

L'avenir de l'imprimé

Panorama, perspectives
et priorités stratégiques
pour la filière de l'imprimé



Étude réalisée sous la direction de
Philippe Queinec, secrétaire général

Les enjeux de l'électronique imprimée*

* Cette section est une reproduction intégrale d'un article rédigée par Jocelyne Rouis et E. Rousset de l'École française de papeterie de Grenoble (EFPG) qui nous ont aimablement autorisé à publier l'article dans cette étude.

! *Un enjeu majeur et de nombreuses questions : l'électronique imprimée est-elle en passe de devenir une nouvelle source d'activité pour les imprimeurs ?*

Il y a plus de cinq cents ans le développement des presses d'imprimerie par Gutenberg a été le vecteur d'une révolution qui a profondément modifié les modes de reproduction des écrits en permettant une large diffusion des documents, facilitant l'accès au savoir et à la littérature au plus grand nombre. L'industrialisation de l'impression implique, depuis cette révolution, la répétition d'une image unitaire en de très nombreux exemplaires à une vitesse toujours plus importante d'un processus basé sur le dépôt d'une mince couche d'encre. Cette reproduction en très grand nombre d'un même modèle pourrait, en utilisant des matériaux appropriés, être adaptée à la production de composants électroniques.

Un enjeu majeur et de nombreuses questions : l'électronique imprimée est-elle en passe de devenir une nouvelle source d'activité pour les imprimeurs ?

Le marché de l'électronique imprimée est, en effet, promis à un avenir très brillant. Selon un cabinet de consultants IDTechEx, il pourrait atteindre quelque 300 milliards de dollars par an en 2025, soit le double du marché actuel de l'industrie du silicium. Un marché colossal ayant la particularité de ne pas se positionner à la place du marché actuel des puces en silicium mais de s'ouvrir vers de nouveaux secteurs d'activités.

Les applications de l'imprimé électronique

Les OLEDs (diodes électroluminescentes organiques)

Le premier domaine d'application concerne les écrans sur support rigide ou flexible à base d'OLEDs. Les OLED sont des diodes électroluminescentes dont le matériau émetteur est un matériau organique. Lorsque ce matériau est traversé par un courant, il devient source de lumière. Une cellule OLED est constituée de différentes couches organiques fines prises en sandwich entre une anode transparente et une cathode métallique.

La partie organique et la cathode peuvent être imprimées en utilisant la sérigraphie et l'héliogravure. Les recherches actuelles dans ce domaine visent le dépôt de ces OLED par jet d'encre sur des supports flexibles.

Cette technologie pourrait être, par exemple, utilisée pour des revêtements muraux pour lesquels la couleur et la luminosité seraient ajustables. Par

ailleurs, si les couches imprimées sur ces supports ont des caractéristiques photovoltaïques, le revêtement peut alors stocker l'énergie solaire et émettre de la lumière.

Les membranes « Switch » (ou commutateur à membrane)

Le second domaine d'application de l'électronique imprimée repose sur les membranes « Switch ». Ces membranes permettent de faire une connexion momentanée par contact.

De l'encre conductrice est déposée sur un support flexible de type polyester ou polycarbonate. Un dôme se forme et constitue l'élément actif d'un bouton. Sous l'effet d'une pression, le dôme se déforme et ferme le circuit.

Grâce aux encres conductrices, la miniaturisation des applications devient possible. Cette technologie est utilisée dans les téléphones portables, les appareils photos, les tableaux de commande, les jouets, etc.

Les étiquettes RFID (radio frequency identification)

Un secteur prometteur pour les imprimeurs est celui des étiquettes RFID (identification par radio fréquence) ou marquage électronique. D'après de récentes études réalisées aux USA, le marché des étiquettes et autres identifiants électroniques devrait exploser d'ici à la fin de la décennie. Limité à 8 ou 10% jusqu'au début des années 2000, il progresse actuellement de 20 à 30% par an. Ce rythme devrait rester aussi soutenu jusqu'en 2008 pour atteindre 4,2 milliards de dollars (selon une étude du Yankee Group). L'avenir de la logistique et de la distribution s'inscrit dans cette démarche. Les géants de la distribution comme Wall-Mart, Metro et Tesco sont, d'ores et déjà, en train de déployer cette technologie.

Toutefois, cette évolution est conditionnée par la baisse significative du prix de ces étiquettes. Actuellement, une étiquette RFID coûte en moyenne 10 centimes d'euros. Un prix viable pour l'identification des palettes mais beaucoup trop élevé pour un emballage individuel. Pour être rentable et généralisé sur tous les produits, le prix de cette étiquette ne doit pas dépasser 4 centimes d'euros. Le développement de l'électronique imprimée est une alternative intéressante pour atteindre cette réduction des coûts.

Au-delà du secteur de la logistique, d'autres applications sont déjà à l'étude pour cette technologie de marquage (télé-badger pour les autoroutes, carte de fidélité équipée de RFID pour l'envoi de publicité, marquage anti-contrefaçon, marquage des documents pour répertoire et suivre les dossiers ou les ouvra-

ges en renforçant la sécurité et en facilitant les inventaires, identification des animaux...).

La technologie RFID

Ces étiquettes, également appelées étiquettes intelligentes, étiquettes à puces, tag, transpondeur, sont des équipements destinés à recevoir un signal radio et à renvoyer en réponse un signal radio différent, contenant une information.

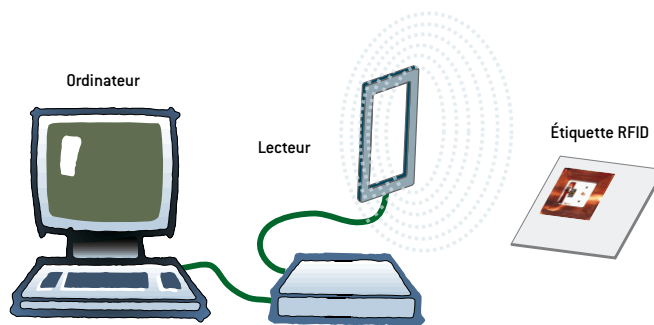
Principe de fonctionnement

Les étiquettes RFID et le codage à barres sont tout à fait similaires. Les deux technologies sont conçues pour fournir une identification rapide d'un produit. Cependant, une différence majeure les sépare : le codage à barres se lit avec un laser optique, alors que l'ensemble de l'étiquette RFID est activé par un signal radio à fréquence variable émis par un lecteur.

En effet, une étiquette RFID se compose principalement d'une puce électronique et d'une antenne bobinée ou imprimée. La taille de la puce peut désormais être réduite à celle d'un point.

Le lecteur peut être fixe ou mobile, et son antenne peut prendre plusieurs formes. Le lecteur ou interrogateur transmet un signal selon une fréquence donnée vers une ou plusieurs étiquettes radio situées dans son champ de lecture.

Lecture d'une étiquette RFID



Celles-ci transmettent un signal en retour. Lorsque les étiquettes sont « éveillées » par le lecteur, un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini, et les données sont échangées.

Des étiquettes passives et des étiquettes actives

Les **étiquettes passives** fonctionnent en lecture seule. Dans ce cas, l'antenne capte certaines fréquences qui lui fournissent suffisamment d'énergie pour lui permettre d'émettre à son tour son code d'identification unique.

Les étiquettes passives sont bon marché et peuvent avoir une durée de vie quasi illimitée. Elles constituent aujourd'hui une part importante du marché, et leur développement dans le futur semble important pour les applications logistiques en circuit ouvert.

Les **étiquettes actives** sont alimentées par une pile interne extra-plate, et permettent autant la lecture que l'écriture de données, avec une mémoire allant jusqu'à 10 Kbits. Ces étiquettes actives ne dépassent pas dix ans d'âge. Elles sont fournies vierges et pourront être écrites plusieurs fois, effacées, modifiées et lues. Le nombre de répétition de ces opérations peut aller jusqu'à 1 million.

Quels procédés pour l'électronique imprimée ?

Les enjeux, autour de l'impression des antennes de ces étiquettes RFID, permettent d'envisager une réduction suffisante de leur coût. Des encres conductrices sont utilisées pour l'impression, elles permettent d'assurer une connexion entre la puce et l'antenne. En effet, soit elles contiennent des particules métalliques (comme de l'argent) ou du graphite enrobé d'une résine de polymère, soit elles sont formulées à partir de polymères conducteurs comme le polythiophène (PEDOT-PSS), la polyaniline (PANI) ou le polypyrrole (PP). La conductivité de ces polymères trouve son origine dans la délocalisation des électrons le long des chaînes.

Les propriétés de surface du support à imprimer, notamment sa rugosité et son énergie de surface, représentent des caractéristiques primordiales pour le dépôt du film de polymère. Pour de nombreuses applications, le matériau papier offre des avantages intéressants en termes de recyclage et de coût.

La réalisation de ces dépôts peut être envisagée au travers de différents procédés d'impression permettant de déposer une épaisseur d'encre conductrice suffisante. Chacun d'entre eux présente des caractéristiques spécifiques avec des avantages et des inconvénients selon les besoins des composants électroniques à réaliser : épaisseur du film d'encre, résolution, pression, vitesse de production... Les procédés d'impression, outre l'intérêt important de leur vitesse de production, permettent d'envisager l'utilisation de supports très divers, l'important étant de maîtriser l'interaction entre l'encre conductrice et le support.

La sérigraphie

Ce procédé a longtemps été utilisé pour produire des circuits et reste particulièrement intéressant pour l'impression électronique. En effet, il permet de déposer un film d'encre d'une épaisseur de l'ordre de 20 à 100 μm et d'obtenir de bons résultats de conductivité. L'encre requise pour ce procédé doit être visqueuse (0,1 à 10 Pa.s). Par ailleurs, ce procédé autorise l'utilisation d'une grande variété de supports et garantit une excellente répétitivité.

Cependant ce procédé présente également de réelles limitations :

- ▶ La sérigraphie est un procédé lent (<800 feuilles par heure) qui n'est rentable que pour de faibles quantités à produire.
- ▶ La résolution de ce procédé reste faible, 50 lignes par centimètre, ce qui limite la miniaturisation des composants.
- ▶ L'écart minimal entre deux lignes fines imprimées en sérigraphie est de l'ordre de 100 μm .

L'offset

L'offset est un procédé bien maîtrisé qui permet d'imprimer sur une multitude de supports (papier, carton, métal, plastiques). Vis-à-vis de l'impression de composants électroniques, le procédé offset possède plusieurs points forts :

- ▶ La résolution obtenue en offset est excellente, jusqu'à 200 lignes par centimètre.
- ▶ Le procédé offset permet d'imprimer des lignes de l'ordre de 100 μm d'épaisseur avec des espacements de l'ordre de 50 μm .
- ▶ En terme de productivité, l'offset offre une vitesse de production intéressante vis-à-vis de la réduction des coûts.
- ▶ L'impression recto-verso permet la réalisation de circuits sur les deux faces d'un support.
- ▶ Afin d'éviter la présence de solution de mouillage qui peut affecter le matériau conducteur et modifier la conductivité du film d'encre, le procédé offset Waterless est utilisé.

Toutefois, l'offset présente également certains inconvénients :

- ▶ Une limitation se trouve dans la faible épaisseur du film d'encre imprimé, l'épaisseur étant de l'ordre de 2 à 3 μm . Pour compenser la faible conductivité due à l'épaisseur, il est possible d'envisager appliquer plusieurs couches.
- ▶ Par ailleurs, le procédé offset nécessite une encre conductrice dont la viscosité est comprise entre 5 et 50 Pa.s, ce qui est difficile à obtenir avec des polymères conducteurs. C'est pourquoi le procédé offset est principalement utilisé avec des encres conductrices métalliques.

Le jet d'encre

Le jet d'encre est un procédé d'impression à écriture directe : on dépose directement et uniquement la quantité d'encre nécessaire, sous le contrôle d'un

ordinateur. Le procédé d'impression jet d'encre est principalement utilisé pour l'impression d'encre à base de polymères, car le risque de bouchage des buses est moindre. En effet, avec des encres métalliques, la taille des particules de métal peut atteindre le micron et provoquer des problèmes.

Les recherches sur l'impression de composants électroniques par jet d'encre s'orientent principalement sur le procédé de la goutte à la demande (DOD). Ce procédé possède l'avantage de produire de très petites gouttes (<10 pl) ce qui permet d'envisager des applications dans le domaine des nanotechnologies. Les développements récents se focalisent donc sur la fabrication de têtes jet d'encre permettant de produire des gouttes de tailles variables à des vitesses supérieures.

Pour l'impression de composants électroniques, le jet d'encre peut poser des difficultés à cause du positionnement de la goutte qui n'est pas toujours parfait et occasionne des décalages. Les tolérances des têtes jet d'encre sont actuellement de plus ou moins 10 µm pour la position de la goutte et de plus ou moins 5% pour le volume de la goutte.

L'héliogravure

Il y a eu très peu d'investigation, jusqu'ici, pour essayer d'associer l'héliogravure à l'impression électronique. L'héliogravure est pourtant un procédé bien adapté pour les longs tirages (plus de 500 000 exemplaires). Ce procédé permet de déposer un film d'encre relativement épais jusqu'à 8 à 10 µm, ce qui est très intéressant pour les applications dans le domaine des composants électroniques.

La principale limitation provient du principe même du procédé. En effet, en héliogravure, l'image est construite à partir de cellules de profondeurs variables gravées sur le cylindre d'impression. Il n'est donc pas évident d'imprimer une ligne droite sans observer des créneaux sur les bords, même si la gravure au laser a considérablement réduit ce phénomène.

La flexographie

La flexographie est un procédé qui présente un intérêt pour l'impression électronique. En effet, elle permet d'obtenir une linéature de 60 lignes par centimètre avec un cliché fin et de dureté élevée. De plus, l'épaisseur du film d'encre déposé peut atteindre de 6 à 8 µm, ce qui est intéressant pour la réalisation des composants électroniques.

L'inconvénient de ce procédé réside dans le profil du film d'encre déposé créant un halo sur les bords conduisant à une irrégularité d'épaisseur. Si les pressions et le défilement du support ne sont pas parfaitement contrôlés, des problèmes de repérage perturbent l'impression.

Tableau comparatif des procédés d'impression

	Flexographie	Héliogravure	Offset	Séigraphie	Jet d'encre
Résolution latérale (μm)	> 40	> 15	> 15	> 100	> 40
Épaisseur couche moyenne (μm)	2-8	1-8	1-3	3-50	1-2
Viscosité de l'encre (Pa.s)	0,01 - 0,1	0,005 - 0,1	3 - 30	1-10	0,001 - 0,04

Conclusion

L'impression des composants électroniques représente une opportunité pour les industries graphiques, pour conquérir de nouveaux marchés ayant une forte valeur ajoutée. Cependant, il reste encore des progrès à accomplir pour garantir l'essor de cette nouvelle technologie, en particulier, l'amélioration de la rhéologie et de la conductivité des encres utilisées afin d'atteindre des performances électriques acceptables.