



Prospective
mai 2010 » Volume 3

L'électronique imprimée



INSTITUT
DES COMMUNICATIONS
GRAPHIQUES DU QUÉBEC

Introduction – Électronique imprimée

Depuis quelques années, les procédés d'impression ont fait leurs preuves dans la fabrication de systèmes électroniques, la sérigraphie ou le jet d'encre étant les procédés les plus utilisés dans ce domaine. À ce jour, l'adaptation de l'électronique aux procédés d'impression rotatifs, dits « Roll to Roll », est en plein essor et concerne principalement la flexographie et l'héliogravure. Le procédé Offset, quant à lui, n'a été que très peu étudié pour plusieurs raisons (*voir l'encadré* Le procédé offset : pourquoi est-il moins présent dans l'électronique imprimée ?)

Jusqu'à présent, seuls quelques éléments de la structure électronique étaient imprimés, comme par exemple les pistes de cuivre reliant électriquement différentes zones d'un « circuit imprimé ». Mais nous entrons désormais dans une nouvelle phase de développement où les composants électroniques eux-mêmes tels que les transistors ou les résistances peuvent être imprimés à l'aide d'encre conductrices, de matériaux conducteurs, semi-conducteurs ou bien encore électroluminescents (ces derniers émettant de la lumière lorsqu'on leur applique une tension électrique).

Les développements en sont encore à leurs débuts mais nous pouvons d'ores et déjà évaluer le grand potentiel d'applications de l'électronique imprimée à court terme.

L'électronique conventionnelle est basée sur la fabrication de circuits intégrés (appelés aussi puces électroniques), un long et coûteux procédé (notamment à cause de l'usinage du silicium), qui

requiert une production de grande envergure afin de le rentabiliser. À l'inverse, les procédés d'impression ont l'avantage de présenter des temps de fabrication plus courts pour des coûts relativement peu élevés, ce qui les rend adaptés à une production de masse.

Adapter les procédés d'impression conventionnels pour imprimer de l'électronique permet donc de produire à moindre coût et en grande quantité des composants électroniques.

D'autres facteurs ont favorisé le développement de méthodes de production alternatives. Les circuits intégrés fabriqués de manière conventionnelle sont en effet trop rigides et fragiles pour certaines applications. En revanche, les technologies de l'électronique imprimée s'adaptent à une grande variété de matériaux fonctionnels et de supports flexibles, tels que le papier, le textile ou le plastique tel que le PET (polyéthylène téréphtalate, pouvant être soit transparent soit translucide), ce qui élargit considérablement la gamme d'applications.

Les autres points forts des technologies de l'électronique imprimée incluent :

- Un faible investissement financier par rapport aux procédés conventionnels de fabrication des composants électroniques
- La possibilité d'imprimer sur de larges surfaces
- La possibilité de personnaliser l'imprimé
- L'utilisation de supports transparents
- Une production plus respectueuse de l'environnement : cette facette, ajoutée à celle du faible coût de production ouvre la voie aux produits à usage unique tel que les emballages intelligents, etc.

Le procédé Offset : pourquoi est-il moins présent dans l'électronique imprimée ?

Tout d'abord, l'épaisseur de la couche imprimée de l'Offset est très faible (quelques microns) ce qui ne permet pas d'atteindre des valeurs de conductivité suffisantes pour certaines applications (antenne RFID par exemple) et oblige à imprimer en multicouches.

De plus, la présence d'eau de mouillage peut affecter le matériau conducteur et modifier la conductivité finale du film d'encre. Cet équilibre entre l'encre et la solution de mouillage est difficile à optimiser. C'est la raison pour laquelle des chercheurs se tournent aujourd'hui vers le

procédé Offset *Waterless* qui élimine cette contrainte. En outre, le procédé offset utilise des encres aux caractéristiques rhéologiques et physico-chimiques très exigeantes, ce qui rend difficile la formulation des encres organiques. La base de l'encre étant déjà très visqueuse (résine polymère), il est difficile d'y ajouter par exemple des particules conductrices en quantité suffisante tout en restant dans la gamme de viscosité requise.

L'ensemble de ces contraintes montrent que l'Offset est moins facilement adaptable à l'électronique imprimée.

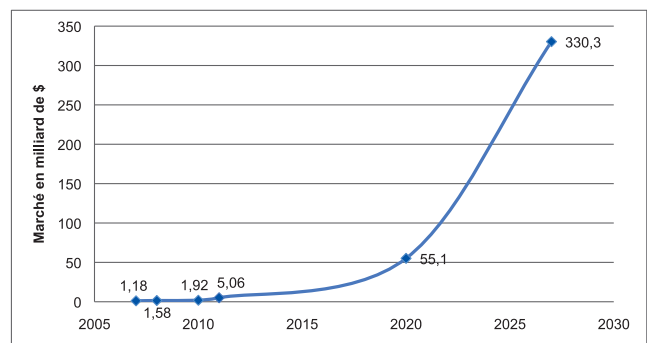
Tendances du marché des matériaux électroniques organiques et inorganiques, imprimés ou potentiellement imprimables

Selon les données d'IDTechEx, le marché de l'électronique imprimée et des couches minces électroniques (potentiellement imprimables) va connaître un accroissement exponentiel dans les 20 prochaines années.

Les matériaux électroniques imprimables ou potentiellement imprimables : Exemple des cellules photovoltaïques

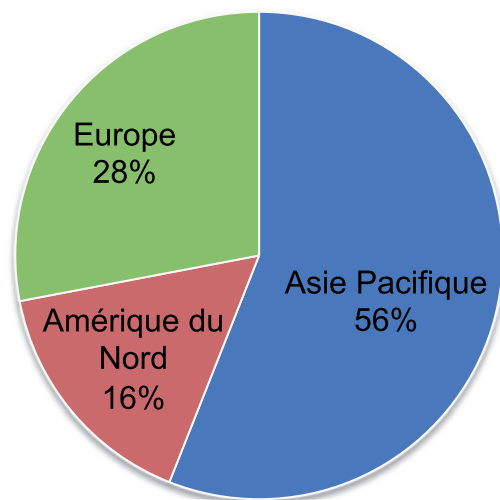
- Les matériaux inorganiques (ou minéraux) : Silicium, Cuivre Indium Gallium Sélénium, tellure de cadmium.
- Les matériaux organiques (qui possèdent au moins une liaison C-H) : Toujours avoir une combinaison de matériaux donneurs et accepteurs d'électrons.
 - le PEDOT:PSS, formé de poly(3,4-éthylènedioxythiophène) (PEDOT) comme donneur d'électrons (type p) mélangé au poly(styrène sulfonate) (PSS) accepteur d'électron et assurant sa solubilité.
 - Dérivés de polythiophènes (donneur) et dérivés de fullerène (accepteur).
 - Etc.

IDTechEx estime qu'en 2010, 43 % du marché sera consacré aux matériaux électroniques organiques (principalement les écrans OLED : *Organic Light Emitting Diode*), imprimés et non imprimés. Sur le marché total des matériaux électroniques organiques et inorganiques, la part des produits imprimés sera de 35 %. Le marché des cellules photovoltaïques, des OLED et du papier électronique va s'accroître rapidement, suivi par les circuits imprimés couches minces, les capteurs et les batteries. En 2020, le marché aura atteint 55,1 milliards de dollars, dont 71 % de produits imprimés et 60 % de ces produits imprimés sur un support flexible.



Perspective d'évolution du marché de l'électronique imprimée pour les 20 prochaines années

Source : www.idtechex.com, *Printed, Organic & Flexible Electronics Forecasts, Players & Opportunities 2010-2020*



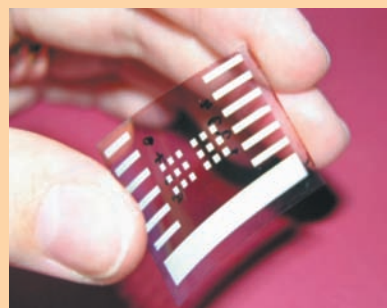
Distribution actuelle du marché dans le monde : trois zones géographiques se partagent le marché

Source : www.idtechex.com, *Printed, Organic & Flexible Electronics Forecasts, Players & Opportunities 2010-2020*

Applications

Même si les technologies de l'électronique imprimée sont relativement récentes, il existe déjà dans le commerce quelques applications disponibles, telles que :

- Les étiquettes RFID : *Radio Frequency Identification* (pour identifier des produits)
- Les transistors
- Les OLED : Diode électroluminescente organique pour les écrans, l'affichage, l'éclairage
- Les batteries
- Les cellules photovoltaïques
- Les capteurs
- Et bien d'autres encore



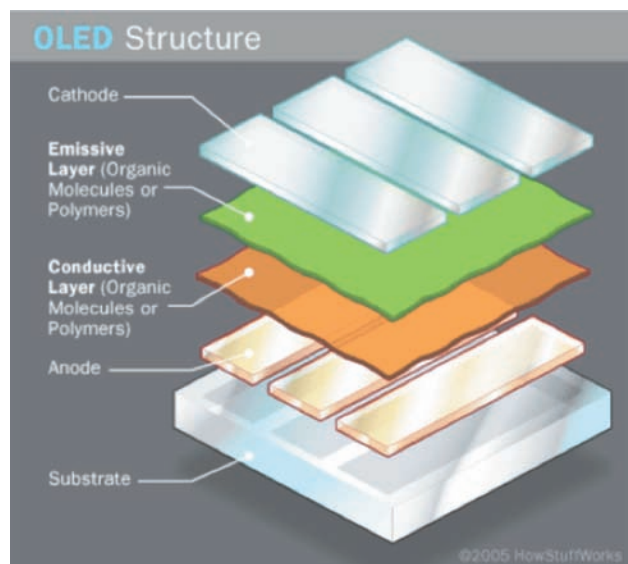
**Cellule photovoltaïque :
Procédé *Roll to Roll* sur PET**

Source : www.vtt.fi

Gros plan sur : les OLED (*Organic Light Emitting Diode*)

Les recherches concernant la production de lumière à partir de matière organique ont commencé dans les années 1950. Le premier brevet fut déposé en 1987 par la compagnie Kodak et l'utilisation commerciale date de 1997. Les diodes électroluminescentes organiques (OLED) sont aujourd'hui le sujet de nombreuses recherches dans des secteurs très divers. En effet, cette technologie d'affichage lumineux a pour vocation de remplacer, à terme, les technologies à cristaux liquide (LCD- Liquid Crystal Display) ou à plasma aujourd'hui utilisées dans les écrans.

L'un des principaux avantages des OLED réside dans la possibilité d'utiliser des procédés d'impression traditionnels en vue d'une fabrication à grande échelle, ce qui permet une productivité importante à des coûts relativement faible mais impose des contraintes liées aux procédés d'impression eux-mêmes. De plus, la possibilité d'utiliser les OLED sur des supports flexibles ouvre des perspectives d'avenir très variées. Ces composés offrent également un meilleur rendu des couleurs et de contraste de l'image par rapport aux écrans LCD. Cependant, leur durée de vie encore faible est un frein à leur développement ce qui explique que les autres technologies soient à ce jour, majoritaires sur le marché.



Structure d'une OLED

Source : HowStuffWorks - electronics.howstuffworks.com/oled1.htm

Principe de fonctionnement

Les diodes électroluminescentes sont constituées de composants organiques déposés sur un substrat polymère, marquant une rupture avec la fabrication des écrans nécessitant jusqu'à présent l'utilisation du verre. Leur fonctionnement repose sur les propriétés physiques particulières de certains composants, qui s'éclairent lorsqu'on les soumet à un cou-

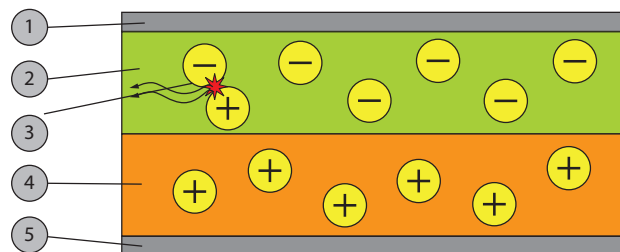


Schéma d'une OLED :

1. Cathode (-), 2. Couche émettrice,
3. Émission de lumière, 4. Couche conductrice, 5. Anode (+)

Source : Wikipedia - en.wikipedia.org/wiki/Organic_light_emitting_diode

rant électrique. Ceci crée une différence de taille avec les écrans rétro-éclairés (LCD notamment), qui nécessitent des lampes coûteuses et consommatrices d'énergie. Avec les OLED, c'est l'écran lui-même - ou plus exactement les molécules qui le composent – qui « créent » directement la lumière.

Lorsqu'on applique une différence de potentiel entre les deux électrodes, l'anode et la cathode émettent respectivement des trous de charge positive (ou lacune) et des électrons (de charge négative) qui vont migrer dans la couche conductrice organique et se recombiner entre eux. Lors de cette recombinaison, le surplus d'énergie apporté par les électrons se libère, créant ainsi l'émission de photon et donc de lumière.

En réalité, la couche conductrice organique est elle-même constituée de plusieurs sous-couches organiques qui ont pour rôle de faciliter le transport des lacunes ou des électrons vers la couche émettrice de lumière.

**Deux types d'écrans :
Matrice passive et Matrice active**

• **Les OLED à matrice passive (PM OLED)**

Des pixels d'OLED sont accolés et connectés à des « lignes » d'électrodes (cathodes et anodes). Lorsqu'un voltage est appliqué sur une ligne de cathode et une ligne d'anode, le pixel OLED au croisement des 2 lignes s'allume.

Applications :

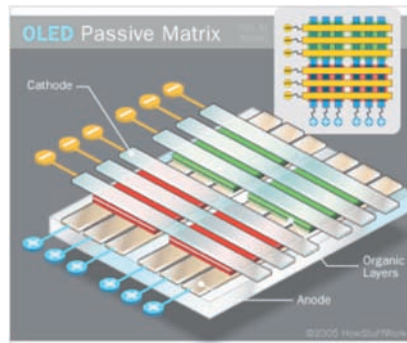
systèmes élémentaires = écrans de très petites dimensions, étiquettes intelligentes

• **Les OLED à matrice active (AM OLED)**

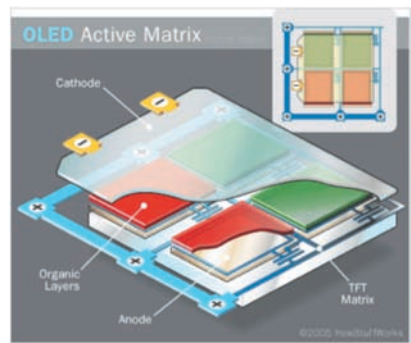
Un support électronique est directement intégré au substrat. Chaque pixel d'OLED peut être contrôlé individuellement via un réseau de transistors TFT (Thin Film Transistor) inclus au support électronique. Cela permet d'améliorer la résolution des écrans et de réduire considérablement leur consommation énergétique.

Applications :

Systèmes complexes = écran vidéo de grandes dimensions



OLED Passive Matrice



OLED Active Matrice

Source : HowStuffWorks – electronics.howstuffworks.com/oled1.htm

Mode de fabrication des OLED

La plus grande difficulté lors de la fabrication à grande échelle des OLED réside dans la l'étape de dépôt de la phase organique (couche émettrice et conductrice). Il existe 2 types d'OLED utilisant respectivement 2 techniques de dépôt différentes (traditionnelle et imprimée) :

	Dépôt	Avantages	Inconvénients
<p>LES OLED À BASE DE PETITES MOLÉCULES (SM-OLED)</p> <p>Emissive materials are small molecules</p> <p>Vacuum deposition</p>	<p>Dépôt physique phase vapeur</p>	<p>Pas de solvant, couches très minces, multicouches</p>	<p>Vitesse de dépôt limitée</p>
<p>LES OLED À POLYMÈRES (P-OLED) à base de solutions organiques</p> <p>Emissive materials are long chain molecules</p> <p>Solution processing</p>	<p>Procédé d'impression (aujourd'hui : principalement jet d'encre)</p>	<p>Possibilité de traiter des grandes surfaces, vitesse importante</p>	<p>Contraintes liées au procédé d'impression, solvants toxiques, plus difficile de maîtriser le dépôt</p>

Source images : Cambridge Display Technology – www.cdfitd.co.uk/documents/cdt_oled_short_course_sid08.pdf

Le marché des OLED

• **Les produits que l'on trouve déjà sur le marché**

- Écran appareil photo numérique (ex : Kodak)
- Téléphone mobile (ex : Philips)
- Montre bracelets (ex : Pioneer)
- Autoradio (ex : Pioneer)
- PDA (Personal Digital Assistant = ordinateur de poche) (ex : Sony)

Pour tous les appareils mobiles et de petites tailles, l'OLED semble s'imposer comme une évidence, d'autant que la technologie est parfaitement au point pour des écrans de quelques pouces.

• **Les produits qui se développent aujourd'hui**

Si la majorité des écrans OLED commercialisés aujourd'hui sont de petite taille et parfois monochromes, la technologie OLED cherche à percer au sein du marché des écrans larges, tels que les téléviseurs, les ordinateurs, voire même les panneaux d'affichage publicitaires. Le modèle XEL-1 de Sony récemment sorti, un écran OLED de 11 pouces en est un bon



Sony XEL-1
Source : www.sony.fr

exemple et montre que la technologie OLED est prête à s'attaquer au grand marché des téléviseurs.

• **Et pourquoi pas...**

- Un écran « dépliable »
- Un journal électronique enroulable
- Un cinéma maison à moins de 100\$, etc.

En devenant souples, les écrans vont aussi se généraliser – voire se banaliser – et probablement s'imposer en de nombreux endroits, par exemple sur des vêtements ou des emballages de certains produits de grande consommation.

Les perspectives d'évolution des OLED

Les principaux facteurs d'évolution du marché des OLED et les problématiques associées sont :

• **L'accroissement de la productivité et la diminution des coûts**

L'utilisation des procédés d'impression permettrait une plus grande production par rapport aux procédés de fabrication conventionnels. Néanmoins, de nombreuses contraintes liées aux procédés et aux matériaux limitent encore le développement à grande échelle de ces produits.

• **Augmentation de la durée de vie des produits**

Les polymères sont sensibles aux actions de la lumière, de l'humidité ou à des réactions chimiques ce qui peut altérer leurs propriétés. De plus, l'intensité lumineuse du système peut être réduite à cause de la poussière ou de courts-circuits présents à l'intérieur du matériau. Ce facteur reste un point critique sur pouvant potentiellement freiner l'évolution de ce produit.

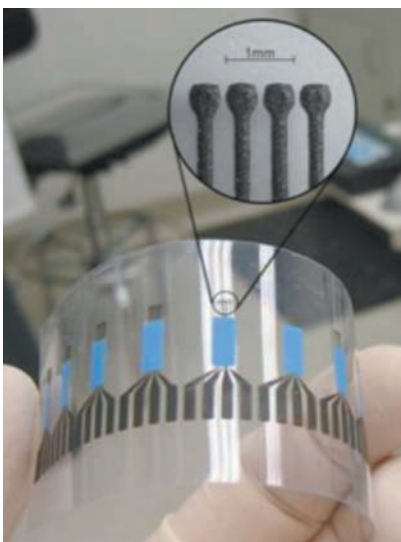
Matrice SWOT de la technologie des OLED

<p style="text-align: center;">FORCES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Finesse & faible encombrement • Qualité de l'image (angle de vision, rendu des couleurs, contraste, temps de réponse) • Fabrication sur support souples : nouvel éventail de hautes technologies. • Faible consommation d'énergie 	<p style="text-align: center;">OPPORTUNITÉS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des procédés d'impression <i>Roll to Roll</i> • Prendre de nombreuses parts de marché dans des domaines variés tels que le marché des téléviseurs, les panneaux d'affichages, emballage, etc.
<p style="text-align: center;">FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prix de fabrication encore élevé • Techniques de fabrication des OLED à améliorer • Sensible à l'humidité • Durée de vie encore trop faible 	<p style="text-align: center;">CONCURRENCE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technologies plasma et LCD au niveau des grands écrans • E-ink (encre électronique) pour les imprimés intelligents

Quelles sont les principales problématiques de l'électronique imprimée ?

Il faut tout d'abord réussir à optimiser la formulation des matériaux conducteurs pour obtenir la performance désirée sans pour autant affecter leur imprimabilité. Par exemple, des nanoparticules conductrices en suspension dans une encre donneront de meilleures performances si l'on augmente leur concentration, mais cela implique aussi que l'encre deviendra plus visqueuse et sera moins adaptée aux procédés d'impression traditionnels, notamment la flexographie, la rotogravure et le jet d'encre qui utilisent des encres liquides.

Les contraintes sont similaires lors de l'utilisation de matériaux organiques: leur performance et leur durée de vie dépendent fortement de la formulation de l'encre. L'ajout d'additifs ou d'autres composants, permettant d'améliorer leur imprimabilité, peut également altérer significativement leur fonctionnalité.



**Capteur imprimé flexible,
Procédé sérigraphie sur PET**

Source : ne.ucsd.edu

Un autre enjeu majeur de l'électronique imprimée est d'arriver à atteindre des résultats fiables et de qualité avec des procédés à grandes vitesses dans des conditions atmosphériques faiblement contrôlées (à l'inverse des conditions de salle blanche où la concentration particulaire est maîtrisée et les conditions de température, humidité et pression maintenues à des niveaux spécifiques). Les conditions normales d'une salle de presse peuvent nuire aux produits fonctionnels dans le cadre d'une impression électronique, à cause de la poussière et des particules de papier en suspension notamment. Adapter le procédé dans des conditions plus strictes n'est probablement pas une solution viable car cela impliquerait inévitablement une augmentation des coûts de production.



Full color flexible OLED

Source : www.sony.co.jp

La recherche et le développement sur la formulation des matériaux et l'amélioration des procédés sont donc aujourd'hui des défis primordiaux afin que les acteurs de la chaîne graphique maîtrisent ces contraintes et puissent ainsi offrir une gamme de produits électroniques fiables et commercialisables.

Les procédés d'impression rotatifs dans l'électronique imprimée : Quels avantages, quelles problématiques ?

Le jet d'encre et la sérigraphie sont aujourd'hui les procédés les plus utilisés dans l'électronique imprimée. Cependant, à cause de leur faible vitesse de production, ils restent peu adaptés à la fabrication de gros volumes. C'est la raison pour laquelle l'utilisation des procédés rotatifs tend à se développer dans ce domaine.

Les avantages d'un procédé Roll to Roll

- Volume et vitesse de production élevés
- Grande variété de support
- Surface imprimable étendue
- Répétabilité du procédé de fabrication
- Peu de perte de matière

Les contraintes des procédés Roll to Roll

- Assurer une bonne dispersion des particules conductrices dans les encres
- Contrôler l'évaporation des solvants
- Maîtriser les propriétés rhéologiques des encres (viscosité, élasticité, écoulement)
- Ajuster le dépôt de l'encre à la vitesse d'impression

Alice Vermeulin

Directrice des services techniques par interim
Téléphone : 514 389-5061 poste 239
Courriel : avermeulin@icgq.qc.ca

Valériane Vigne

Chargée de projets techniques de l'imprimerie
Téléphone : 514 389-5061 poste 361
Courriel : vwigne@icgq.qc.ca

Laurette Vieille-Grosjean

Chargée de projets
Téléphone : 514 389-5061 poste 250
Courriel : lvieillegrosjean@icgq.qc.ca

Sophie Huguet

Stagiaire des services techniques, étudiante à Grenoble
INP-Pagora (option communication imprimée)
Téléphone : 514 389-5061 poste 228
Courriel : shuguet@icgq.qc.ca



**INSTITUT
DES COMMUNICATIONS
GRAPHIQUES DU QUÉBEC**

999, avenue Émile-Journault Est
Montréal (Québec) H2M 2E2

Téléphone 514 389-5061
Télécopieur 514 389-5840
Courriel information@icgq.qc.ca
Site Internet www.icgq.qc.ca