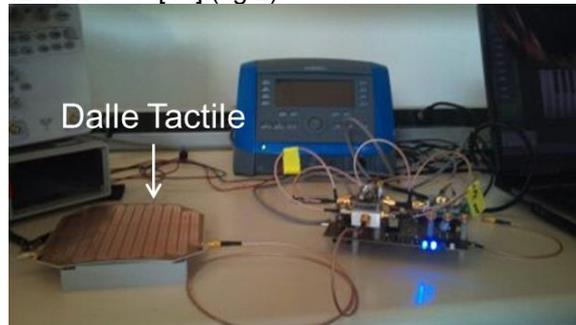


Fig. 2 : Dalle tactile et circuit d'acquisition actuels

La dalle est actuellement réalisée sur un substrat PET (Polyéthylène Téréphtalate) et la ligne de réalisée en lithographie.

L'intérêt majeur du concept réside dans la possibilité de réaliser des dalles de très grande surface avec lecture sur un unique port d'accès, alors que les dalles classiques sont de type matriciel, ce qui augmente considérablement le coût dès lors que la surface augmente.

Ce point est un élément différenciant fondamental de notre approche. Ce concept n'est à notre connaissance développé dans aucun autre laboratoire français. Au niveau mondial, une série de brevets et de publication récents montre que des développements sont en cours [15] [16] [17] [18]. Notre valeur ajoutée par rapport aux développements existants sera principalement dans le système d'acquisition.

Par principe, le capteur en lui-même est simple, la valeur ajoutée est donc essentiellement dans le système d'acquisition. Cependant, il est nécessaire de mener une étude scientifique sur le dessin de la ligne de transmission et d'étudier des architectures de ligne propres à optimiser la sensibilité du capteur. On pourra mener pour cela une étude électromagnétique locale permettant de modéliser l'interaction du doigt avec la ligne. Par exemple, l'ajout de matériaux ferromagnétiques pourra être envisagé pour diriger le champ électromagnétique vers la région du contact. Dans un deuxième temps, on envisagera de réaliser des lignes enterrées, et étudier l'atténuation consécutive, ainsi que les moyens de la compenser.

En ce qui concerne le circuit d'acquisition, il est en quelque sorte nécessaire d'intégrer une fonction d'analyse de réseau dans un système compact. En particulier, la bande passante nécessaire peut être relativement grande et peut constituer une limitation sérieuse.

Nous avons jusqu'ici développé un concept d'acquisition en bande étroite, dans la gamme des 100 MHz, qui nous permet d'envisager la réalisation d'un circuit compact, bas coût et potentiellement monolithique, et intégrable comme une « IP » analogique de microcontrôleur. Le développement d'un tel circuit monolithique RF d'acquisition constituera le deuxième axe de la thèse.

Le troisième point d'intérêt de la thèse concernera l'étude des algorithmes de détection. En ce qui concerne la détection d'un toucher unique, dans des conditions optimales de mesure, l'approche est relativement simple à implémenter de façon compacte. Le vrai défi scientifique consistera à garantir une détection correcte dans un mode dégradé, lorsque des réflexions parasites seront présentes, et à plus longue échéance, dans l'optique d'une évolution vers un mode multitouch pour lequel des échos vont se superposer. On fera donc appel à des approches avancées de traitement du signal pour discriminer les différents signaux, ces approches devant être compatibles avec le déploiement sur un microcontrôleur.

Enfin, cette étude sera connectée à une dimension applicative forte. Il s'agira non seulement d'étudier l'aspect purement technique, mais encore d'intégrer dans les données de l'étude des profils applicatifs

qui permettront de guider le travail d'ensemble. On se placera dans l'hypothèse de la conception d'une interface homme machine en trois dimensions, constituée d'un corps en matière plastique sur lequel seront reportés des éléments sensitifs. Le corps plastique pourra être réalisé en prototypage 3D, en collaboration avec des équipes de design. Cette étude aura pour but de montrer le potentiel d'usage de la technologie et de l'apport en interactivité qui pourrait être apporté par la double détection position-pression, et permettra de fixer des lignes guides pour le travail en amont.

Nous proposons donc d'allier les compétences technologiques et scientifiques du département PS2 dans le domaine de la conception des lignes et de l'électronique imprimée hybride aux compétences du département EPh dans le domaine de la caractérisation, la modélisation et la conception hyperfréquence, au travers d'un co-encadrement de thèse.

### Contenu scientifique-Programme prévisionnel

Compte tenu de l'objectif ci-dessus, il sera proposé au doctorant de décliner son travail de recherche en trois activités articulées autour de la problématique de conception des surfaces sensibles :

#### Thème n°1 : Caractérisation, modélisation et conception des lignes imprimées

- Etat de l'art, revue des architectures de lignes envisageables en fonctions des critères technologiques et applicatifs. On se placera a priori aux environs de 100 MHz mais on pourra envisager de modifier cette valeur en cas de nécessité. (PS2)
- Conception et réalisation de motifs de tests dans différentes conditions de procédés, mesure des paramètres S (PS2/EPh)
- Modélisation électromagnétique et optimisation de sensibilité au toucher (EPh)

#### Thème n°2 : Circuits d'acquisition et algorithme de détection

- Conception en vue d'une intégration monolithique dans une technologie cible préalablement étudiée, potentiellement développement d'une « IP » analogique intégrable dans un microcontrôleur. (EPh)
- Etude d'un algorithme de détection avancé robuste aux réflexions parasites et développement d'une détection « multitouch » (PS2/EPh)

#### Thème n°3 : Interface homme machine (IHM)

- Etude d'une interface homme machine faisant appel à la technologie de surface sensitive, état de l'art de l'existant
- Prototypage virtuel : modèle mécanique et réalisation de prototypes 3D du support plastique (collaboration interne Ecole des Mines)
- Etude de l'apport de l'IHM et exploitation optimale de la double détection position-pression.

### Références

- [1] L. Yang and M. Tentzeris, "Design and Characterisation of Novel Paper-Based Inkjet-Printed RFID and Microwave Structures for Telecommunication and Sensing Applications", Proc. IEEE Microwave Symposium, 3-8 juin 2007, pp 1633-1636.
- [2] A. Rubin, J-C Ginefri, M. Tatoulian, C. Sebrie, B. Gillet, L. Darasse and E. Dufour-Gergam, "Flexible RF Microcoil For Neurosciences", 20th Micromechanics Europe Workshop, Toulouse, 20-22 septembre 2009, in Proc. Micromechanics Europe Workshop, vol. 1, A20.
- [3] M. Tentzeris and Y. Kawahara, "Novel Energy Harvesting Technologies for ICT Applications", IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet, 2008.
- [4] O. Azucena, J. Kubby, D. Scarbrough and C. Goldsmith, "Inkjet Printing of Passive Microwave Circuitry", IEEE Intl Microwave Symp. Dig., pp. 1075-1078, June 2008.
- [5] R. Cauchois, M. Saadaoui, A. Yakoub, K. Inal, B. Dubois-Bonvalot and J.C. Fidalgo, "Optimal sintering technologies applied to inkjet-printed silver nanoparticles for microelectronics applications", Sintering 2011, Jeju (Corée).
- [6] R. Cauchois, M. Saadaoui, A. Yakoub, K. Inal, B. D. Bonvalot and J.C. Fidalgo, "Impact of variable frequency microwave and rapid thermal sintering on microstructure of inkjet-printed silver nanoparticles", Journal of Materials Sciences, 2011.
- [7] Yakoub, M. Saadaoui, P. Benaben and Lopec, "High efficiency of Low-cost Spiral Antennas for RFID, Fully Printed by an Inline Inkjet Process", 2012.

- [8] A. Yakoub, A. Le-Henry, C. Calmes, M. Saadaoui and P. Benaben, "Multilayer Printed 3D Resistors Fabricated by an In-Line Inkjet Process For RFID", Large-area Organic and Printed Electronics Convention, LopeC-2011, Germany.
- [9] A. Yakoub, M. Saadaoui, R. Cauchois, J-M. Li and P. Benaben, "An Improved In-Line Inkjet Printing Process for 3D Multilayer Passive Devices", MRS fall meeting, Boston USA, 2011.
- [10] E. Drahi, S. Blayac, P. Benaben, "Silicon Thin-films from Nanoparticles Dispersion: Tailoring Morphological, Electrical and Optical Characteristics", Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, avril 2011.
- [11] M. Muller, S. Withitsoonthorn, M. Riet, J.L. Benchimol and C. Gonzalez, «Millimeter-wave InP/InGaAs Photo-HBT and its application to optoelectronic integrated circuits», IEICE Transaction on Electronics, Vol. E86-C, N°7, 2003.
- [12] G.I. Abib, E. Bergeault, S. Bensmida, B. Huyart and R. Mohellebi, "Power Amplifier Optimization Using Base-band and Multiharmonic Source / Load-Pull Characterization with Digital Predistortion", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Vol.1, Special Issue 04, August 2009.
- [13] A. Pardiñas-Mir, M. Muller, R. Lamberti and C. Gimenes, "TR-UWB Detection and Synchronization Using the Time Delayed Sampling and Correlation Detection Method", Int Conference on Wireless Information Networks and Systems (WINSYS), 2011. Elu "Best Paper" de la conférence.
- [14] M. Nouaille, A. Schreiner, M. Rezgui and O. Djabali, Rapport de projet industriel 2eme année "Dalle Tactile à Reflectométrie Temporelle", EMSE/CMP – Gemalto.
- [15] Chi-Fang Huang<sup>1</sup>, Yu-Ching Hung<sup>1</sup>, Chia-Lin Liu, Precise Location of Touch Panel by Employing the Time-Domain Reflectometry, SID Symposium Digest of Technical Paper, Volume 40, Issue 1, pages 1291–1293, June 2009
- [16] Kim Kihong, Time domain reflectometer touch sensor US patent N°US 2011 /0128257A1 June 2.
- [17] Raphael Wimmer, Patrick Baudisch, "Modular and deformable touch-sensitive surfaces based on time domain reflectometry", UIST '11 Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology pp. 517-526, October 16 - 19, 2011
- [18] James E. Bartling, Dennis P. Lehman Touch sense determined by characterizing impedance changes in a transmission line, US patent N° 2012/0271580 A1, 25 oct. 2012