

Vers l'électronique imprimée à l'IMS Bordeaux - plateforme technologique TAMIS (Technologies Alternatives aux Microsystèmes Silicium)

Hélène Debéda (*), Ludivine Fadel, Isabelle Favre, Jean-Luc Lachaud, Jean Tomas
(*) helene.debeda@ims-bordeaux.fr

*Pôle CNFM de Bordeaux, Laboratoire IMS, 351 Cours de la Libération,
33405 Talence Cedex*

RESUME

L'électronique imprimée « Printed Electronics » prend de nos jours de plus en plus d'importance. Parmi les techniques d'impression, les plus répandues sont la sérigraphie, le jet d'encre et la flexographie, cette dernière étant une technique roll to roll (R2R) permettant d'augmenter la vitesse d'impression. Nous disposons au niveau de la plateforme de technologie TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes) hébergée au Laboratoire IMS de Bordeaux des deux premières techniques d'impression dédiées à la recherche et à l'enseignement. La sérigraphie est la plus utilisée de par sa simplicité, sa flexibilité et son bas coût et des réalisations sont décrites (jauges de déformation, antennes patchs). Ces évolutions vers l'électronique imprimée pour des composants ou systèmes ou pour l'assemblage sont illustrées chaque année auprès d'une soixantaine d'étudiants issus des filières électroniques.

Mots clés : impression, sérigraphie, jet d'encre, flexographie, substrats flexibles, encre composite, capteurs, patch RFID, bumps pour flip chip

1 INTRODUCTION

L'électronique imprimée offre des avantages majeurs par rapport aux applications électroniques « classiques » réalisées à partir de silicium dont :

- le bas coût : procédé additif (figure 1), large volume et rapidité d'impression, bas coût d'investissement ;
- la versatilité : nature des couches imprimées, type de substrats, facteurs de forme et température du procédé ;
- la qualité de l'impression : bonne répétabilité avec une bonne résolution.

L'essor grandissant dans le domaine de l'électronique imprimée a permis de montrer la faisabilité de divers éléments passifs et actifs de l'électronique tels que les transistors, les diodes, les cellules photovoltaïques, les écrans, les antennes RFID etc. Parmi les techniques d'impression, les plus ré-pandues sont la sérigraphie, le jet d'encre et la flexographie, cette dernière étant une technique roll to roll (R2R) permettant d'augmenter la vitesse d'impression. Ces technologies offrent la possibilité de réaliser des composants ou microsystèmes sur des supports variés, type céramiques, plastiques ou papier (figure 2) ainsi que l'assemblage de composants électroniques qui deviennent plus per-formants (type « flip- chip »). Leur principe sera présenté dans la partie suivante.

Nous disposons au niveau de la plateforme de technologie TAMIS (Technologies Alternatives aux Microsystèmes) hébergée au Laboratoire IMS de Bordeaux de deux équipements dédiés à l'impression : une machine de sérigraphie et une de jet d'encre. Toutes les deux sont utilisées à la fois pour la recherche et l'enseignement. Des résistances ou conducteurs à base d'encres nano-composites pour applications capteurs ou pour antennes RFID ont notamment été réalisées et seront présentées dans la troisième partie de ce document.

Pour l'application composant « flip-chip », les techniques d'impression pour la réalisation de bossages (« bumps ») en brasures ou en résines char-gées s'avèrent aussi attractives et les procédés de fabrication en cours de développement à l'IMS seront détaillés dans cette même troisième partie. Une solution alternative de fabrication de « bumps » pour des prototypes disponibles prochainement au niveau de TAMIS sera aussi exposée (méthode « stud-bumping »).

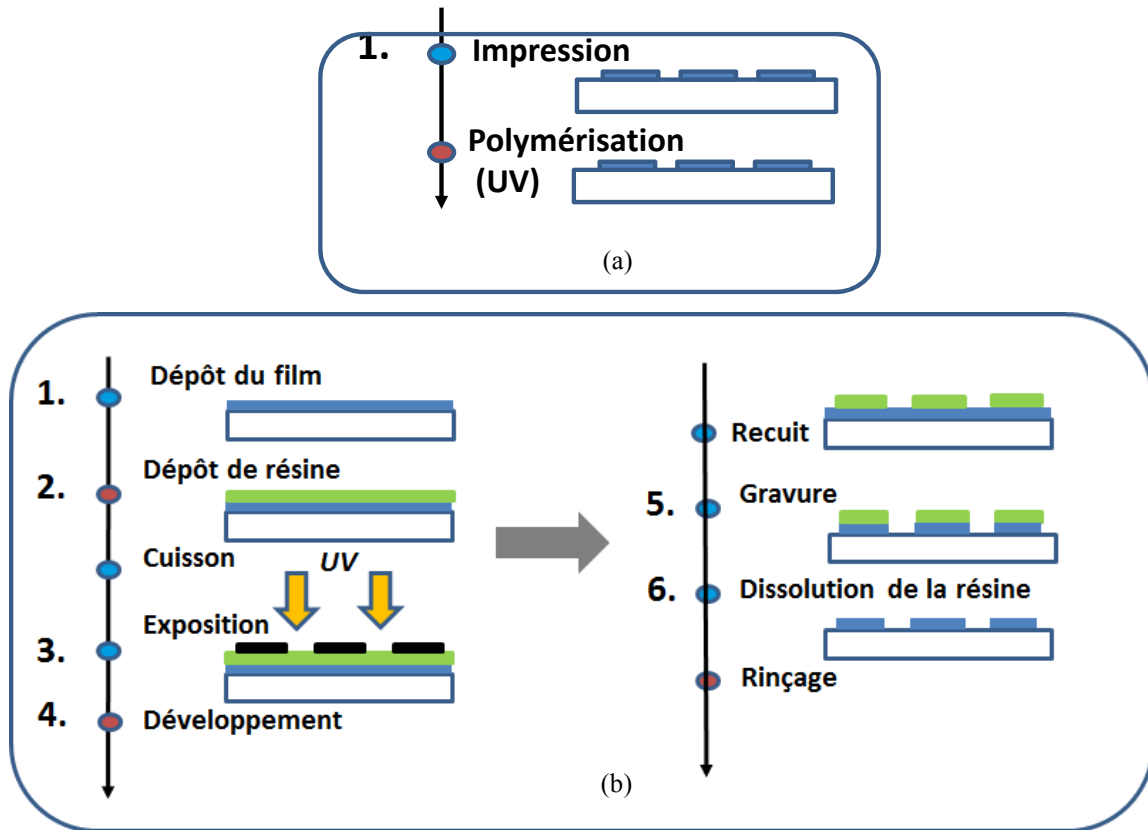


Figure 1 : Electronique imprimée : une seule étape (a) par rapport au procédé conventionnel (b)

2 LES TECHNIQUES D'IMPRESSION

2.1 La sérigraphie (« screen-printing »)

Le principe consiste à faire passer de l'encre (pâte formée d'un mélange de poudre et de liant organique) au travers des mailles d'un écran (figure 3a). L'écran est constitué par un cadre sur lequel est tendue une toile en fils d'acier partiellement recouverte d'une résine photosensible pour définir les motifs à imprimer. La définition et l'épaisseur du dépôt imprimé dépend de la finesse de la toile (donnée en meshes, nombre de fils par pouce) et de l'épaisseur de la résine photosensible (figure 3b). Pour reproduire les motifs de l'écran sur le substrat, l'encre est enduite sur la toile puis étalée à l'aide d'une racle. Une fois l'encre déposée, elle subira un traitement thermique dépendant de sa composition initiale. Le type d'encre déposée dépend des applications (fonction conductrice, résistive ou isolante) et du substrat. On distingue deux types d'encres : les encres polymères et les encres minérales qui, de compositions différentes, ne subissent pas les mêmes traitements thermiques après sérigraphie. Ces traitements thermiques permettent d'assurer l'accrochage de la couche sur le substrat et sa cohésion. Les encres polymères qui permettent de réaliser des dépôts sur substrats plastiques ou papier de par leur traitement thermique à basse température (<200°C) prennent de plus en plus d'importance. Des exemples d'utilisation de ce type d'encre seront donnés partie 3. Avec ce procédé d'impression, la définition est de 50 lignes/cm avec des épaisseurs variant entre 2,5 et 100 μm (classiquement 20-30 μm). A noter que des pochoirs (« stencil ») feuilles mé-

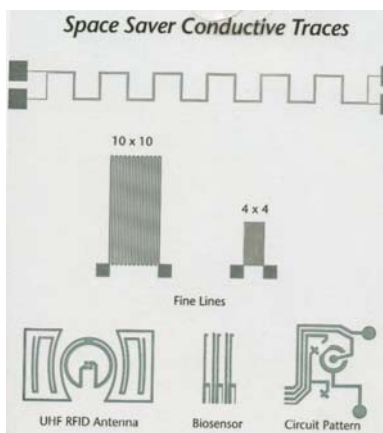
talliques gravées peuvent remplacer les écrans pour notamment l'impression de crème à braser pour le report de composants montés en surface (CMS) ou la réalisation de bossages pour les puces bil-lées.



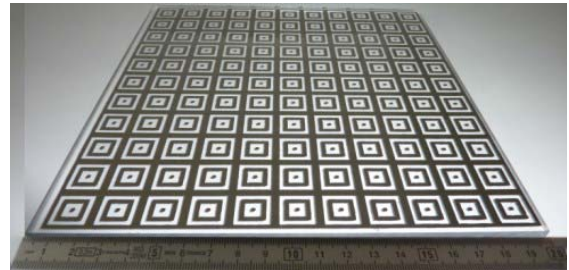
a) Conducteurs imprimés sur substrat flexible polymère par flexographie [1]



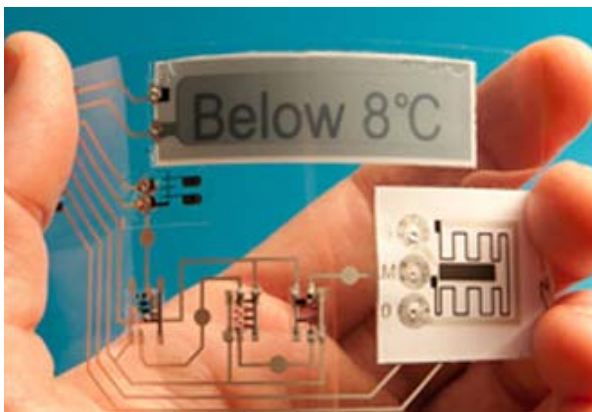
b) Conducteurs et isolants sérigraphiés sur substrat céramique



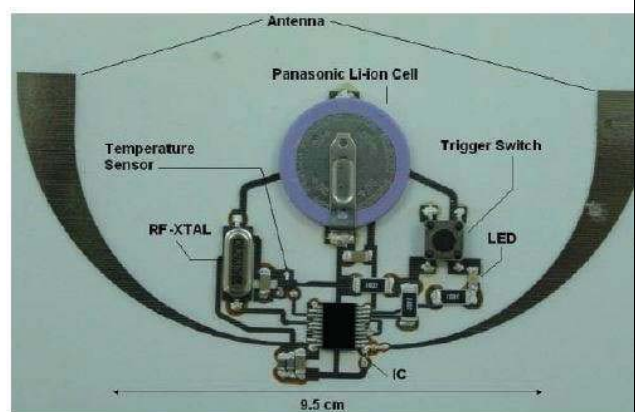
c) Motifs de conducteurs imprimés sur papier par flexographie [1]



d) Antenne FSS (Frequency Selective Surface) antenna sur verre imprimée par jet d'encre [2]

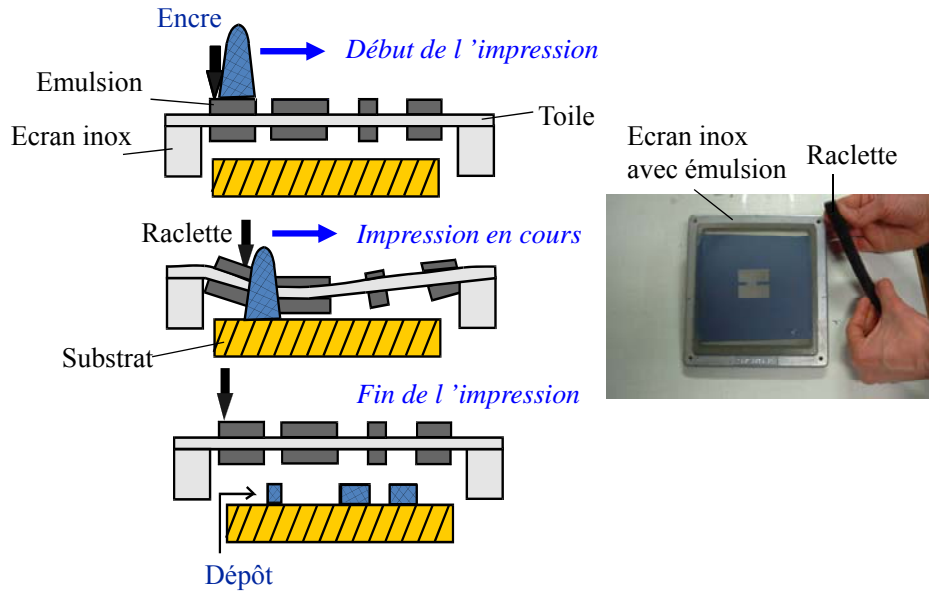


e) Détecteur de température sur substrat flexible polymère [3]

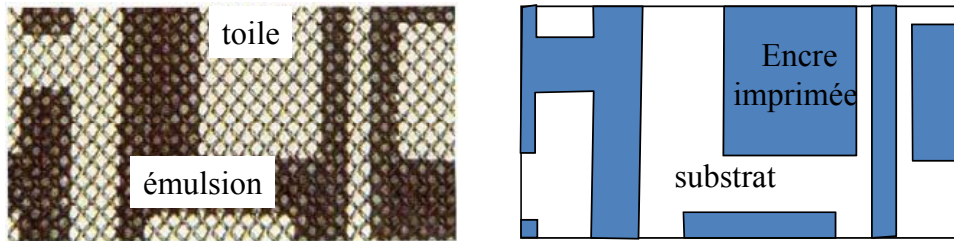


f) Dispositif électronique de détection thermique intégré avec une antenne RFID sur papier [4]

Figure 2 : Exemples de circuits imprimés sur substrats variés : du conducteur jusqu'au microsysteme complet



a) Principe de la sérigraphie



b) Maillage d'un écran de sérigraphie partiellement recouvert de l'émulsion et motif d'encre imprimé associé

Figure 3 : Principe de la sérigraphie

2.2 Le jet d'encre (« inkjet »)

Le jet d'encre (ou plus généralement de matière) principalement utilisé dans l'industrie du graphisme est actuellement en plein essor dans de nombreux autres domaines de haute technologie. Les possibilités qu'offre ce procédé additif sont intéressantes pour diverses applications industrielles notamment en microélectronique, où la non pollution, la précision et l'économie de matière sont des éléments primordiaux. Cette technique est un procédé d'impression sans contact reposant sur la formation de gouttes par rupture d'un jet de fluide continu, sous l'effet d'une petite perturbation telle qu'une onde de pression. Il existe deux grandes catégories de procédés : le jet d'encre continu ('Continuous Ink Jet CIJ') et la goutte à la demande ('Drop On Demand DOD') (figure 4).

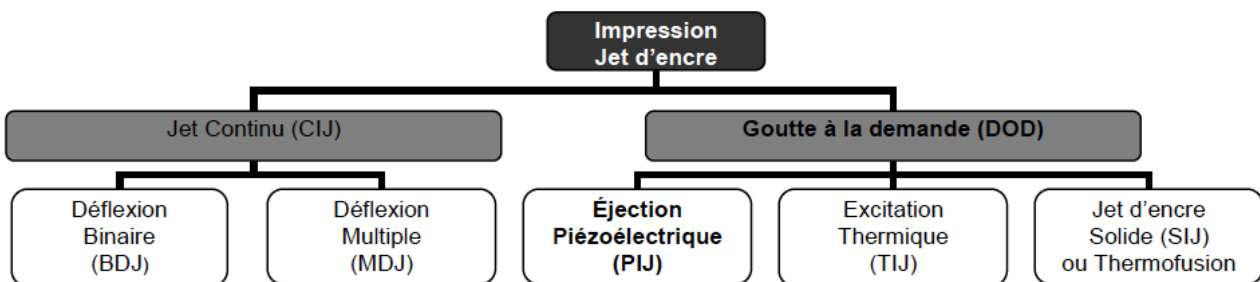


Figure 4 : Organigramme des technologies jet d'encre

Le jet continu consiste en la formation de gouttes à fréquence régulière par fractionnement d'un cylindre de liquide sous l'effet d'une perturbation (figure 5). Ces gouttes peuvent être chargées ou non en sortie de buse par le passage à proximité d'une électrode. La trajectoire des gouttes chargées est déviée par un champ électrostatique, vers un réceptacle permettant de recycler les gouttes non utilisées.

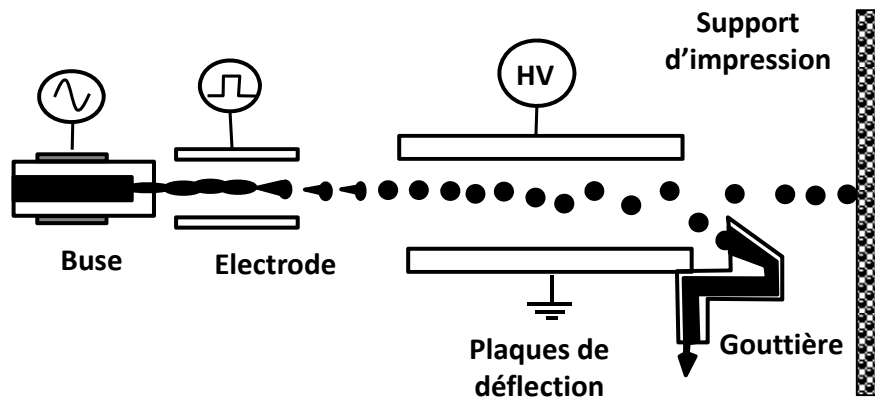


Figure 5 : Principe du jet d'encre continu

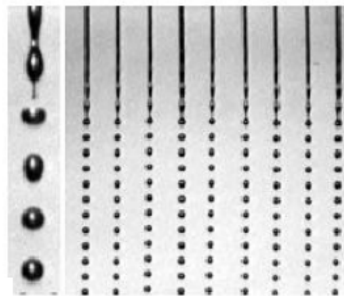


Figure 6 : Photo stroboscopique d'un jet d'encre continu (taille de goutte $70\mu\text{m}$) [5]

Contrairement au procédé jet d'encre continu, le procédé de goutte à la demande forme uniquement les gouttes nécessaires à l'impression, en créant une onde de pression dans un canal contenant un liquide, ce qui entraîne l'expulsion d'une goutte à travers un orifice. Les trois principales méthodes d'éjection à la demande sont le procédé thermique, le procédé piézoélectrique et la thermofusion. Parmi ces méthodes d'éjection à la demande, le procédé piézoélectrique est le plus développé et est basé sur un phénomène de piézoélectricité inverse au cours duquel un matériau se déforme mécaniquement sous l'effet d'un champ électrique. De nombreuses têtes d'impression sont développées sur ce principe : les buses, taillées dans une céramique piézoélectrique, se déforment mécaniquement sous l'effet d'un champ électrique, créant une surpression dans le liquide et permettant ainsi la formation d'une goutte. Le chauffage du matériau dans ce procédé n'est pas indispensable ce qui réduit son coût énergétique. Cependant il est parfois nécessaire pour abaisser la viscosité du fluide afin d'être dans les spécifications de la machine. De plus ce procédé utilise une approche purement mécanique pour l'éjection des gouttes et impose peu de limitations sur les liquides pouvant être employés. Tout comme pour la sérigraphie, l'encre est un mélange de liant organique et de particules solides; la viscosité de l'encre est cependant bien plus faible que pour les encres de sérigraphie ($<20\text{mPa}\cdot\text{s}$ contre $0,1\text{-}10\text{Pa}\cdot\text{s}$ pour les encres de sérigraphie). Cette technique permet enfin d'imprimer 200 lignes/cm avec des épaisseurs variant entre $1\ \mu\text{m}$ et $0,5\text{mm}$.

2.3 La flexographie (« flexography »), une technique roll to roll (R2R)

Ce procédé est largement utilisé dans le monde de l'imprimerie. Le support d'impression flexible est le plus souvent du papier ou du carton, ou plus récemment un substrat plastique pour la micro-électronique (figure 2a). L'outil d'impression est constitué d'un système d'alimentation de l'encre à imprimer et de trois cylindres : le cylindre de « contre -pression », celui « porte-cliché », et le rouleau anilox (figure 7). Le motif à imprimer est gravé sur une plaque de photopolymère recouvrant le cylindre « porte-cliché ». L'encre est déposée sur la plaque de photopolymère grâce au rouleau ani-lox. Celui-ci est constitué de cellules dont la géométrie contrôle la rapidité et la constance de dépôt de matériau sur la plaque de photopolymère. Ce rouleau anilox est un rouleau céramique sur lequel le motif a été gravé au laser. La quantité de dépôt dépendra de la pression exercée entre le cylindre « porte cliché » et rouleau anilox. Une légère pression appliquée par le cylindre de « contre-pression » permet enfin le transfert du motif sur le substrat flexible défilant. Le réglage de ces différents paramètres permet d'éviter les phénomènes d'écrasement et de déformations des motifs déposés. Le type d'encre et ses propriétés dépendront de la nature du support. Les encres à l'eau ou les encres UV conviennent pour l'impression du papier et du carton. Cette technique permet d'imprimer 70 lignes/cm. Les épaisseurs des couches déposées par flexographie sont de quelques microns et dépendent de la vitesse de la presse, des caractéristiques de transfert du produit, de sa viscosité (0,01-0,5 Pa.s) et de l'état de surface du support.

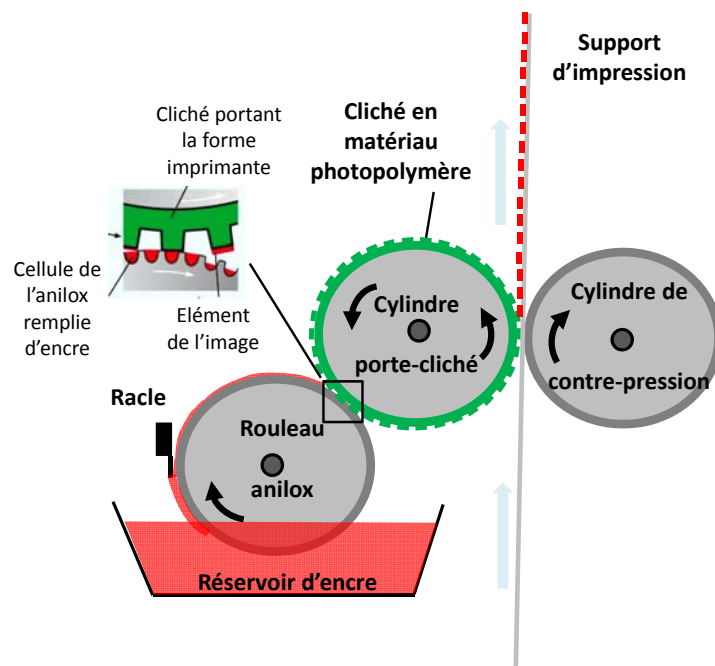


Figure 7 : Principe de la flexographie

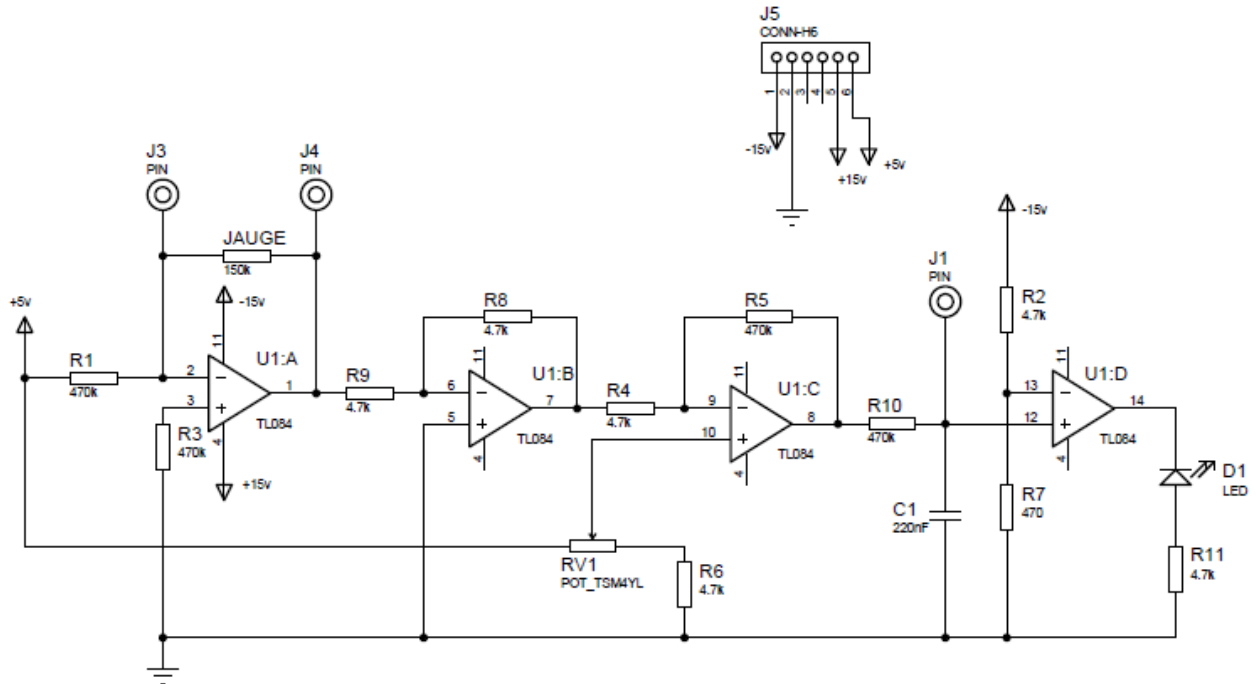
3 EXEMPLES DE REALISATIONS

3.1 Capteurs à base d'encres résistives composites époxy/ noir de carbone

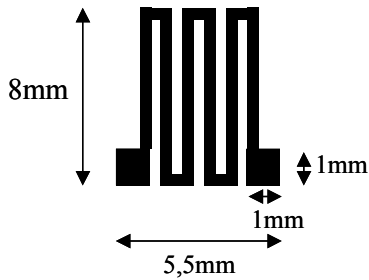
3.1.1. Jauges de déformation

Une jauge de déformation imprimée par sérigraphie sur une carte PCB (Printed Card Board) type FR4 a permis la mesure des déformations subies par la carte (figure 8). L'encre utilisée est une encre commerciale RS12113 de la société ESL (ElectroScience Laboratory). C'est une encre polymère résistive composite à base d'époxy et de noir de carbone qui présente une résistance par carré de $1k\Omega / \square$ et dont la polymérisation à basse température ($150^{\circ}C$) qui permet une impression sur le substrat FR4 verre/époxy. Un circuit d'électronique de conditionnement associé à la

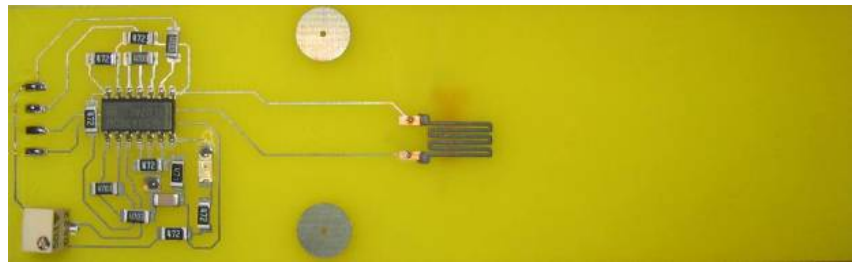
jauges indique le seuil de déformation. Ce circuit à base de composants CMS est constitué de 4 étages à base d'amplificateurs (AOp TLO84). Dans ce circuit, la jauge constitue la contre-réaction du premier étage. Le second étage est un simple inverseur. La tension de repos sur l'entrée négative du troisième étage est compensée par la tension que génère le montage potentiométrique sur l'entrée positive. On retrouve en sortie les variations de tension dues aux variations de résistance de la jauge, induites par les déformations qu'elle subit, et amplifiées par le gain du troisième étage. Un seuil de déformation est détecté par l'allumage d'une diode placée en sortie d'un comparateur qui forme le dernier étage de ce montage.



a)



b)



c)

Figure 8 : Schéma électrique du conditionneur de jauge (a) dimensions de la jauge sérigraphiée (c) photographie d'une carte PCB intégrant la jauge et l'électronique de conditionnement

La fabrication de ce capteur de déformation associé à l'électronique de traitement est proposée aux étudiants en licence en complément d'un enseignement autour des capteurs et microsystèmes (en licence 3 EEA ou licence Professionnelle de l'IUT GEII de Université de Bordeaux ou enfin à l'INP-Enseirb-Matmecca, 1^{ière} année d'ingénieur en Systèmes électroniques embarqués). D'un point de vue pratique, les étudiants procèdent comme suit :

- saisie de schémas, routage sur Proteus et fabrication du circuit imprimé à partir du typon réalisé,

- sérigraphie de la jauge de déformation,
- microassemblage des composants montés en surface,
- vérification de l'assemblage : contrôle optique des joints,
- test de fonctionnement de l'ensemble : réglage du zéro de sortie à l'aide d'un potentiomètre, blocage du corps d'épreuve et mise sous déformation de la jauge jusqu'à allumage de la diode de seuil (figure 9).

Une impression de cette jauge sur substrat plastique ou sur du papier ensuite déformé est aussi possible (figure 10). Les composants CMS doivent ensuite être collés sur papier au lieu d'être brasés, comme illustré figure 2f.

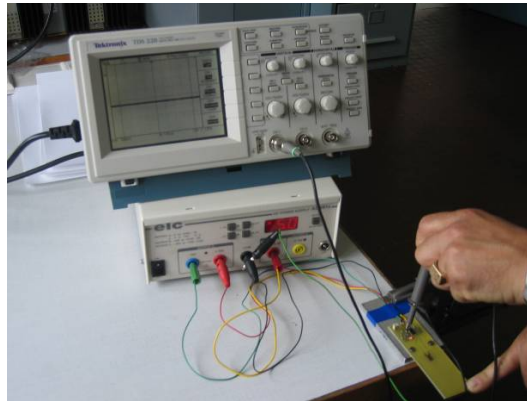


Figure 9 : Test du circuit jauge réalisé

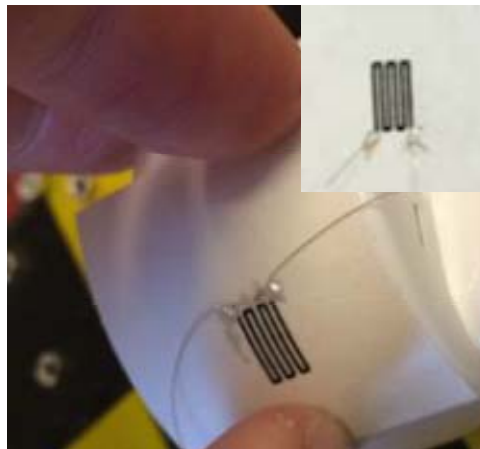


Figure 10 : Jauge de déformation sérigraphiée sur papier [6]

3.1.2. Capteurs d'humidité

La même encre résistive à base de noir de carbone, chargée à l'aide de nanoparticules (NPs) bistables a permis de détecter des variations de taux d'humidité sur une large gamme. Les nanoparticules sont à base du complexe de Fer ($[\text{Fe}(\text{Htrz})_2\text{trz}]\text{BF}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{SCO}$) et ont été synthétisées à l'ICMCB de Bordeaux [7]. Elles ont un diamètre de 45nm. Les capteurs ont été entièrement fabriqués par sérigraphie en utilisant les encres de la société ESL. La couche sensible est tout d'abord imprimée en modifiant l'encre résistive RS-12113 ($1\text{k}\Omega/\square$) contenant du noir de carbone. Les nanoparticules sensibles à l'humidité $\text{Fe}[(\text{Htrz})_2(\text{trz})]\text{BF}_4$, sont incorporées dans la matrice époxy-noir de carbone en ajoutant le volume approprié permettant de conserver de bonnes propriétés rhéologiques nécessaires à la sérigraphie. Avec cette encre modifiée RS12113, des couches de 15 mm de long sur 3 mm de large ont été imprimées sur un substrat d'alumine. Après l'impression, l'encre

résistive est séchée 20 min à 120°C puis polymérisée 6 min à 230°C dans un équipement phase vapeur [8]. La couche finale polymérisée a une épaisseur d'environ 20µm. Après le dépôt de cette couche sensible, des contacts à base d'argent sont aussi imprimés en utilisant une encre à base d'époxy (ESL1901-S) polymérisée 20 min à 120°C. En parallèle, des échantillons référence de taille et épaisseur identiques sont fabriqués, en utilisant la pâte ESLRS15113 incluant le noir de carbone mais sans le composé Fe(II). Les couches résistives ont ensuite été testées sous air synthétique, avec des taux d'humidité croissants variant de 20% à 80% (figure 11). Des augmentations de résistance avec le taux d'humidité ont été observées pour les 2 types de couches, avec et sans couche sensible, liées dans les deux cas à une sorption de la vapeur d'eau dans la matrice époxy. Un phénomène de saturation a cependant été observé pour les couches sans particules bistables, alors que la sensibilité des couches avec particules bistables est environ 6 fois plus grande, grâce au « gonflement » des nanoparticules bistables modifiant de manière significative le seuil de percolation des particules de carbone. Ce type de capteur, bien que réalisé sur un substrat céramique à base d'alumine laisse envisager des applications de capteurs d'humidité sur des substrats flexibles.

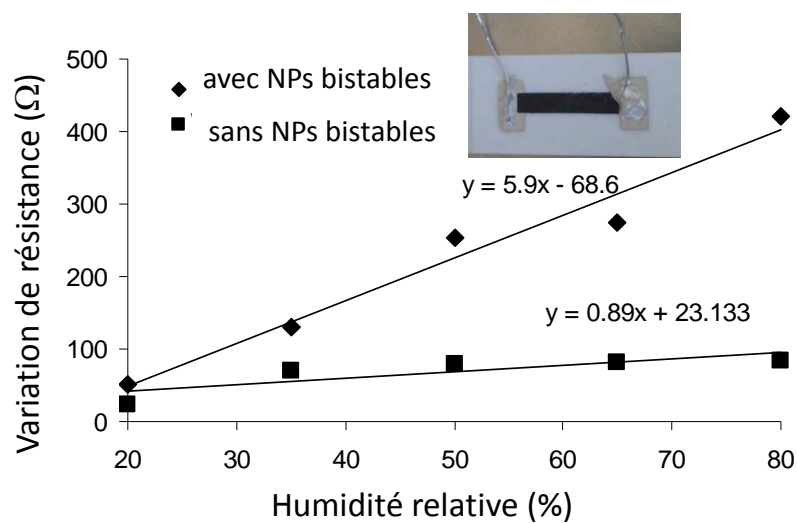


Figure 11 : Variation de résistance de la couche sérigraphiée à base de composite époxy/noir de carbone et à base de composite époxy/noir de carbone /particules bistables

3.2 Antennes Patches à base d'encre composite à l'argent

La télé-alimentation est un moyen de transmettre de l'énergie sans fil. Ce procédé, déjà utilisé dans les RFID, est aujourd'hui à l'étude dans le cadre des réseaux de capteurs sans fil afin d'alimenter tout ou partie d'un nœud de réseau. La viabilité du procédé pour une application donnée est dépendante de la quantité d'énergie récupérable. Il faut donc être capable de concevoir des modules récupérant un maximum d'énergie.

Ces modules de récupération et de stockage d'énergie basés sur le principe de la télé-alimentation se composent (figure 12) :

- d'un transducteur, l'antenne, qui convertit l'énergie électromagnétique en un signal électrique (tension et courant) alternatif (AC),
- d'un redresseur de tension qui permet de convertir le signal alternatif en une tension et un courant continu (DC),
- d'une capacité, ou super-capacité, emmagasinant l'énergie disponible à la sortie du redresseur.

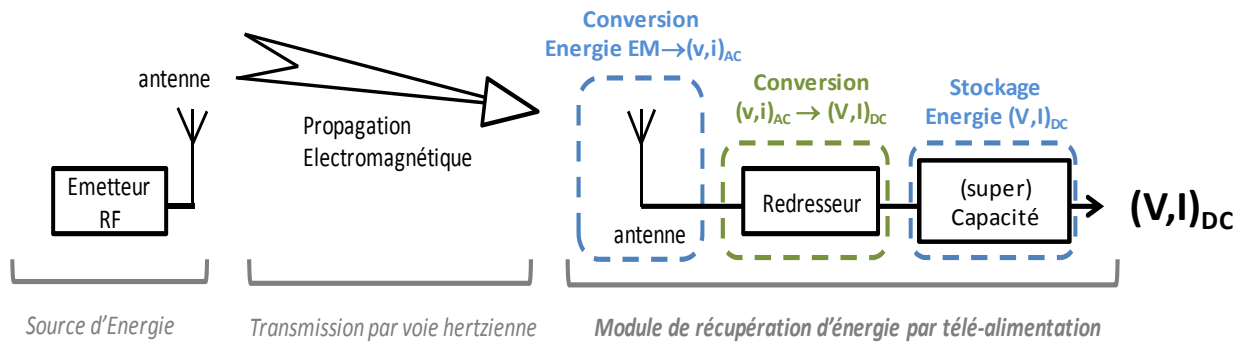
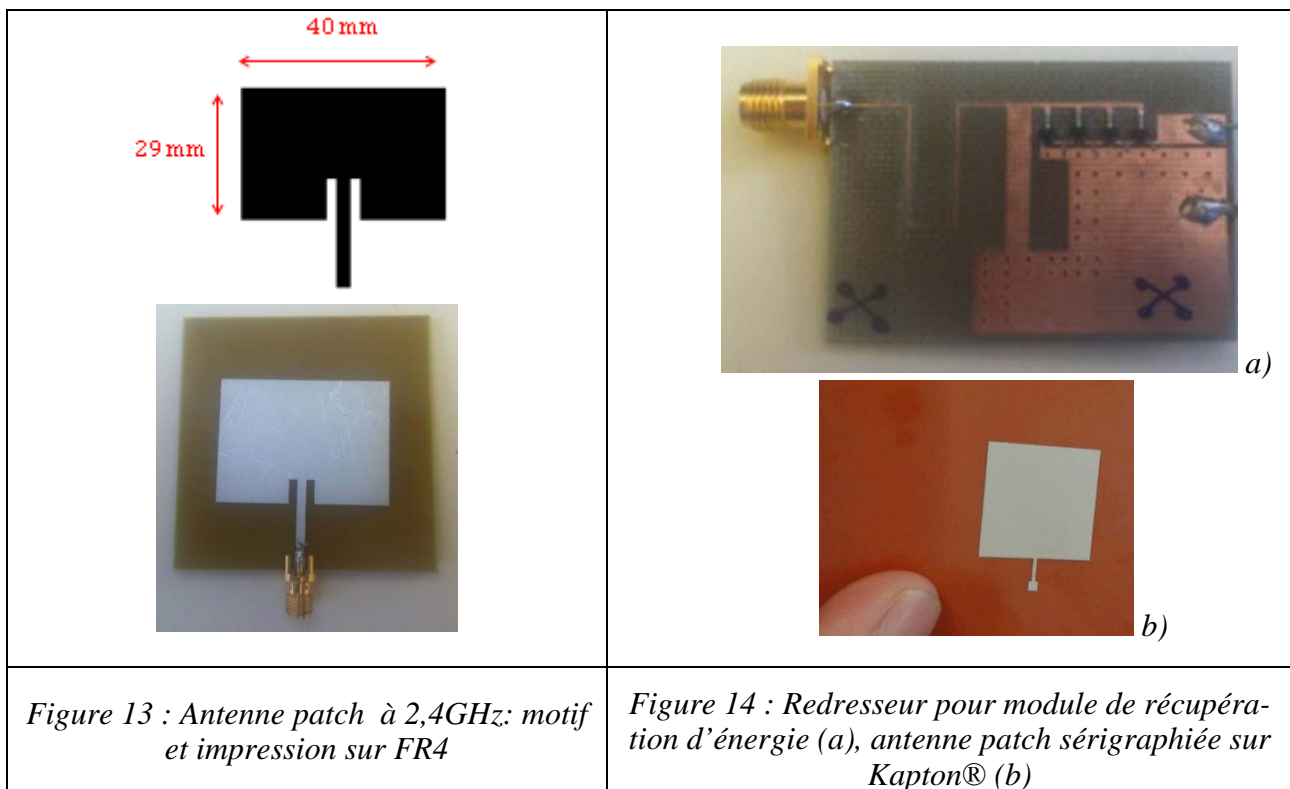


Figure 12 : Principe de récupération d'énergie par télé-alimentation

Dans le cadre de ces applications, une première génération de modules dédiée à la bande ISM 900MHz et 2,4GHz a été réalisée sur substrat FR4. L'antenne utilisée en émission et en réception est une antenne de type patch fabriquée par sérigraphie sur un substrat FR4 avec l'encre polymère chargée à l'argent (ESL 1901S), (figure 13). Le circuit électronique assurant la conversion du signal AC haute fréquence en un signal DC comporte un étage d'adaptation et plusieurs étages de redressement à base de diodes Schottky (figure 14a) et est obtenu par gravure mécanique du cuivre. Les composants CMS (diodes et capacités) nécessaires au redressement sont reportés par brasage en phase vapeur. De récents essais montrent la faisabilité d'imprimer également des antennes patch sur substrat flexible type polyimide (Kapton®, Dupont) comme illustré figure 14b.



3.3. Bossages (« bumps ») en brasure ou polymère pour flip-chip

Les puces nues de type « flip chip » sont des composants de plus en plus attractifs car ils permettent d'améliorer la densité d'intégration tout en améliorant les performances électriques grâce à leurs connexions électriques par bossages (« bumps ») [9] (figure 15). Plusieurs technologies pour

la réalisation des « bumps » sont envisageables parmi lesquelles l'impression par sérigraphie de « bumps » en brasure (SnAgCu « solder » notamment) ou en polymère (composite à base d'argent) (figure 16). Les étapes du procédé d'impression de « bumps » en brasure sont illustrées figure 17. Un pochoir métallique en nickel est alors utilisé pour la sérigraphie. Les diamètres standards de « bumps » ainsi déposés sont de 100µm et le « pitch » (distance entre 2 centres de bumps) de l'ordre de 150µm.

La technologie « stud-bumping » peut aussi être privilégiée pour la réalisation de « bumps » en or (figures 18 a,b). Le principe consiste à utiliser la boule (« ball ») formée lors du câblage filaire « ball-bonding » puis à couper le fil pour ne garder que la boule. Le « bump » en or, tout comme pour le « ball-bonding », adhère sur la métallisation de la puce flip chip par thermocompression. Cette méthode est intéressante pour des prototypages rapides (30 bumps/s), les « bumps » ont une taille inférieure à celle de ceux sérigraphiés (environ 40 µm) tout comme le « pitch » (environ 50µm). L'intérêt des « stud bumps » est qu'ils permettent des connexions courtes entre la puce et le substrat. Ils autorisent également l'utilisation des puces « standards » (avec pads or) et peuvent être reportés sur n'importe quel type de substrat. La taille et surtout le diamètre (environ 50 µm) des « studs bumps » font qu'ils sont souvent utilisés pour des applications RF car leurs dimensions sont compatibles avec les performances électriques requises pour ces domaines. La réalisation de « studs bumps » double ou triple (figure 18c) permet de pouvoir « jouer » sur la distance puce / substrat et donc être au plus près des performances requises.

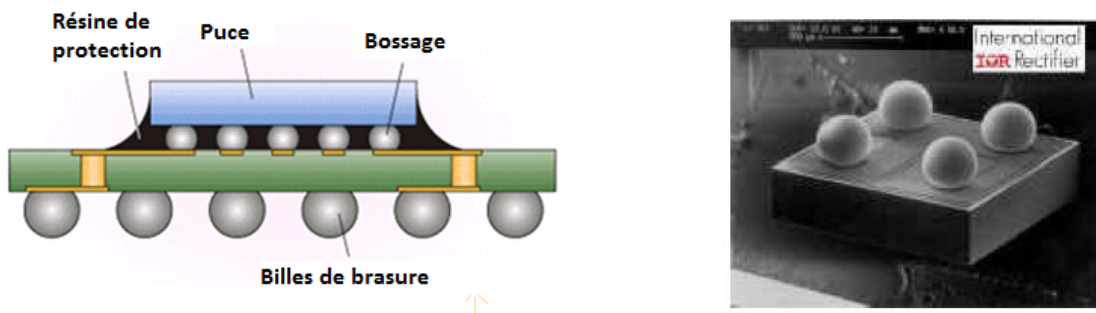


Figure 15 : Schéma et photo d'une puce « flip chip »

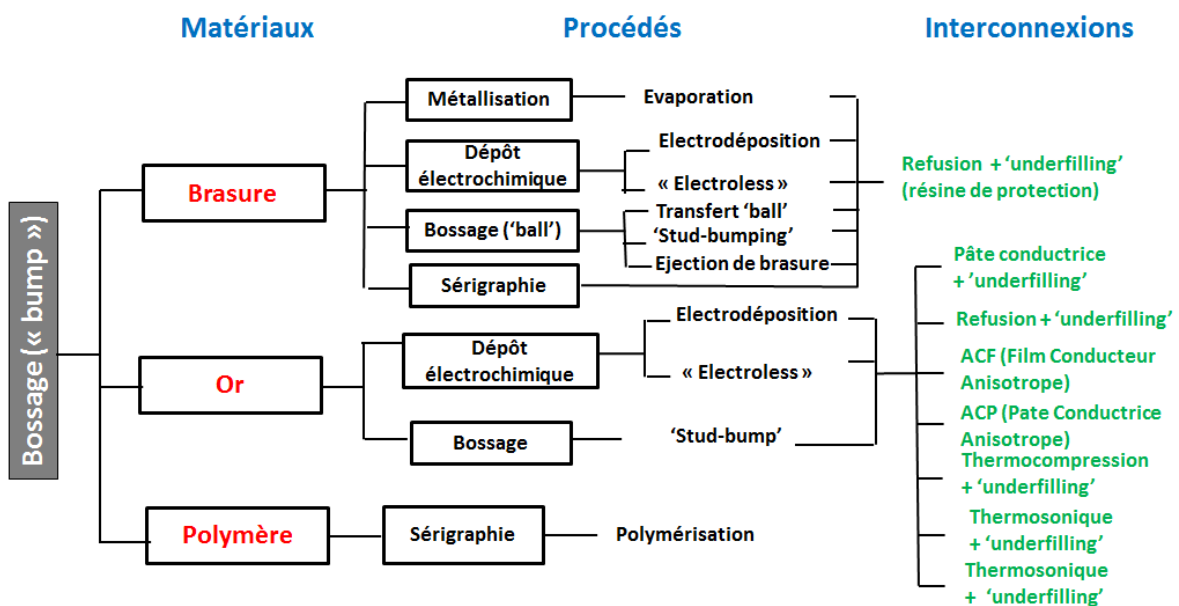


Figure 16 : Aperçu sur les différentes technologies disponibles pour la réalisation des « bumps »

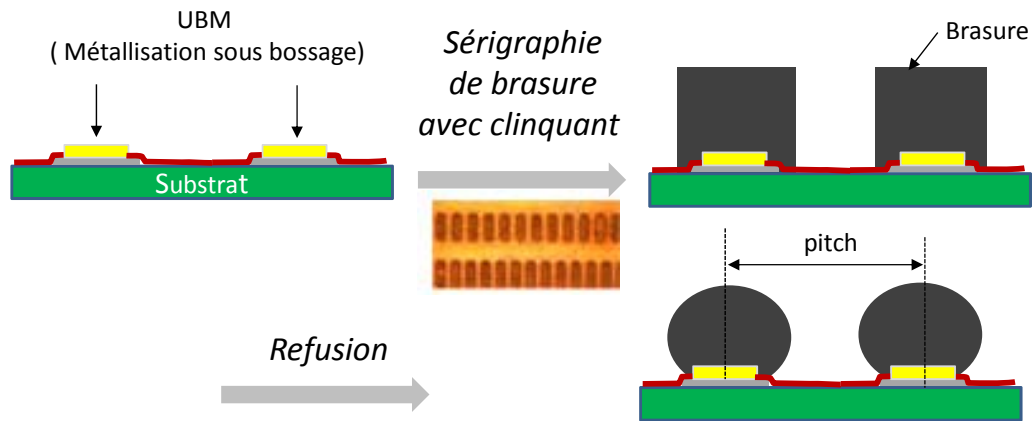


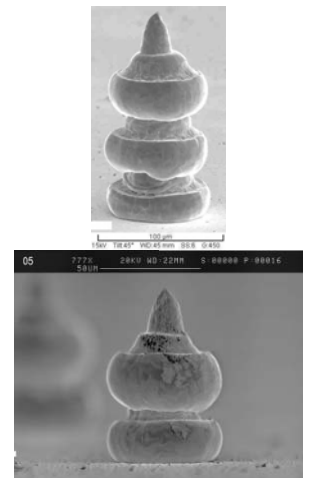
Figure 17 : Etapes de fabrication des « bumps » en brasure sérigraphiée



a)



b)



c)

Figure 18 : Photos de « bumps » en or (a) principe de fabrication de ces « bumps » par « stud-bumping » (b) et « stud bump » double ou triple [11-12]

4 CONCLUSION

Les principes d'impression par sérigraphie, jet d'encre et flexographie ont été présentés, ainsi que quelques exemples de réalisations. Ces évolutions vers l'électronique imprimée pour des composants ou systèmes ou pour l'assemblage sont illustrées chaque année auprès d'une soixantaine d'étudiants issus des filières électronique du niveau licence 3 au niveau master, de l'Institut National Polytechnique de Bordeaux, ou de l'école doctorale Sciences pour l'ingénieur de Bordeaux (doctorants de l'IMS).

5 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CNFM, l'Université de Bordeaux et la région Aquitaine ayant participé à l'achat de machines dédiées à l'assemblage telles que la sérigraphieuse, la câbleuse petits fils « ball-stitch », la machine flip-chip ou très prochainement une machine de câblage rubans et « stud-bumping » (projet région plateforme MICRASS).

6 REFERENCES

- [1] Tracy Lunt, "The Future of Printing Electronics with Flexography, DuPont
- [2] <http://www.ceradrop.fr/>
- [3] <http://www.pstsensors.com/>
- [4] A. Russo, BY Ahn, JJ Adams, EB. Duoss, JT Bernhard, JA Lewis, "Pen on paper flexible electronics", *Adv. Mater.*, (2011), 23, 3426-3430.
- [5] Le Hue P, *Progress and Trends in Inkjet Printing Technology, Journal of Imaging Science and Technology*, 42, 49-62, 1998.
- [6] Quentin Leguilier, *Projet Master 1 EEA, Janvier 2014*
- [7] T. Forestier, A. Kaiba, S. Pechev, D. Denux, P. Guionneau, C. Etrillard, N. Daro, E. Freysz et J. F. Letard Nanoparticles of $[\text{Fe}(\text{NH}_2\text{-trz})_3]\text{Br}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ($\text{NH}_2\text{-trz}$ =2-Amino-1,2,4-triazole) Prepared by the Reverse Micelle Technique: Influence of Particle and Coherent Domain Sizes on Spin-Crossover Properties, *Chem. Eur. J.* 15 (2009) 6122-6130
- [8] E. Llobet et al, Humidity Sensing Properties of Screen-Printed Carbon-Black and Fe(II) Spin Crossover Compound Hybrid Films, *Euroensors 28^{ième}*, Brescia, Italie, 7-10 Sept. 2014.
- [9] Richard Estes, « Flip Chip Using Polymer Flip Chip Processes », tutorial sur www.flipchip.com
- [10] http://www.chipscalereview.com/issues/ES/issues/0501/tutorial_01.html
- [11] HMT Microelectronic AG, www.hmt.ch
- [12] C. Drevon, O. Vendier, A. Renel « RF MEMS and flip chip for space flight demonstrator », Thalès Alenia Space

7 BIBLIOGRAPHIES

Hélène DEBEDA- Maître de Conférences à l'Université de Bordeaux, UF Sciences de l'Ingénieur, je développe des activités de recherche centrées sur des techniques de microstructuration alternatives au silicium pour la conception, réalisation et caractérisation de MEMS. Responsable depuis 2012 de la plateforme TAMIS, je m'implique dans l'enseignement sur les microsystèmes, les capteurs et les techniques de microassemblage. Par ailleurs, je suis en charge des stages de microassemblage.

Ludivine FADEL – Maître de Conférences à l'IUT de l'Université de Bordeaux, Département Mesures Physiques. Depuis 2012, je développe la thématique de récupération et de stockage d'énergie par voie radiofréquences pour des applications de réseaux de capteurs sans fil. Je suis également impliquée dans l'étude de nouveaux matériaux associés aux technologies d'impression (sérigraphie, jet d'encre).

Isabelle FAVRE – Ingénieur d'Etudes au Laboratoire IMS travaillant sur la plateforme TAMIS (Technologies Alternatives aux Microsystèmes Silicium) depuis 2011. Je m'occupe essentiellement de la partie assemblage de la plateforme et anime des TP micro-assemblage pour l'IUT GEII de l'Université de Bordeaux et l'INP de Bordeaux - Enseirb-Matmecca.

Jean-Luc LACHAUD - Ingénieur en électronique au CNRS affecté au laboratoire IMS de l'Université de Bordeaux. Conception de montages expérimentaux et développement de matériels originaux électroniques pour la mesure de grandeurs physico-chimiques, en collaboration avec les équipes de recherche du groupe microsystème

Jean TOMAS - Maître de Conférences à l'Université de Bordeaux, UF Sciences de l'Ingénieur. Directeur du Pôle Bordelais du CNFM (Coordination Nationale de la Formation en Microélectronique et en nanotechnologies).