

Smart building : construction de bâtiment intelligent,
apport de l'électronique imprimée

Rapport



Marine BELLAS et Maxime QUEMIN

11 mai 2017

Table des matières

Introduction.....	2
A) Rapport technique.....	5
1. Contexte : le bâtiment intelligent	5
1.1. Définition du bâtiment intelligent.....	5
1.2. Les enjeux du bâtiment intelligent.....	6
1.3. Produits présents sur le marché.....	7
2. L'électronique imprimée	11
2.1. Définition de l'électronique imprimée.....	11
2.2. Procédés d'impression et technologies associées	11
2.3. Encres.....	14
2.4. Substrats.....	15
2.5. Applications de l'électronique imprimée	16
3. L'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent.....	21
3.1. Contraintes et problèmes techniques	21
3.2. Applications de l'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent déjà mises sur le marché	22
3.3. Application de l'électronique imprimée pouvant dans le futur être appliquée dans le bâtiment intelligent.....	27
B) Rapport économique.....	29
1. Analyse de marché du bâtiment intelligent	29
2. Analyse de marché de l'électronique imprimée	32
3. Analyse de marché de l'électronique imprimée incluse dans le bâtiment intelligent	34
3.1. Diagramme de Porter.....	34
3.2. Chaîne de valeurs.....	36
3.3. Matrice SWOT	38

4. Scénarii prospectifs	40
Conclusion.....	43
Bibliographie et webographie.....	44
Annexes	47

Introduction

Selon une étude du CEA en 2011, l'augmentation de la consommation mondiale d'électricité devrait augmenter de 2,4% par an d'ici 2030 (1). Parmi cette énergie dépensée, les bâtiments en représenteraient 40% (2). La diminution de ce poste de consommation important passe donc par une meilleure gestion de l'énergie, dans le respect de la sécurité et du confort de la population ainsi que dans une optique de viabilité économique. Un des points d'entrée est le bâtiment intelligent (ou smart building) qui, avec le concours des technologies de l'information et de la communication, permet une gestion optimale et durable des logements et autres constructions.

En parallèle, l'électronique imprimée se développe de plus en plus grâce à une demande de plus en plus forte. La fabrication de composants électroniques via les procédés d'impression permet d'élargir les possibilités de l'électronique à de nouvelles applications, parmi lesquelles le bâtiment intelligent. En effet, grâce à sa faculté de produire en masse, l'électronique imprimée est une possibilité prometteuse dans le domaine du bâtiment qui est très vaste.

Ainsi, dans ce contexte marqué par la nécessité d'un développement durable à toutes les échelles, comment l'électronique imprimée peut-elle apporter une aide au développement du bâtiment intelligent ?

Pour répondre à cette problématique, nous allons tout d'abord définir le contexte de l'étude, i.e. le bâtiment intelligent. Nous traiterons ensuite l'électronique imprimée. Enfin, il sera fait état de l'apport de l'électronique imprimée dans le domaine du bâtiment intelligent par la présentation des contraintes attachées à cette utilisation et de la technologie existante.

A) Rapport technique

1. Contexte : le bâtiment intelligent

1.1. Définition du bâtiment intelligent

Le concept de bâtiment intelligent relie les notions de domotique et de gestion de l'énergie au niveau domestique (3). Il est issu de la technologie de smart grids (ou réseaux intelligents), i.e. la gestion des réseaux électriques à l'aide des nouvelles technologies de l'information (4), mais adapté au réseau privé. Comme un maillon des smart grids, les systèmes sont en relation avec les réseaux électriques (cf. figure 1).

Les technologies présentes au sein du bâtiment intelligent permettent le contrôle de différents paramètres en vue d'optimiser la consommation d'énergie ainsi que le confort et la sécurité de l'utilisateur.

Du point de vue énergétique, le bâtiment intelligent a deux objectifs, tous deux en lien avec une gestion efficace de l'énergie. Le premier est la diminution des dépenses énergétiques engendrées par le bâtiment. Le second est le lissage de la production électrique en vue d'éviter les pics de consommation ; cela peut s'associer à de la production énergétique. Des exemples d'application sont l'isolation des bâtiments, la génération d'énergie à l'aide de panneaux photovoltaïques, le développement et renforcement des systèmes de ventilation, de meilleurs systèmes de chauffage et de climatisation...

Du point de vue de l'utilisateur, l'ensemble des systèmes mis en place doit pouvoir

permettre une utilisation alliant confort, sécurité et simplicité.

Le bâtiment intelligent, acteur des réseaux intelligents

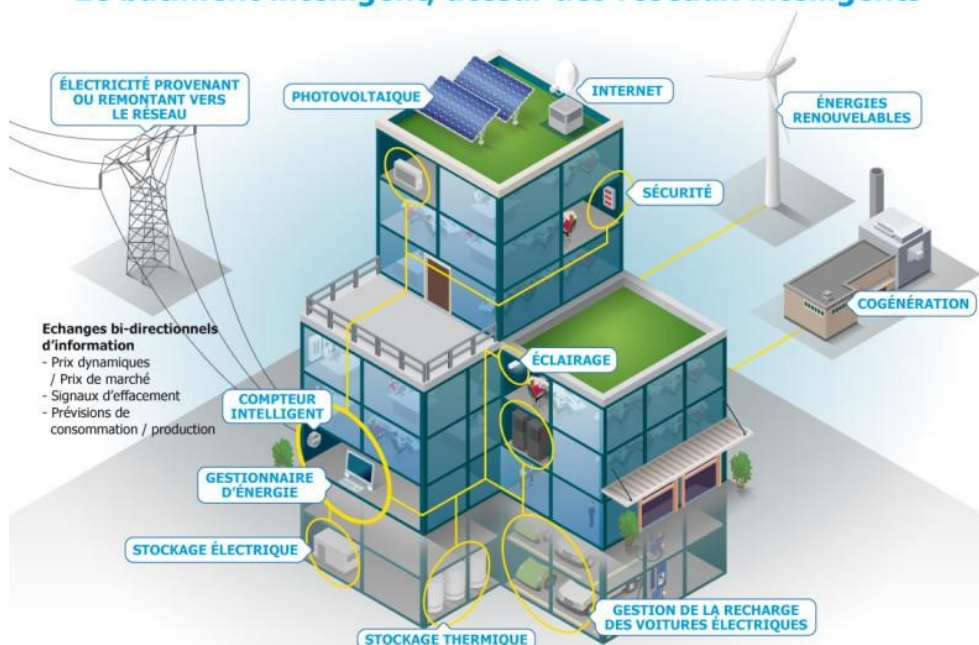


Figure 1: le bâtiment intelligent au sein des réseaux intelligents (source : objetconnecte.com)

1.2. Les enjeux du bâtiment intelligent

Étant donné les situations économique et énergétique actuelles, le smart building doit répondre à un certain nombre de besoins pour pouvoir les améliorer.

Ainsi globalement le bâtiment intelligent devrait répondre aux attentes suivantes :

- Isolation des bâtiments ;
- Génération d'énergie (par exemple à l'aide de panneaux photovoltaïques) ;
- Développement et renforcement des systèmes de ventilation ;
- Adaptation du fonctionnement des équipements à la présence des occupants et à leurs activités ;
- Amélioration du confort des habitants comme par exemple de meilleurs systèmes de chauffage et de climatisation ;
- Perfectionnement la sécurité des bâtiments ;
- Information et sensibilisation : mesure et surveillance des consommations énergétiques pour chaque type d'utilisateur, d'occupant, d'exploitant, de mainteneur et de propriétaire.

Mais les besoins peuvent être plus ciblés selon certains exemples :

- Pour le chauffage : programmer, réguler, optimiser une puissance souscrite, gérer en fonction des tarifs heures pleines / creuses (chauffage et chauffe-eau), suivre ses consommations ;
- Concernant l'éclairage : l'habitat devrait disposer d'un moyen de le contrôler en fonction de la luminosité extérieure, du lever et du coucher de soleil, de l'approche d'une personne (par exemple pour les lampes de bureau), de la présence d'une personne en position statique (cibler la lumière), d'une durée déterminée, de son activité (intensité), des ambiances lumineuses souhaitées. Ensuite il serait aussi nécessaire de pouvoir baliser des chemins (secours ou signalisation) à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment.

1.3. Produits présents sur le marché

Actuellement, il existe différents produits sur les marchés reliés au smart building. Il est possible de les séparer en plusieurs secteurs comme par exemple la domotique et la gestion de l'énergie.

1.3.1. Dans le secteur de la domotique

La domotique est définie comme l'ensemble de techniques différentes utilisées dans les bâtiments qui permettent de centraliser le contrôle de plusieurs systèmes d'un bâtiment (par exemples : chauffage, volets roulants, portail). La domotique a pour but d'améliorer le confort (par exemples : gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage) ou la sécurité (alarme) ou la communication (par exemple : la commande à distance).

Des exemples d'entreprises qui réalisent ce genre de produit sont BEst domotique, Somfy, Philips et Qarnot Computing.

Best domotique est une société d'intégration de systèmes domotiques qui intervient en région Lorraine-Alsace et au Luxembourg (cf. annexe 1). Elle propose des produits qui permettent de gérer l'éclairage de manière indépendante ou combinée. Grâce à des capteurs de présence, l'extinction des lumières se fait automatiquement. Les éclairages peuvent varier grâce à un bouton ou automatiquement à l'aide de capteurs de la luminosité ambiante. De plus cette domotique d'éclairage permet que la lumière s'adapte à la luminosité naturelle pour donner l'éclairage optimal attendu. BEst domotique propose également des rubans LED qui permettent de personnaliser l'ambiance lumineuse des différentes pièces. Par exemple, cette application peut faire partie de la décoration intérieure ou avoir un usage plus pratique la nuit. En effet, grâce à cet éclairage, un chemin dans le bâtiment peut être balisé par mesure de sécurité en ayant une consommation énergétique réduite.

Cette entreprise dispose d'autres produits pour améliorer le confort des usagers comme l'automatisation des volets roulants. Leurs fermetures peuvent être centralisées grâce à un unique bouton ou alors grâce à l'utilisation d'un smartphone. De plus en associant une station météo, les volets peuvent se baisser automatiquement pour que l'apport de chaleur par le soleil en hiver soit optimal et que la fraîcheur de la maison soit conservée en été. Ainsi cette technologie permet d'allier la domotique avec les économies d'énergie.

Ensuite l'entreprise Qarnot est une start-up parisienne qui a travaillé sur plusieurs projets concernant les bâtiments intelligents. En effet, elle a mis en place l'application *Home by Qarnot* qui suit le système de chauffage à distance et règle la température de chaque radiateur de l'habitat. Cette application permet aussi de centraliser et de piloter à distance d'autres équipements comme les ampoules, les compteurs, etc. Ensuite, la principale innovation de Qarnot est le radiateur Q.rad qui est intelligent et connecté. C'est la fusion entre un radiateur électrique et un serveur de calcul haute-performance (composants informatiques haute performance et renouvelés gratuitement tous les 3 à 5 ans). En effet grâce à lui, il est possible de contrôler la qualité de l'air d'une pièce. Il prévient par un léger clignotement et une notification sur un Smartphone que la pièce a besoin d'air frais.



Figure 2 : Le radiateur/ordinateur Q.rad



Figure 3: thermostat de chauffage
(source : BEst)

En ce qui concerne la sécurité, BEst domotique propose un système d'ouverture et de fermeture automatiquement des portes. Par exemple grâce à la géolocalisation d'un smartphone, l'ouverture peut même se faire en automatique à l'approche du bâtiment maison et un scénario d'accueil peut allumer les lumières de l'allée et du garage.

De même l'entreprise Qarnot a prévu d'installer des dispositifs de sécurité comme par exemple la détection d'intrusion. Avec l'application, les habitants sont avertis si les Q.rad détectent une présence inconnue en leur absence. Cette détection est assurée par des capteurs intégrés au Q.rad, ainsi que d'autres équipements optionnels (détecteurs de porte, poignées,...).

Un autre aspect de la domotique est le contrôle distance. Il est possible de régler le chauffage pièce par pièce afin de s'adapter la sensibilité de chacun. Tout au long de la journée la domotique contrôle la chaudière de l'habitat en ouvrant ou en fermant les vannes. De même un système de mise en route à distance est possible pour le chauffage ainsi que la climatisation. Un système intelligent est mis en place pour optimiser le chauffage. Par exemple, la température est automatiquement ajustée en fonction de si une fenêtre a été trop longtemps ouverte, ou s'il y a ou non des personnes dans le bâtiment.

1.3.2. Dans l'objectif d'économies d'énergie

Ensuite il existe des produits qui permettent de faire des économies d'énergie. Ci-dessous se trouve quelques exemples d'applications :

- **Smart Impulse** : identification de la consommation d'énergie de chaque équipement par scrutation des ondes de courant et de tension sur le compteur « d'entrée » du bâtiment.
- **Vesta Sytem** : logiciel permettant d'optimiser les coûts énergétiques des bâtiments.
- **Ubiant** : spécialisé dans l'intelligence artificielle (dispositif imitant ou remplaçant l'humain dans certaines mises en œuvre de ses fonctions cognitives), améliore la performance énergétique des bâtiments en se servant du ressenti des habitants grâce à son moteur l'intelligence artificielle fondée sur un système multiagents.
- **Alerto Veille** : logiciel de traitement et d'analyse des données afin de surveiller les consommations heure par heure. Cela détecte les anomalies et propose des actions correctives.
- **BEst domotique** :
 - possibilité de voir au quotidien les consommations d'énergie sous forme de graphiques à l'aide d'une tablette ou d'un smartphone.
 - assure une gestion optimisée du chauffage en passant, par exemple, automatiquement d'un système solaire à une chaudière gaz en fonction de la demande ; programmation du chauffage pièce par pièce et l'associer avec une détection de présence ; pilotage automatiquement le système de ventilation de votre maison ; faire fonctionner la VMC en fonction de la qualité de l'air dans le bâtiment ; gestion intelligente des volets roulants permettant d'économiser jusqu'à 10% sur la facture de chauffage en hiver en optimisant l'apport de chaleur par le soleil.

- réduction jusqu'à 10 % des consommations électriques en pilotant les prises de courants pour couper les appareils en veille très consommateurs en électricité ; possibilité de recharger les appareils électriques à certaines heures de la journée (de même pour le chauffe-eau).
- **Ijenko**: thermostats, prises électriques et autres capteurs communiquent sans fil.
- **Qarnot**: Q.rad le radiateur-ordinateur utilisant des micro-processeurs comme source de chaleur, produit une chaleur gratuite et écologique

Le *tableau 1* récapitule quelques applications de dispositifs rendant un bâtiment intelligent, disponibles sur le marché actuel.

Tableau 1: Récapitulatif de quelques applications présentes sur le marché

Applications	Entreprises
Domotique éclairage, chauffage, volets	BEst entreprise
Smart analyser	Smart Impulse
Logiciel optimisant les couts énergétiques	Vesta System
Intelligence artificielle	Ubiant
Logiciel de traitement et d'analyse des données	Alerto Veille
Thermostats, prises électriques et capteurs sans fil	Ijenko
Radiateur-ordinateur	Qarnot

Il est possible de constater que les applications déjà existantes touchent quasiment tous les domaines souhaitant être améliorés par la société. En effet la consommation d'énergie et la domotique sont améliorées. De plus, ce marché du smart building naissant, permet aux start-up de prendre place dans ce secteur et de s'assurer un avenir prometteur.

La notion de bâtiment intelligent est peu à peu définie au fil des années. De plus en plus d'applications intelligentes apparaissent sur le marché. Pour accroître sa part de marché, il faudrait sûrement envisager des améliorations. Une des possibilités serait de baisser les prix de ces technologies en les produisant en masse. Ainsi l'électronique imprimée pourrait répondre à cette demande. Ensuite, puisque l'environnement présent dans un bâtiment est réellement important dans notre vie quotidienne, la question de savoir comment il serait possible d'intégrer les dispositifs de manière plus harmonieuse dans cet environnement se pose. Une fois encore, l'électronique imprimée pourrait répondre à cette problématique.

2. L'électronique imprimée

2.1. Définition de l'électronique imprimée

L'électronique imprimée consiste à imprimer des composants électroniques aussi divers que des résistances, des circuits ou des cellules photovoltaïques. L'impression, en particulier en électronique imprimée, est caractérisée par trois éléments : le procédé d'impression utilisé, le substrat et l'encre.

2.2. Procédés d'impression et technologies associées

Les différents procédés d'impression utilisés en électronique imprimée doivent pouvoir s'adapter aux contraintes de l'électronique imprimée, à savoir au final pouvoir avoir un dépôt d'encre continu permettant par exemple au courant de passer. Le tableau 1 permet de comparer les différents procédés d'impression utilisés.

L'évaporation sous vide, procédé traditionnel de la microélectronique, reste concurrentielle par rapport aux procédés d'impression sur les travaux d'une grande précision. Au contraire, pour des travaux simples et en grande quantité, les procédés d'impression sont à favoriser. En effet, ceux-ci demandent un faible apport financier initial et les impacts environnementaux sont moins importants.

Le tableau 2 récapitule les différents procédés d'impression utilisés pour l'électronique imprimée. Il est tout d'abord à noter que l'offset est peu utilisé pour ce type d'applications, et seulement dans sa version waterless.

Ainsi, en trouvant un compromis entre les atouts et les faiblesses de chaque procédé, il est possible de déterminer pour chaque application le procédé optimal.

Le *tableau 2* récapitule les différentes caractéristiques des procédés d'impression afin de mettre en évidence leurs avantages et inconvénients.

Tableau 2: récapitulatif des procédés d'impression

	Viscosité (Pa.s)	Epaisseur d'encre déposée	Vitesse (m².s⁻¹)	Linéature (lignes par cm)	Applications en électronique imprimée	Avantages	Inconvénients
Sérigraphie	0,1 à 100	20 à 100µm	2-3	Sous 50	Antennes RFID	Excellente répétitivité Epaisseur importante	Lent Faible quantité Faible résolution
Flexographie	0,01 à 0,1	6 à 8µm	3-30	60	Antennes RFID		Préparation longue des plaques Pattern always visible on the edges of the printed areas
Offset	5 à 50	2 à 3µm		100 (conventionnelle) ou 200 (sans mouillage)	Circuits imprimés	Impression recto-verso	Encre conductrice visqueuse difficile à obtenir (conventionnel) Solution de mouillage (donc présence d'eau) difficile à monitorer Faible épaisseur d'encre déposée
Jet d'encre	0,001 à 0,1	Dépend de l'encre	3-60	60 (CIJ) 250 (DOD)	Photovoltaïque organique		

Héliogravure	0,005 à 0,01		3-60				Pression trop haute pour substrats flexibles Difficile d'avoir une ligne droite non dentelée
--------------	-----------------	--	------	--	--	--	--

Références : (5) ; (6) ; (7)

Ainsi en fonction du type d'impression que l'on souhaite réaliser, un certain procédé est plus adapté. Par exemple si l'impression nécessite une certaine précision et qu'il n'y a pas beaucoup d'exemplaires à réaliser, la sérigraphie est plutôt adaptée. Par contre s'il s'agit un support flexible, l'héliogravure est à éviter. En conséquence, il faut bien observer les différentes caractéristiques/besoins de l'impression à réaliser avant de choisir un procédé d'impression.

2.3. Encres

Les encres utilisées (cf. annexe 3) en électronique imprimée peuvent être divisées en deux catégories.

Les premières sont les encres ayant des propriétés électriques : conductrices, semi-conductrices ou isolantes (aussi appelées diélectriques).

Parmi celles-ci, les encres conductrices peuvent être de deux types : à base de métaux ou à base de composés organiques (8) (9).

Les encres métalliques sont à base d'argent, de nickel, d'or ou plus rarement de cuivre. Leur conductivité est élevée (106S/m pour l'argent et le cuivre).

Au contraire, les encres à base de polymères, souvent des semi-conducteurs, ont une conductivité moins élevée mais leur prix est aussi moins élevé. Elles peuvent être composées de deux polymères différents : le poly(3,4-éthylènedioxythiophène) (PEDOT) et le poly(styrène sulfonate) de sodium (PSS). Ces encres se dégradent malheureusement facilement sous l'effet des UV ou sous l'effet d'une température ou d'une humidité élevées. Cependant elles gardent une certaine flexibilité, un avantage pour imprimer sur des supports souples.

Ensuite les encres à base de nanoparticules (argent ou cuivre) ont la particularité d'allier conductivité, transparence, flexibilité et imprimabilité.

Le second type d'encres est les encres fonctionnelles. Celles-ci ont des propriétés leur apportant une fonctionnalité autre qu'une fonctionnalité électrique. Ces encres peuvent donc être sensibles à la présence de gaz, à la pression...

Ainsi ces encres utilisées dans ce domaine, ont la propriété très intéressante de conduire l'électricité. Or dans notre société, cette énergie est fortement utilisée dans le domaine du bâtiment (éclairage, alimentation des appareils technologiques...etc.). Ainsi cette propriété de haute conductivité pourrait amener à améliorer les bâtiments déjà existants, en créant des dispositifs plus connectés et intelligents.

2.4. Substrats

Dans l'électronique imprimée, le substrat est un des trois paramètres principaux de l'impression cités précédemment. On attend de ce matériau qu'il soit résistant, flexible, résistant à la température (pour le recuit de l'encre) ainsi que lisse pour que l'encre puisse bien s'étaler.

Les substrats pouvant être utilisés sont de diverses natures, papier et plastique principalement.

Les principaux polymères utilisés sont le polyéthylène naphtalène (PEN) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Leurs propriétés mécaniques, par exemple leur flexibilité, sont intéressantes dans l'optique traitée dans ce mémoire. En effet, ces polymères ont de précieuses qualités : bonnes propriétés mécaniques, grande résistance aux solvants largement employés en électronique imprimée et faible capacité à absorber l'humidité, ce qui est essentiel dans la mesure où les encres imprimées doivent rester en surface.

Les supports papier ont un avantage environnemental sur les substrats plastiques car ils sont biosourcés et aisément recyclables. Cependant, des traitements doivent être réalisés pour optimiser leur utilisation dans l'électronique imprimée.

Un nouveau substrat idéal pour l'électronique imprimée a été mis en place par la société ARJOWIGGINS. C'est un papier unique et flexible pour pouvoir imprimer directement des circuits électroniques complexes, il s'agit du Powercoat. Son couchage et son traitement de surface spéciaux permettent d'améliorer la conductivité des encres et de mieux résister à la chaleur, car il a de meilleures propriétés mécaniques, que les papiers normaux. Ainsi il optimise l'utilisation des encres qui sont onéreuses.

De plus, ce papier est adapté aux environnements (certifié FSC : ...), il est entièrement recyclable, biodégradable. Ainsi, il permet non seulement de réaliser des économies conséquentes sur le coût de production mais aussi de réduire considérablement l'impact sur l'environnement.

Au cours des recherches effectuées, il a été constaté que le maintien de l'encre sur le Powercoat est très bon. Cet aspect est particulièrement important dans le bâtiment intelligent, car les dispositifs à l'intérieur de celui-ci doivent avoir une durée de vie d'au moins une dizaine années. Il serait très contraignant pour les habitants de devoir changer les dispositifs intelligents tous les deux à trois ans par exemple.

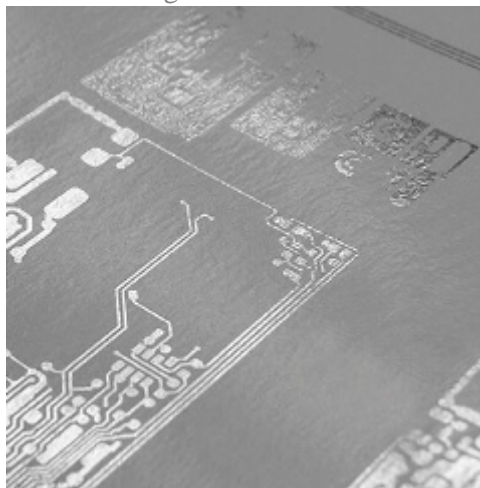


Figure 4- Papier Powercoat imprimé

2.5. Applications de l'électronique imprimée

Les applications qu'il est possible de faire en électronique imprimée sont assez variées : il y a les différents capteurs, les membranes « Switch » ou clavier à membrane, les OLEDs (Organic Light-Emitting Diode) et tout ce qui concerne les étiquettes RFIDs (Radio-Frequency Identification).

a. Les capteurs

Les capteurs sont constitués de plusieurs couches.

Les différents capteurs pouvant être imprimés sont (10) :

- Capteurs de pression : enregistrent la pression, la convertissent en un signal électrique et la restituent, en fonction du pré réglage, en un signal de commutation.
- Biocapteurs
- Capteurs capacitifs : flexible et élastique. Ils détectent les changements de capacité lors des interactions avec le détecteur, grâce à un faradmètre connecté électriquement. Le capteur peut être blindé pour réduire les effets des interférences extérieures.
- Capteurs piézorésistifs : matériau piézoélectrique imprimé sur du silicium, transforme l'énergie mécanique en énergie électrique
- Capteurs optiques : imprimés sur du plastique ou du verre, ils transforment de grandes surfaces en capteurs optiques de moyenne ou haute résolution. Leur capacité à fonctionner dans le vide et dans des fréquences proches de l'infrarouge ouvre la voie à de nombreuses applications industrielles.
- Capteurs de température

- Capteurs d'humidité
- Capteurs de gaz

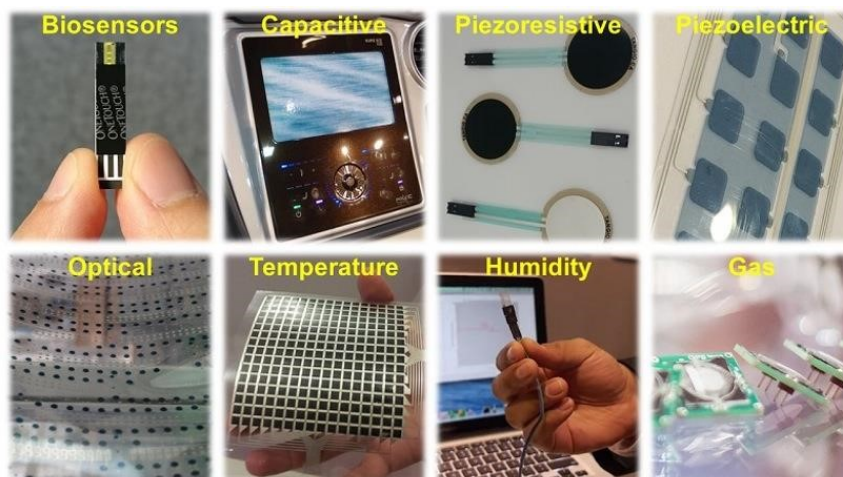


Figure 5 : différents capteurs pouvant être imprimés (source : IDTechEx)

Parmi ces nouveaux capteurs, ISORG, une start-up française basée à Voiron et créée en 2010, a développé en 2013 le premier capteur d'image imprimé sur plastique. Il est constitué d'un dépôt de photodétecteurs imprimés organiques sur un transistor fin en plastique organique développé par Plastic Logic. Ce capteur flexible, d'une taille de 4 cm par 4 cm pour la zone active, a une hauteur de 375 microns et une résolution de 94 par 95 pixels. Ses utilisations possibles sont des applications aussi variées que le packaging intelligent, le scannage des surfaces ou la sécurité par exemple. (11)



Figure 6 : capteur d'image imprimé sur plastique, de la société ISORG (source : ISORG).

Un autre exemple de capteur, biocapteur, a été développé par le Printed Electronics ArenaManufacturing, une équipe du centre de recherche suédois RISE Acreo. C'est un système intégré avec un écran, un capteur et une batterie, le tout imprimé sur plastique ou papier. (12) (13)

b. Les membranes « Switch » ou membrane à clavier

Ce type de membrane est en réalité un commutateur à membrane qui permet de créer un contact momentané entre deux surfaces conductrices. En effet, le principe de fonctionnement de ce type de clavier est basé sur une membrane flexible faite de polyester ou de polycarbonate en forme de dôme, sur laquelle on a déposé de l'encre conductrice. Lorsqu'elle subit une pression, le dôme se déforme et les deux parties conductrices se touchent, fermant ainsi le circuit. (25)

Ce type de clavier est utilisé dans les tableaux de commande, les appareils photos, les téléphones portables...etc.

Cette technologie a des avantages et des inconvénients :

- ✓ : Prix bas (environ 10 €)
- ✓ : Submersible
- ✗ : Faible longévité (quelques mois maximum)
- ✗ : Faible vitesse de retour de la touche, donc saisie moins rapide



Figure 7 : membrane « Switch »

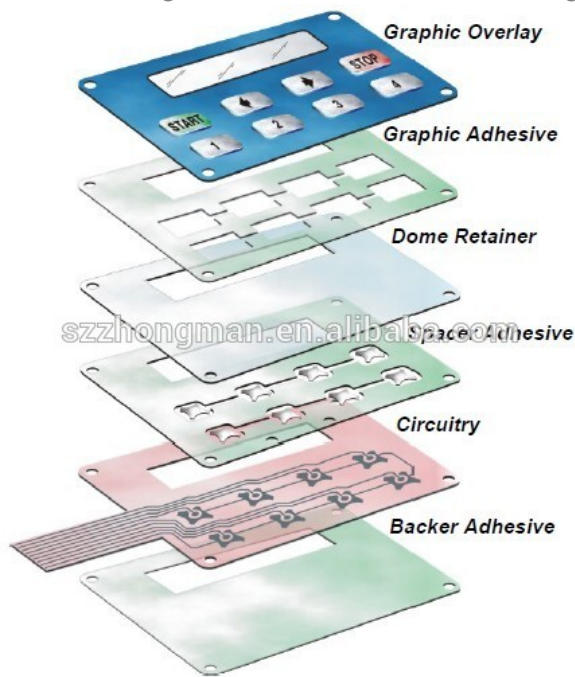


Figure 8 : structure de la membrane « Switch »

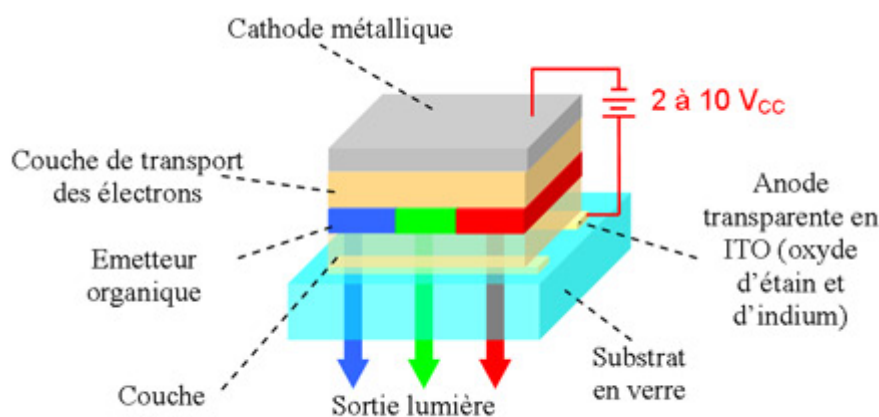
c. Les OLEDs (ou diodes électroluminescentes organiques)

L'OLED est une technologie d'affichage sur un support potentiellement flexible reposant sur le principe de l'électroluminescence. (26)

Elle est basée sur l'utilisation de diodes superposées qui, une fois alimentées par un courant électrique, émettent leur propre lumière (émission d'un photon), contrairement à d'autres types d'affichage tels que les écrans à cristaux liquides qui nécessitent un rétro-éclairage.

Chaque pixel de l'écran est composé de trois diodes juxtaposées (bleue, rouge et verte) dont l'épaisseur ne dépasse pas un millimètre.

Chacune de ces diodes est constituée d'un semi-conducteur organique à base de carbone, oxygène, hydrogène et azote entouré par une cathode métallique (charge électrique positive) et une anode transparente (charge électrique négative).



L'ensemble repose sur un support en verre ou en

Figure 9 : schéma de fonctionnement d'une photodiode (source : ecranflexible.com)

plastique (notamment pour les applications des écrans souples) (voir la figure 9). C'est principalement imprimé en jet d'encre car ce procédé sans contact permet de ne pas abimer le support. Mais de nombreux procédés d'impression sont réalisables pour imprimer des OLEDs.

Cette technologie peut être utilisée dans les revêtements muraux qui ont besoin d'être ajustables ou dans les éclairages écologiques.

De plus, les OLEDs peuvent également stocker l'énergie solaire et émettre de la lumière si les couches imprimées ont des propriétés photovoltaïques. Comme toute technologie, les OLEDs ont des avantages et des inconvénients.

⇒ Avantages :

- o Un affichage OLED n'a pas besoin de rétro-éclairage, ce qui a pour conséquence une économie d'énergie non négligeable ainsi qu'un encombrement réduit et un avantage certain concernant la flexibilité des écrans.
- o Le processus et le coût de fabrication des écrans OLED apparaissent comme étant plus rentables comparé à d'autres technologies.
- o Le contraste, le rendu des couleurs, le temps de réponse ainsi que l'angle de vision (lumière diffuse) sont également profitables à la technologie OLED.

⇒ Inconvénients :

- o Le principal désavantage des écrans OLED réside dans leur durée de vie assez limitée (jusqu'à présent).
- o D'autre part la grande sensibilité des semi-conducteurs organiques à l'humidité est un frein supplémentaire à la commercialisation en masse de cette technologie.

d. Les étiquettes RFIDs

L'étiquette RFID également nommée étiquette intelligente, étiquette à puce ou tag est un support d'identification électronique qui n'a pas besoin d'être vu pour être lu. Son utilisation est de ce fait, très attractive pour répondre aux exigences en matière de traçabilité.

Il existe plusieurs fréquences radio utilisées par la RFID, plusieurs types d'étiquette ayant différents types de mode de communication et d'alimentation.

Pour transmettre des informations à l'interrogateur (ou lecteur), une étiquette RFID est généralement munie d'une puce électronique associée à une antenne. Cet ensemble forme le tag/label ou encore transpondeur.

Les informations contenues dans la puce électronique d'un tag RFID peuvent être uniques. Une fois écrit dans le circuit électronique, cet identifiant ne peut plus être modifié mais uniquement lu. Certaines puces électroniques disposent d'une autre zone mémoire dans laquelle l'utilisateur peut écrire, modifier, effacer ses propres données. La taille de ces mémoires varie de quelques bits à quelques dizaines de kilobits. L'étiquette est activée par un signal radio émis par le lecteur RFID lui-même équipé d'une carte RFID et d'une antenne, les étiquettes transmettent les données qu'elles contiennent en retour.

La différence entre technologie RFID et la technologie NFC est la suivante :

La RFID est un processus par lequel des données sont récupérées par le biais d'ondes radio alors que la NFC est un sous-ensemble de la RFID, elle est conçue pour être une forme sécurisée d'échange de données.

3. L'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent

Parmi les besoins des bâtiments intelligents, seulement quelques-uns sont réalisables par l'électronique imprimée. En effet, malgré la grande flexibilité des procédés d'impression, certaines contraintes du bâtiment et de ses usages limitent l'entrée de l'électronique imprimée dans ce secteur.

3.1. Contraintes et problèmes techniques

Les contraintes et problèmes techniques imposés par la thématique sont :

- Imprimabilité sur supports divers (verre, polymères, tissus, peintures murales...);
- Développement durable : diminution de consommation d'énergie ;
- Faciliter interactions bâtiment/personne ;
- Aspects visuels (transparence du verre photovoltaïque par exemple) ;
- Augmentation de la production ;

- Respect de la législation ;

Les composants utilisés dans le bâtiment intelligent ont une variété importante de supports, du verre aux peintures murales en passant par le verre par exemple. Il est donc fondamental que l'impression de ces composants soit possible sur une large gamme de substrats. De plus il est extrêmement important que les composants formant le dispositif intelligent aient une bonne durée de vie, c'est-à-dire de l'ordre des années. Il serait assez contraignant de devoir changer tous les ans les applications de l'électronique imprimée au sein du bâtiment.

3.2. Applications de l'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent déjà mises sur le marché

Les applications de l'électronique imprimée au sein du bâtiment intelligent peuvent être divisées en trois catégories : l'énergie, la domotique et la gestion des ondes.

3.2.1. Energie

3.2.1.1. Photovoltaïques traditionnels

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques qui produisent une tension et du courant continu en appliquant le principe de l'effet photoélectrique. A partir d'une lumière naturelle ou superficielle. Cette électricité produite est soit directement consommée, soit l'installation photovoltaïque est reliée à un réseau de distribution d'électricité.

Ces cellules photovoltaïques peuvent être composées différemment. Les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (plus de 90%) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : tellure de cadmium, sélénure de cuivre et sélénure d'indium, etc. Elles sont formées généralement par la superposition de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Il existe plusieurs générations de cellules photovoltaïques (ex : la première, la cellule en silicium cristallin) qui ont des avantages et des inconvénients différents (14). Les cellules de deuxième génération (cellules en couches minces) peuvent être par exemple imprimées grâce au procédé sérigraphique ou jet d'encre.

3.2.1.2. OPV (OrganicPhotovoltaic)

Les photovoltaïques organiques ont pour objectif de convertir l'énergie solaire en énergie électrique à l'aide de molécules organiques.

Une cellule photovoltaïque organique est multicouche, comme le montre la figure 10, entre une anode et une cathode. Cette technologie peut se retrouver sur des panneaux exposés au soleil, par exemple sur le toit ou les murs.

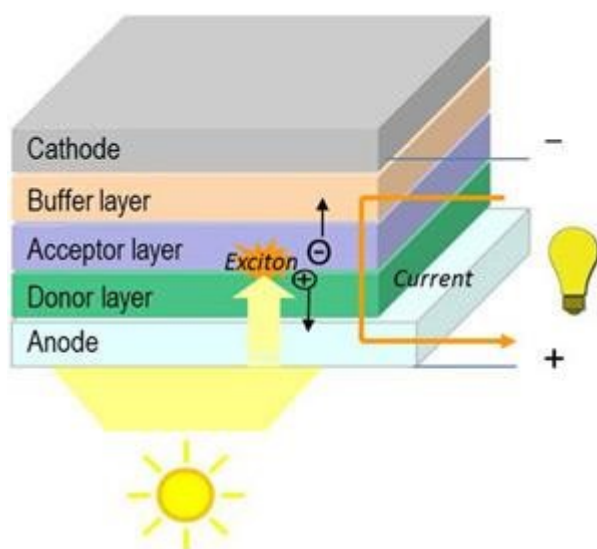


Figure 10 : principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique (source : Sigma-Aldrich)

3.2.1.3. BIPV (Building-Integrated Photovoltaics)

Les BIPV sont des cellules photovoltaïques qui sont intégrées directement au sein des bâtiments.

Heliaplan est un exemple de film photovoltaïque organique, produit par la société Heliaplan, allemande.

Fin et flexible, il peut s'adapter sur n'importe quelle structure.

Il est constitué de couches multiples, pouvant aller jusqu'à 20. Son épaisseur est d'environ 250nm pour les couches actives. Les semi-conducteurs organiques présents dans le film sont transparents ; cependant, la contre-électrode, en métal, est opaque. Un des défis serait d'utiliser un métal transparent dont la conductivité est suffisante. Il peut être néanmoins peut être coloré en vert, bleu ou gris (15).

Ses performances, telles que données par le constructeur, sont présents dans le tableau 2 (16). L'efficacité de la cellule opaque en laboratoire est présentée comme le record du monde de ce type de cellule photovoltaïque.

Tableau 3: données techniques de l'Heliefilm (source : Heliatek)

Efficacité de cellule opaque en laboratoire	13,2%
Efficacité de cellule opaque en production	7-8%
Efficacité de cellule transparente à 30%	6%
Durée de vie des molécules	Supérieure à 25 ans

L'Heliefilm, pouvant être intégré directement dans la construction de bâtiments, fait partie de la catégorie des photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV, Building-integrated photovoltaics). Ceux-ci peuvent par exemple prendre la forme de verres imprimés de cellules photovoltaïques.

3.2.2. Domotique

3.2.2.1. Photodiodes organiques sur plastique

ISORG a développé des photodiodes organiques sur substrat plastique. En plus des propriétés des photodiodes conventionnelles, son design (rectangulaire ou circulaire), sa surface (de l'ordre du mm² au cm²) et ses propriétés mécaniques (finesse, robustesse...) sont autant d'atouts.



Entre les différentes applications possibles, de l'industrie pharmaceutique à la spectroscopie spatiale, la domotique est une possibilité. En effet ces photodiodes peuvent être utilisées comme des surfaces intelligentes servant d'interface sans contact.

Figure 11 : photodiode organique sur substrat plastique développé par ISORG (source : ISORG).

3.2.2.2. Capteurs

Les capteurs présentés dans le paragraphe 2.5 De la présente étude peuvent être adaptés au secteur de la construction, et notamment au bâtiment intelligent. Le laboratoire de l'électronique organique de l'Université de Linköping, en collaboration avec Acreo, PEA et la société de construction Peab ont mis au point un capteur anti-humidité flexible et imprimé, constitué par exemple

de PBT (poly(téréphtalate de butylène) un polymère thermoplastique. Placé au sein des murs et des planchers, il a une taille de 6 par 8cm, avec une épaisseur inférieure à 1mm ; le substrat est plastique. Il peut être lu de l'extérieur par un lecteur manuel spécifique. (17)

3.2.3. Sécurité

3.2.3.1. Papier peint anti-onde

Le Centre Technique du Papier (CTP) a mis au point un papier peint dont les motifs brevetés, imprimés avec une encre conductrice, filtrent spécifiquement les fréquences 0,9, 1,8 et 2,1 GHz (GSM) ou 2,45 et 5,5 GHz (wifi), il s'agit du Metapapier (18). Il a été réalisé de telle sorte qu'il laisse passer toutes les autres ondes comme par exemple la radio FM ou la télévision. Le motif peut être imprimé sur d'autres supports, autres que le papier, comme par exemple le verre ou une toile souple.

Ce papier a un rôle anti-piratage. Ses capacités peuvent également intéresser les personnes souhaitant se protéger des ondes électromagnétiques afin de lutter contre l'électrosensibilité.

Il peut être intégré dans des plaques de plâtre ou des revêtements de sol. Utilisé comme revêtement mural en général, il peut permettre de protéger un espace public (salle de réunion, de spectacle, hôpital, restaurant, chambre d'enfant, etc.).

De plus, le Metapapier n'est pas plus cher qu'un papier ordinaire. Actuellement il est disponible sur le marché à une vingtaine d'euros par mètre carré.

Il existe également dans le commerce, un isolant anti – ondes. C'est un textile de verre traité au graphite qui arrête les ondes électromagnétiques (son prix est de 7,20 €/m²). Cependant il n'a pas l'avantage d'être esthétique ni d'être pouvoir reproduit sur un autre support.

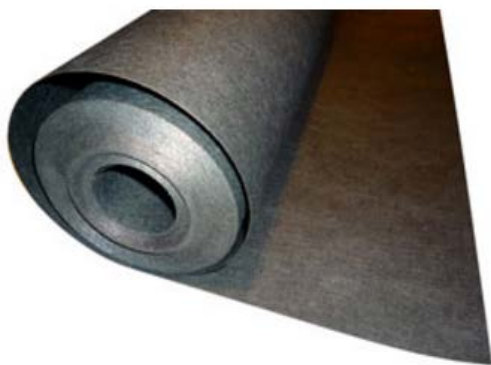


Figure 12 - Isolant anti-onde ; 7,20 €/m²



Figure 13 - Papier peint anti-onde ; 20€/m²

Il est possible de réaliser un papier amplificateur d'onde. Il suffirait de changer le motif imprimé de telle manière qu'il provoque ce phénomène.

3.2.3.2. Interrupteurs avec lecteur RFID intégré

Comme il a été expliqué dans le paragraphe 2.5.d, un badge RFID peut être encodé. Ainsi il est possible de créer un programme personnel dans ce badge puis de le passer devant un lecteur RFID pour qu'il exécute les demandes. Le laboratoire Multicom a développé un interrupteur constitué d'un lecteur RFID, qui est capable de lire un code d'un badge ayant la même technologie. Par exemple, chacun des usagers d'un bâtiment disposerait d'une carte (ou bague) avec un code personnel pouvant être scanné sur l'interrupteur et ainsi obtenir la programmation personnelle de certains équipements, comme la lumière. De plus, il est possible de reconfigurer indéfiniment les commandes des appareils électriques. (19)

Cette technologie du RFID pourrait être également appliquée pour fermer les volets ou autre commande relativement basique. (27)

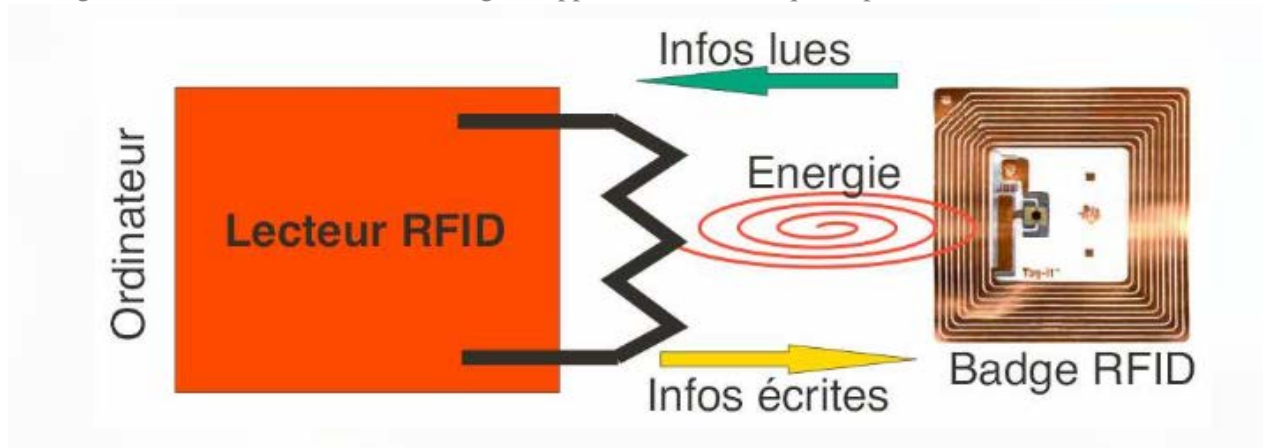


Figure 14- Fonctionnement d'un lecteur RFID pouvant servir d'interrupteur

3.3. Application de l'électronique imprimée pouvant dans le futur être appliquée dans le bâtiment intelligent

Certaines recherches qui sont menées actuellement dans des entreprises pourraient éventuellement être appliquées au domaine du bâtiment intelligent. C'est le cas du papier électronique.

Le papier électronique camouflant

Ce papier électronique est en cours de développement par BAE (28), l'un des principaux leaders britanniques en armement, dans l'objectif qu'il camoufle les chars militaires grâce à la technologie de l'encre électronique.



Figure 15 : disposition du papier électronique camouflant un char

Disposé en guise de revêtement sur la surface du tank, le papier électronique est couplé à des capteurs qui adaptent l'image affichée en fonction du paysage.

L'encre électronique, encore appelée e-paper ou papier électronique, est une technique d'affichage sur support souple. Cette technologie est utilisée

actuellement dans les livres électroniques mais pour qu'elle soit appliquée au projet de BAE, il faudra quelques années de recherche car elle n'est pas tout à fait maîtrisée.

Tout d'abord, l'encre électronique est constituée de minuscules capsules contenant des microparticules noires et blanches chargées électriquement (négativement pour les noires, positivement pour les blanches).

Les capsules sont disposées entre deux feuilles transparentes de verre ou de plastique (pour obtenir un support/écran souple), chacune dotée d'un circuit imprimé semi-conducteur comme il est représenté sur la figure 16.

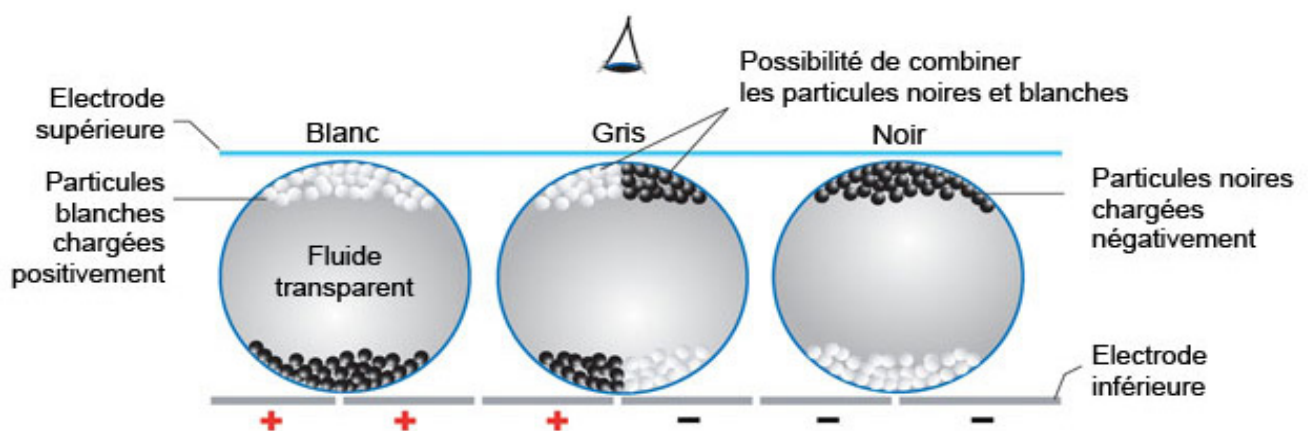


Figure 16 : schéma du fonctionnement de l'encre électronique

À l'application d'un champ électrique positif à la surface de la feuille, les particules noires migrent vers la surface et deviennent visibles. Le même phénomène pour les particules blanches a lieu lorsqu'un champ négatif est appliqué.

Les niveaux de gris sont réalisés en faisant migrer simultanément les particules blanches et noires de part et d'autre de la capsule.

Contrairement aux écrans classiques rétroéclairés (source de lumière diffuse intégrée à l'arrière de l'écran), l'encre électronique ne nécessite pas d'énergie pour laisser une image affichée. La source d'énergie n'est ici utilisée que lorsque le champ électrique change pour former une autre image. Ainsi cette technologie est vraiment plus économique énergiquement pour les affichages prolongés.

Pour réaliser le camouflage d'un char il faudrait différentes couleurs et une mise à jour des dispositions des capsules régulières et rapides. C'est à cet endroit que se situe la recherche. En effet,

une technique a été développée : l'électromouillage. Chaque capsule microscopique aurait un réservoir contenant de l'eau et une goutte d'huile colorée. Avec le champ électrique elles se comprimeraient sur un bord, laissant apparaître le fond blanc du réservoir, et s'étaleraient pour montrer leur couleur quand le champ est coupé. Le contrôle précis de la tension électrique permettrait d'agir sur l'intensité de la couleur. Le temps de « mise à jour » serait de l'ordre de 10 ms, ce qui convient pour visionner une vidéo relativement fluide.

Avant de pouvoir appliquer cette technologie au bâtiment intelligent, il faudrait la maîtriser parfaitement. Cela pourra prendre une dizaine d'années qui seront également nécessaire à rendre cette technologie rentable à grande échelle.

Mais il est possible de penser que l'encre technologique pourra servir dans le bâtiment intelligent dans un but esthétique. Par exemple il sera possible de camoufler les postes de commande de la maison par exemple ou alors avoir une de grands écrans muraux permettant de visionner des images.

B) Rapport économique

1. Analyse de marché du bâtiment intelligent

La figure 17 représente la répartition des travaux du bâtiment en 2015. La somme de ces travaux correspond à 124 milliards d'euros. Cette somme se répartit avec 40,3% réservé au neuf et 59,7% à la rénovation. Ces proportions peuvent donc amener la réflexion sur la place du bâtiment intelligent vis-à-vis du bâti neuf et rénové. Nous pouvons donc penser que le smart building s'adresse aussi bien au neuf qu'à l'ancien, dans des conditions différentes (prise en compte dès la conception pour le neuf, adaptation sur l'existant pour l'ancien).

La production

Travaux de bâtiment : 124 milliards d'euros

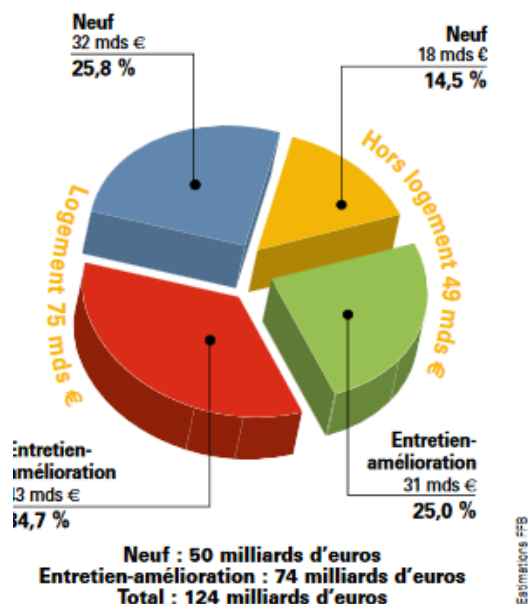


Figure 17 : données principales du secteur français du bâtiment en 2015 (source : Fédération française du bâtiment(20)).

Le tableau 4 donne ici une liste non-exhaustive des acteurs du bâtiment intelligent. Ils peuvent être classés en cinq catégories : les promoteurs immobiliers, les équipementiers, les constructeurs et installateurs, les start-ups et les éditeurs de logiciels.

L'importance des start-ups dans ce domaine montre sa vitalité et sa capacité à innover.

Il est de plus à remarquer que Schneider Electric est un acteur du bâtiment intelligent – comme équipementier – mais comme aussi un acteur de l'électronique imprimée.

Tableau 4: liste non-exhaustive des entreprises acteurs du bâtiment intelligent

Promoteurs immobiliers	Equipementiers	Constructeurs et installateurs	Start-up	Editeurs de logiciels
Nexity	Schneider Electric	Vinci	Intent technologies	Arc informatique
icade	Siemens	Bouygues	Qarnot	Ocea smart building
BNP Paribas real estate	ABB	SPIE	Ubigreen	
GA smart building	Hager	ENGIE	Eco-tb	
	Delta dore		jooxter	
	Acuity Brands			
	Johnson controls			
	Honeywell			

Référence : (21)

2. Analyse de marché de l'électronique imprimée

La figure 18 présente l'évolution, entre 2008 et 2020, de la répartition du marché de l'électronique imprimée par ensemble d'applications.

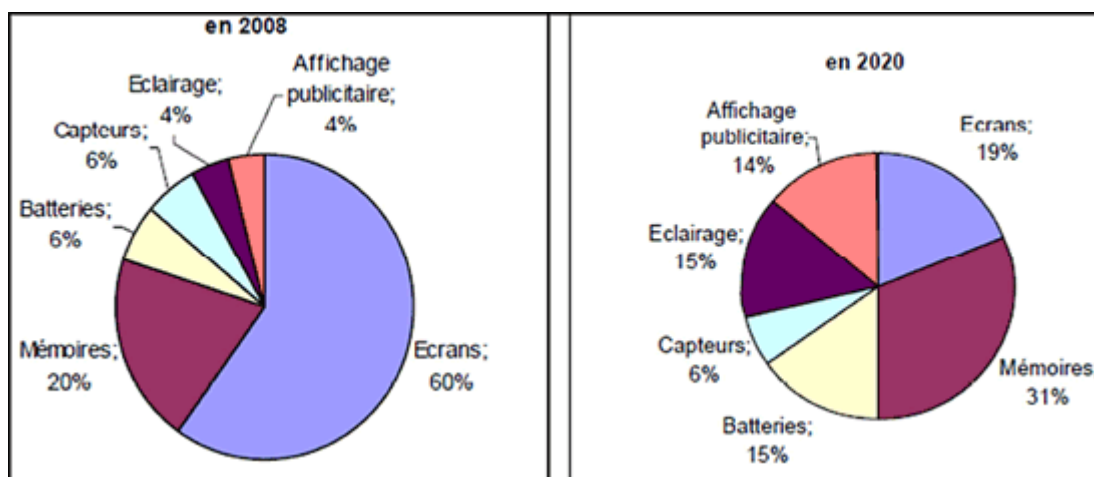


Figure 18 : Évolution du marché de l'électronique imprimée par filière (en % du CA total) (source : IDTechEx)

Tout d'abord, nous observons qu'en 2008, les écrans représentant la part majoritaire de l'électronique imprimée avec 60% du chiffre d'affaires total. Viennent ensuite les mémoires avec 20% puis les capteurs et les batteries avec chacun 6%. Ainsi, le marché est particulièrement centré sur l'application écran. Les autres produits se répartissent le reste des parts du marché.

En 2020, selon les prévisions d'IDTechEx, la topologie du marché est largement modifiée. Il n'y a plus d'application majoritaire mais quatre applications se distinguent : les mémoires avec 31%, les écrans avec 19% puis les éclairages et les batteries avec chacun 15%. Ainsi on voit ici le développement des mémoires imprimées – qui peuvent être reliées au besoin grandissant de stockage pour les « big data » - et de l'éclairage, qui est un poste non négligeable de la consommation électrique domestique.

Pour le domaine du bâtiment intelligent, les principales applications utilisées sont les écrans, les écrans et les capteurs.

Le recul de la part de marché des écrans peut s'expliquer par une progression relative plus rapide des autres secteurs. Ainsi, en valeur absolue, il est possible qu'il y ait stagnation ou augmenter du chiffre d'affaires des écrans.

La figure 19 présente l'évolution, entre 2008 et 2018, de la répartition géographique des investissements dans l'électronique imprimée.

Nous observons que l'Asie est en 2008 et reste en 2018, selon les prévisions d'IDTechEx, le principal pourvoyeur de fonds pour ce secteur.

L'Asie étant le lieu principal de production industrielle dans le monde, il est logique que la majorité des investisseurs d'une nouvelle technologie pouvant révolutionner l'industrie soient asiatiques.

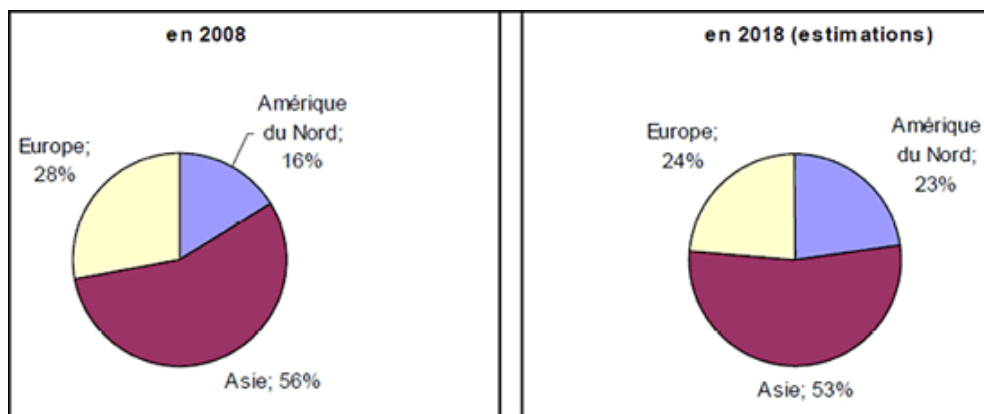


Figure 19 : Répartition des investissements dans le secteur (source : IDTechEx)

La figure 20 présente les perspectives de développement des applications de matériaux transparents dans le secteur de l'électronique sur le temps long.

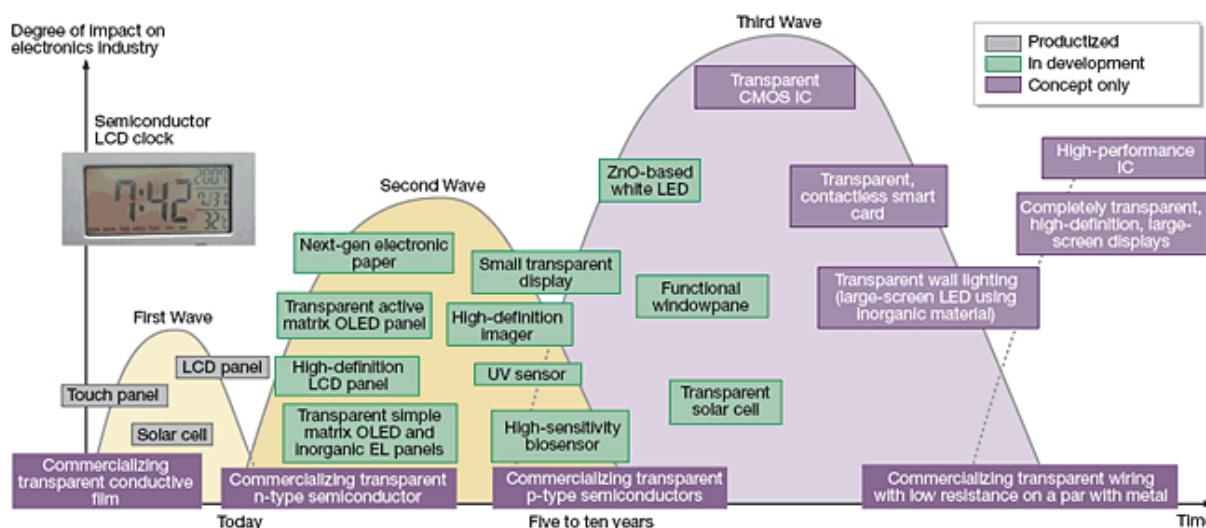


Figure 20 : Perspectives de développement des applications de matériaux transparents dans le domaine de l'électronique (source : Nikkei Electronics Asia)

Trois ensembles d'applications sont présentées ici. La première est celle des produits existants et en cours de production. Ce sont des applications désormais banales. La deuxième vague

comprend des applications sur le marché dans les cinq à dix ans ; elles sont toutes en développement actuellement. Des exemples reliés à notre sujet sont les OLED transparentes. La troisième vague réunit des applications venant à terme dans plus de dix ans ; une partie (comme les cellules solaires transparentes) est actuellement en développement mais l'autre partie est seulement à l'état de concept.

Plusieurs applications sont liées à l'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent : les cellules solaires et les écrans LCD dans la première vague, les capteurs et les OLED dans la deuxième vague ainsi que les cellules solaires transparentes dans la troisième.

3. Analyse de marché de l'électronique imprimée incluse dans le bâtiment intelligent

3.1. Diagramme de Porter

Le diagramme de Porter présenté à la figure 21 représente le bâtiment intelligent et les solutions de substitution qu'offre l'électronique imprimée dans ce secteur.

Les applications proposées par le bâtiment intelligent pour la domotique recouvrent des applications relevant de l'automatisation des services liés au logement.

L'électronique imprimée permet la génération à grande échelle des produits de l'électronique conventionnelle.

Les fournisseurs du secteur de l'électronique imprimée pour le bâtiment intelligent sont pour l'instant différents de ceux du secteur qu'il tente de substituer. Une des orientations possibles est le rapprochement de ces deux catégories de fournisseurs, soit par extensions des activités de ces entreprises, soit par rachats.

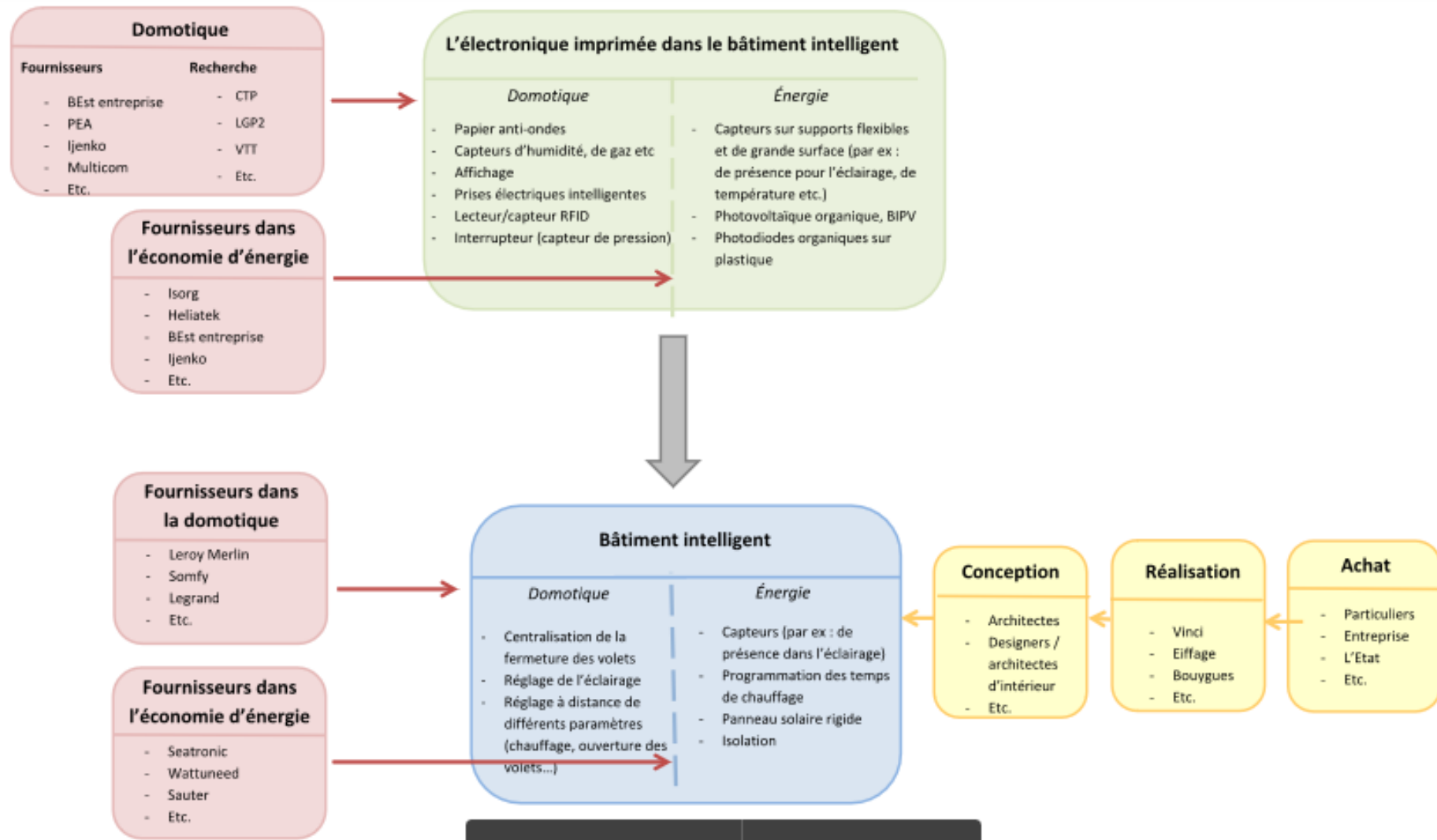


Figure 21 : diagramme de Porter pour le bâtiment intelligent

3.2. Chaîne de valeurs

La figure 22 représente la chaîne de valeurs pour un panneau photovoltaïque conventionnel, en silicium, et la chaîne de valeurs pour un panneau photovoltaïque organique. Nous allons ci-après les comparer.

Quel que soit le mode de production d'une cellule photovoltaïque, conventionnelle ou organique, il peut être identifié quatre étapes : la conception, la fabrication, la mise en place et le marketing.

La conception en électronique imprimée nécessite, pour le moment, un développement plus important que pour des panneaux photovoltaïques conventionnels. En effet, la technologie du photovoltaïque organique est jeune et nécessite plus de recherche. Cependant, cet inconvénient pourra bientôt être éliminé par le fait que l'électronique imprimée va devenir de plus en plus mure.

Pour une cellule photovoltaïque conventionnelle, en silicium, la fabrication se subdivise en trois opérations. Tout d'abord, les lingots de silicium sont découpés pour devenir des wafers. Ceux-ci sont ensuite transformés afin de devenir des cellules photovoltaïques qui sont enfin assemblées en un panneau photovoltaïque. Au contraire, pour une cellule photovoltaïque organique, la seule opération de fabrication est l'impression.

Concernant la mise en place, elle est identique. Il est nécessaire dans les deux cas de fixer le panneau à un support et le relier au réseau électrique. Cependant, le photovoltaïque organique autorise l'impression de films souples. Ainsi il est possible de choisir des supports autres qu'un toit, comme par exemple une façade ou des vitres.

La stratégie marketing pour un panneau – ou film – photovoltaïque organique peut insister sur la modulabilité en termes de mise en place et de couleur ; en effet, l'Heliaplan est disponible en d'autres couleurs que le noir ou le bleu, le brun par exemple.

Par conséquent, malgré une conception qui est encore plus importante, l'électronique imprimée, via l'exemple du photovoltaïque organique, permet un gain de temps lors de la fabrication et une mise en place plus souple.

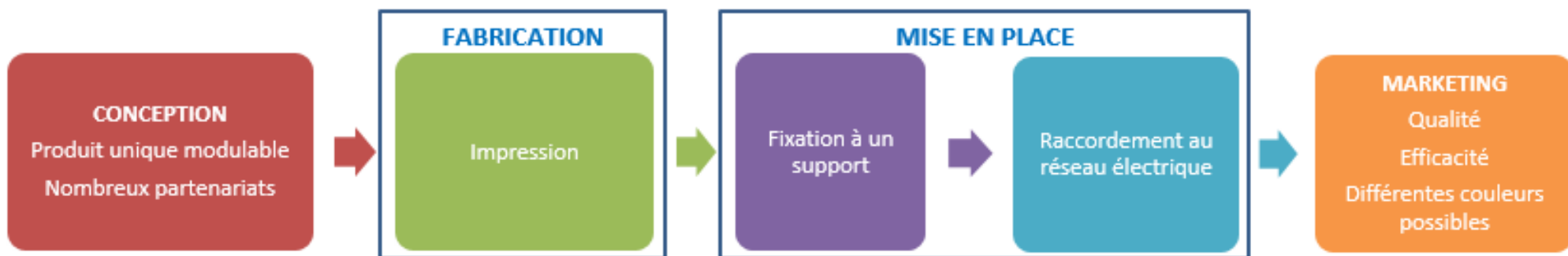
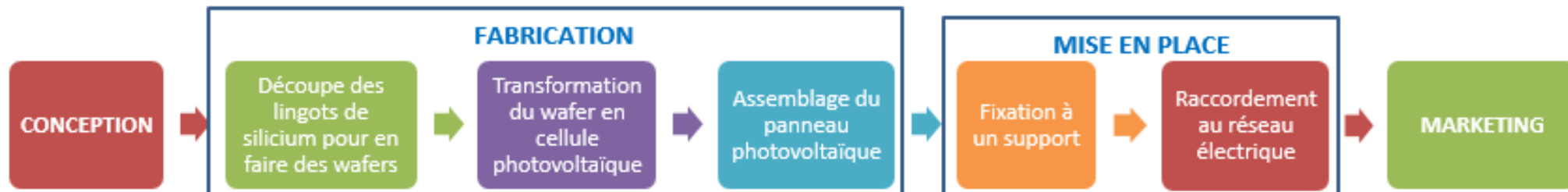


Figure 22 : chaînes de valeur pour un panneau photovoltaïque conventionnel (haut) et pour un panneau/film photovoltaïque organique (bas)

3.3. Matrice SWOT

Il est présenté, dans les figures 23 et 24, les matrices SWOT pour les secteurs de la domotique et de la gestion d'énergie en électronique imprimée pour le bâtiment intelligent. Nous avons ainsi résumé les paramètres internes (forces et faiblesses) et externes (opportunités et menaces) pour ces deux domaines.

Les forces de l'électronique imprimée dans ces domaines sont la productivité élevée. En effet, les procédés d'impression ont de faibles coûts unitaires de production, ce qui permet de produire à grande échelle. De plus, les substrats peuvent être souples, ce qui n'est pas possible en électronique du silicium. Cependant, les niveaux de performance de l'électronique conventionnelle ne sont toujours pas atteints.

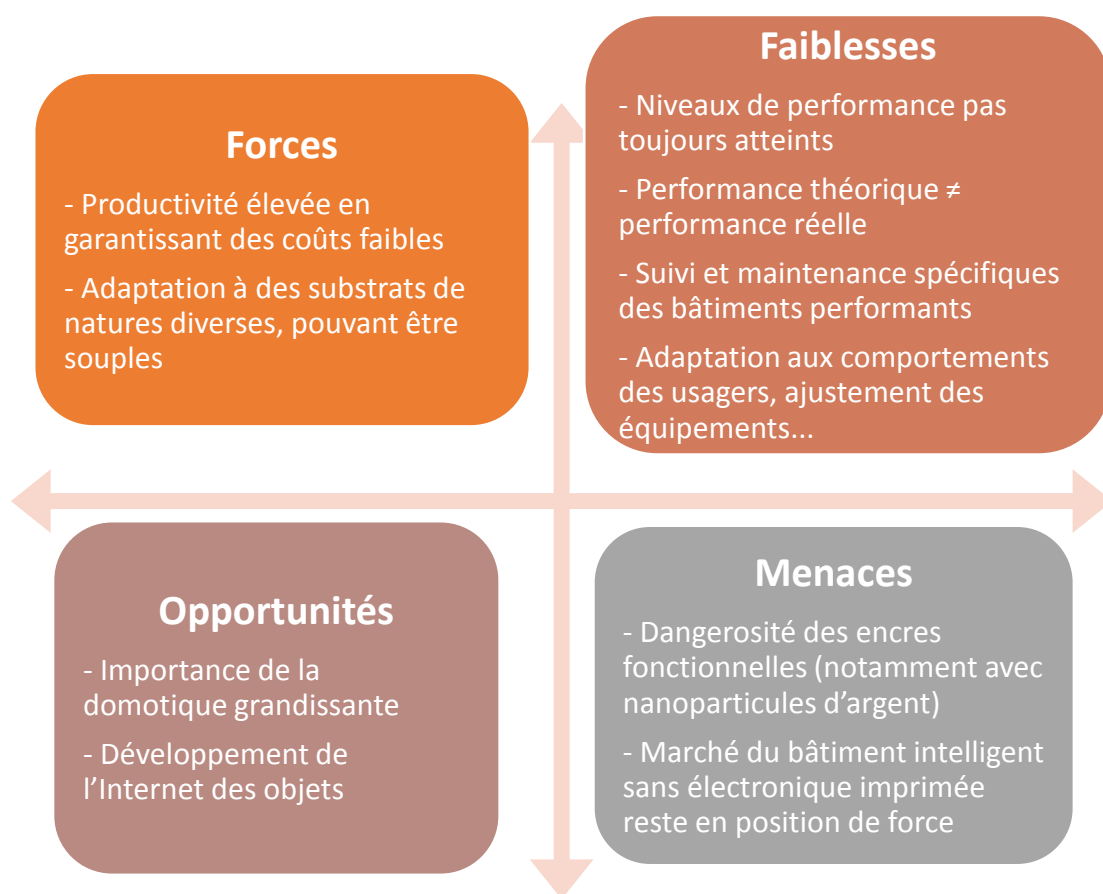


Figure 23 : matrice SWOT de la domotique en électronique imprimée pour le bâtiment intelligent

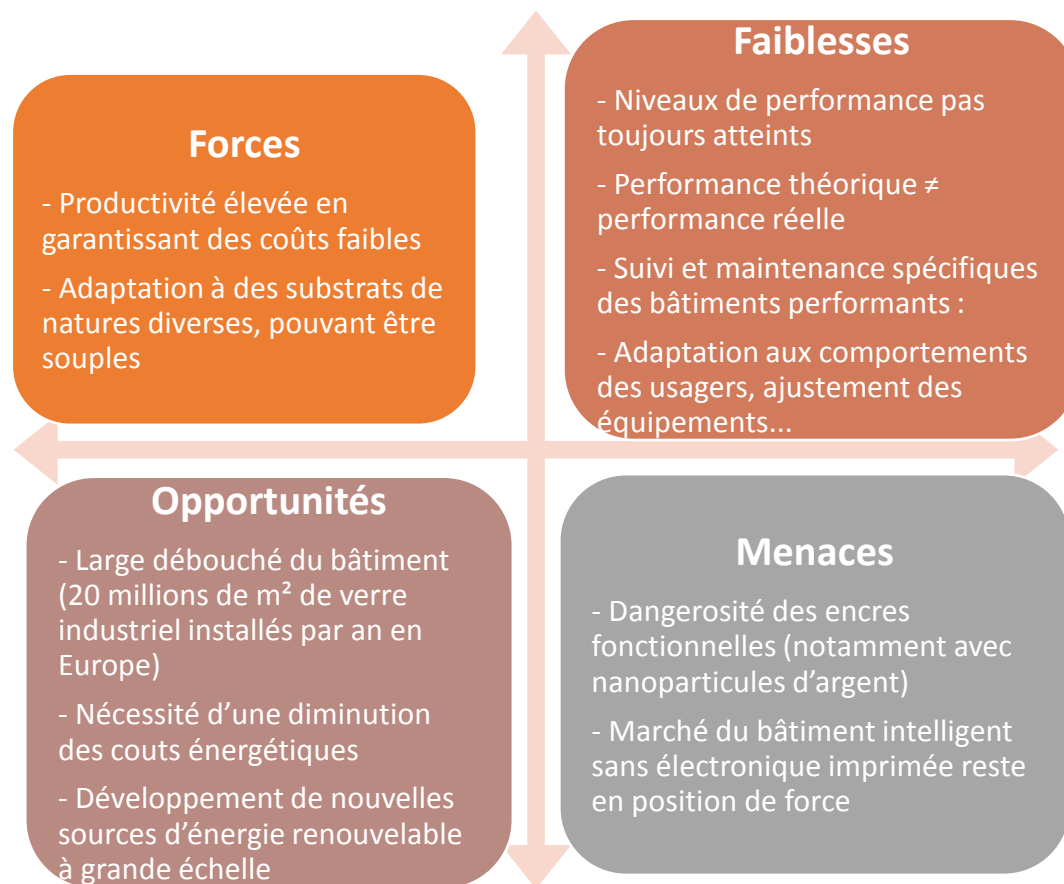


Figure 24 : matrice SWOT de la gestion de l'énergie en électronique imprimée pour le bâtiment intelligent

4. Scénarii prospectifs

Après avoir fait l'état des lieux des acteurs et des produits pour l'électronique imprimée, le bâtiment intelligent et la réunion des deux, il est possible de dresser une image de la situation actuelle avant de dessiner des scénarii prospectifs visant à mettre en avant des problématiques posées dans ce rapport.

En 2017, l'électronique imprimée et organique dans le smart building est peu développée. La plupart des applications sont au niveau de la recherche et développement. Le photovoltaïque organique est industrialisé à faible niveau, avec des entreprises comme Heliatek et son produit Heliacell.

Le potentiel est fort pour équiper les bâtiments en électronique imprimée. Par exemple, 20 millions de m² de verre sont installés chaque année en Europe.

Scénario 1 – 2030 – L'électronique imprimée n'a pas percé dans le secteur du bâtiment intelligent.

Hypothèses :

- Les encres à base de nanoparticules sont gravement mises en cause pour des raisons sanitaires (probabilité : 40%)
- L'électronique conventionnelle a utilisé son avance pour se développer, en évitant les couts de développement importants de l'électronique imprimée (probabilité : 70%)

L'électronique imprimée se développe jusque dans les années 2020 mais le marché est étouffé par l'électronique conventionnelle car les produits déjà existants dans le bâtiment intelligent évoluent de manière à suivre le marché de l'électronique conventionnelle. De plus, les prix des produits issus de l'électronique imprimée ne sont pas compétitifs. Enfin, les acteurs de ce marché n'arrivent pas à résoudre les problématiques de longévité et de rendement de certaines applications.

Entre 2020 et 2025, de nombreuses études scientifiques s'accordent sur le fait que les nanoparticules comprises dans les encres peuvent migrer à la surface des emballages ainsi imprimés et peuvent contaminer le corps humain.

Ainsi, à la fin des années 2020, la part de marché de l'électronique imprimée au sein du domaine du bâtiment intelligent a largement chuté par rapport à celle observée en 2017.

Probabilité de réalisation : 55%

Scénario 2 – 2040 – Les bâtiments sont autonomes énergétiquement, largement grâce au photovoltaïque organique.

Hypothèses :

- La productivité élevée du photovoltaïque organique garantit des coûts faibles et par conséquent des prix attractifs, inférieurs à ceux du photovoltaïque conventionnel (probabilité : 60%)
- L'adaptabilité sur supports souples permet une installation aisée sur une gamme de supports bien plus large que l'électronique conventionnelles (probabilité : 70%)
- Les rendements des cellules photovoltaïques organiques sont passés à 20% en moyenne (environ le triple de ce qui est fait en 2017) en conditions de production (probabilité : 60%)

La proportion de façades installées avec des films photovoltaïques organiques augmente progressivement jusqu'à atteindre 50% autour de 2030. Celle-ci est aidée par une politique volontariste des pouvoirs publics qui facilitent le développement du photovoltaïque organique, notamment par des subventions pour la recherche et par des aides à l'installation.

Heliatek, acteur historique de ce marché, a rempli en 2028 son objectif de déposer 1 million de m² de film Heliaplast par an. De nouveaux acteurs sont entrés dans le marché de l'électronique imprimée pour le bâtiment intelligent, notamment les fabricants de photovoltaïque conventionnel, comme Canadian Solar.

En 2040, 90% des bâtiments sont équipés de films photovoltaïques organiques. Les écrans imprimés permettent de contrôler en un seul endroit toutes les fonctionnalités du bâtiment.

Probabilité de réalisation : 63%

Scénario 3 – 2030 – L'électronique imprimée et l'électronique conventionnelle cohabitent au sein du bâtiment intelligent

Hypothèses :

- L'électronique imprimée sort des phases de développement et commence à s'être commercialisée (probabilité : 80%)
- L'électronique imprimée améliore ses performances, sans pour autant avoir réussi à supplanter l'électronique conventionnelle en termes de précision (probabilité : 70%)

Après une phase stagnante au milieu des années 2010, les premiers produits fabriqués à grande échelle de l'électronique imprimée arrivent sur le marché autour de 2020. Cela devient un produit banal mais les prix mettent du temps à baisser.

En 2027, l'électronique imprimée dans le bâtiment intelligent s'est développée à un niveau industriel et est désormais une alternative possible et crédible à certaines applications de l'électronique conventionnelle.

Ainsi, en 2030, l'électronique imprimée et l'électronique conventionnelle cohabitent chacun dans un domaine du bâtiment intelligent, la grande surface étant réservée à l'imprimé et la précision au conventionnel.

Probabilité de réalisation : 75%.

Conclusion

Selon le rapport du GeSI SMART 2020, les technologies issues du smart building pourraient réduire de 15% en 2020 les émissions de carbone générées par les bâtiments. (29).

Le bâtiment intelligent et l'électronique imprimée sont deux domaines qui, chacun dans leur domaine d'origine, sont parmi les plus innovants. Le bâtiment intelligent se donne comme objet d'améliorer le confort, la sécurité et la gestion de l'énergie des bâtiments en utilisant les nouvelles technologies informatiques et de communication. L'électronique imprimée quant à elle se propose de fabriquer des composants électriques d'une nouvelle manière, plus rapide et permettant de varier les surfaces et les supports.

Ainsi, l'électronique imprimée peut s'adapter au bâtiment intelligent en produisant des composants d'une simplicité relative mais pouvant s'intégrer aisément aux bâtiments. Les composants électroniques conventionnels, utilisant du silicium, restent, et resteront probablement, plus compétitifs sur les composés de haute précision. Cependant, en l'état actuel, peu d'applications sont industrialisées et la plupart est à l'étape de recherche et développement.

Bibliographie et webographie

1. **Anon.** "Bâtiments intelligents et efficacité énergétique". CEA. 14 décembre 2011. Disponible sur : http://www.cea.fr/comprendre/Documents/energies/Dossier-presse-batiments-et-energie_14122011.pdf.
2. **David Martin, Elena Rico and Teodosio del Cano.** "Towards new trends in the Building Integrated Photovoltaic Market: BI-OPV". s.l. : OPE journal, oe-a news, 2015. p. 6. Vol. n°13.
3. **Anon.** *De la maison communicante au bâtiment intelligent*. Commission de régulation de l'énergie. Disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=smarthome-maison-batiment-intelligent> (consulté le 13 février 2017).
4. **Anon.** *Les smart grids : définition*. DRIEE Ile-de-France. 27 mai 2014. Disponible sur : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/les-smart-buildings-definition-a1858.html>.
5. **BLAYO, Anne et PINEAUX, Bernard.** "Printing processes and their potentials for RFID printing". *SOC-EUSAI Proceedings*. 2005. Page 27.
6. **Anon.** "OPV breakthrough on the horizon". OPE journal, 2014, n°6, page 21.
7. **GHIBAUDO, Thomas et HE, Ruoxue.** *Impression 3D & électronique imprimée associées*. CERIG. Mai 2016. disponible sur : <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2016/impimpression3D-electroniqueimprimee.htm>
8. **Anon.** Matériaux. AFELIM. Disponible sur www.afelim.fr/materiaux_39.htm (consulté le 2 mars 2017).
9. **MAZOUIN, Antoine et D'ORTOLI, Jordan.** Encres conductrices à base de cuivre. Mai 2014. Disponible sur : <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2015/encreconductrice-cuivre.htm>.
10. **Chansin, DrGuillaume.** *Printed and Flexible Sensors 2017-2027: Technologies, Players, Forecasts*. IDTechEx, Novembre 2016. Disponible sur : <http://www.idtechex.com/research/reports/printed-and-flexible-sensors-2017-2027-technologies-players-forecasts-000504.asp>.
11. **Anon.** *ISORG and Plastic Logic co-develop the world's first image sensor on plastic*. ISORG. 11 juin 2013. Disponible sur : http://www.isorg.fr/actu/4/isorg-and-plastic-logic-co-develop-the-world-s-first-image-sensor-on-plastic_149.htm
12. **AnderssonErsman, P., Nilsson, D., Kawahara, J., Gustafsson, G., and Berggren, M.** *Fastswitching all-printed organic electrochemical transistors*. 2013.
13. **Anon.** *Integrated printed biosensor platforms*. Acreo. Disponible sur : <https://www.acreo.se/projects/integrated-printed-biosensor-platforms#description> (consulté le 27 février 2017).

Disponiblesur<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2010/impression-photovoltaique.htm>.

15. **Anon.** “*Flexible future for solar energy*”. 2015, OPE journal, n°13, page 6.

16. **Anon.** *Technical data*. Heliatek. Disponible sur : <http://www.heliatek.com/en/heliafilm/technical-data> (consulté le 1er mars 2017).

17. **Anon.** *Printed Sensor Platforms*. Acreo. Disponible sur : <https://www.acreo.se/expertise/printed-sensor-platforms> (consulté le 2 mars 2017).

18. **Anon.** *Le CTP invente un papier peint anti-wifi*. Grenoble Ecobiz. 5 septembre 2011. Disponible sur : http://www.grenobleecobiz.biz/jcms/rec_141371/fr/lectp-invente-un-papier-peint-anti-wifi.

19. **HARSCHE, M., et al.** *Apport de l'analyse des parcours pour la conception de "bâtiment intelligent" centrés utilisateur*. Multicom, 2007. Disponible sur :

http://multicom.imag.fr/multicom.imag.fr/IMG/pdf/batiment_intelligent_et_analyse_de_parcours.pdf

20. **Anon.** *Bâtiments en chiffre 2016*. Fédération française du bâtiment. Disponible sur : http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede_N00/NAT_LES_CHIFFRES_EN_FRANCE_3345/95a39ea5ef4e4b61b9c7b2a4ae9d7bef/EDIT/Batiment-en-chiffre-2016.pdf

21. **Anon.** Le marché des smart buildings. Xerfi. Février 2017. Disponible sur : http://www.xerfi.com/presentationetude/Le-marche-des-smart-buildings_7BAT50 (consulté le 11 mars 2017).

22. **Charles Gautier.** « *QarnotComputing : des radiateurs très calculateurs* ». Figaro.13 octobre 2015. Disponible sur : <http://www.lefigaro.fr/societes/2015/10/13/20005-20151013ARTFIG00016-qarnot-computing-des-radiateurs-tres-calculateurs.php> (consulté en mai 2017)

23. **Anon.** « *Connectedpaper* ». Powercoat. Disponible sur : <http://powercoatpaper.com/> (consulté en avril 2017)

24. **DrKhashaGhaffarzadeh and Dr Harry Zervos.** “*Conductive Ink Markets 2012-2018 Silver & Copper Inks & Pastes – and Beyond*”. IDtechEx.2012. (consultéenavril 2017)

25. **NICOPLAYS.** « *Les différents types de claviers* ». 26 mai 2014. Disponible : <http://error404.fr/les-differents-types-claviers/>(consulté en mai 2017)

26. **Anon.** « *Technologie OLED* » Disponible sur : <http://www.ecranflexible.com/definition-technologie-oled> (consulté en mai 2017)

27. **Michel Kuhm, Thibault Vernadat, Emilie Libessart, Cyril Lorenzetto, Philippe Tran, Syline Khamphousone, Eduardo Leon, Davide Tomatis.** « *Projet Bâtiment Intelligent Auton'Home* ». 2014. Disponible sur : http://fablab.ensimag.fr/images/5/5c/Gr1_cahierdescharges.pdf (consulté en mars 2017)

28. **Anon.** « *Le papier électronique pour camoufler les chars militaires* ».2012. Disponible sur : <http://www.ecranflexible.com/camouflage-militaire-papier-electronique-2011-499.php> (consulté en mai 2017)

29. **Anon.** *#Smartbuilding : forte croissance des objets connectés et des services numériques*. 12 décembre 2013 (mise à jour le 28 avril 2015). Econocom. Disponible sur : <https://blog.econocom.com/blog/smart-building-forte-croissance-du-marche-dici-4-ans/> (consulté en mai 2017)

Annexes.

Acteurs	Pays	Date de création	Applications	Site Internet
Onyx Solar	Espagne		Verre photovoltaïque	http://www.onyxsolar.c
Heliatek	Allemagne	2006	BIOPV bâtiment, véhicule	http://www.heliatek.co
Solliance			Equipement, photovoltaïque, applications solaires	http://solliance.eu/
AGC Solar	Belgique	1961	BIPV, verre photovoltaïque	http://www.agc-solar.c
ISORG	France	2010	Photodiodes organiques, capteurs format large	http://www.isorg.fr/
Ijenko	France		Thermostats, prises électriques et autres capteurs communiquent sans fil	http://www.ijenko.com
Vesta System	France	2011		
BEst domotique	France Luxembourg		Domotique (sécurité, confort, pilotage de la maison, économies d'énergie)	

Annexe 1. Entreprises acteurs des secteurs de l'électronique imprimée et du bâtiment intelligent.

Acteurs	Pays	Date de création	Applications	Site Internet
LGP2	France		Electronique imprimée, photovoltaïque	http://pagora.grenoble-inp.fr/recherche/recherche-laboratoiregenie-des-procedes-papetiers-lgp2--349729.kjsp
CTP	France			http://www.webctp.com/
VTT	Finlande	1942		http://www.vttresearch.com/
Fraunhofer ISE	Allemagne		BIPV	https://www.ise.fraunhofer.de/en.html
IKERLAN S.Coop.	Espagne		Systèmes énergétiques et électriques	http://www.ikerlan.es/en/

Annexe 2. Centres de recherche acteurs des secteurs de l'électronique imprimée et du bâtiment intelligent.

Matériel	Statut	Principaux attributs	Marchés potentiels
Copeaux d'argent (silverflake)	Marché mûr	<i>avantages</i>	Photovoltaïque en silicium, Automobile, test de glucose Bandes, blindage EMI, Membrane de commutation Réchauffeurs d'écran, remplacement
		Écran imprimé, coût compétitif, conductivité réglable, propose souvent Performance adéquate	
		<i>inconvénients</i>	
		Pas d'impression jet d'encre, grande rugosité, Conductivité limitée pour des applications très exigeantes, difficile à photocopie	
Nanoparticules d'argent (silverNanoparticle)	Entrée sur le marché	<i>avantages</i>	Photovoltaïque en silicium, réchauffeurs, remplacement de l'ITO, packaging
		Imprimable en jet d'encre, surface lisse, flexibilité améliorée Par rapport aux copeaux d'argent, conductivité élevée	
		<i>inconvénients</i>	
		Coût élevé, peut avoir une faible adhésion	
Nanotubes d'argent (silvernanowires)	Entrée sur le marché	<i>avantages</i>	Remplacement de l'ITO
		Haute transparence, conductivité élevée, grande souplesse	
		<i>inconvénients</i>	
		Difficile à imprimer en jet d'encre	
Ion d'argent (silver ion)	R&D : entrée sur le marché	<i>avantages</i>	Anti-rélecteurs, miroir décoratif
		Haute luminosité de surface, Conductivité élevée, durcissement rapide	

		<i>inconvenients</i>	
		Pas beaucoup de fournisseurs, la structure des coûts n'est pas claire,	
Nanoparticules de cuivre (coppernanoparticle)	Entrée sur le marché	<i>avantages</i>	PCB, RFID, film PV, capteurs, packaging
		Ne s'oxyde pas	
		<i>inconvenients</i>	
		Coût élevé, faible production, quelques fournisseurs	
Nanoparticules d'oxyde de cuivre (Copper Oxide Nanoparticles)	Entrée sur le marché	<i>avantages</i>	RFID, packaging
		Prix bas	
		<i>inconvenients</i>	
		Conductivité modéré	
Nanoparticules de cuivre revêtu d'argent (Silver-Coated Copper Nanoparticles)	R&D	<i>avantages</i>	
		Potentiellement peu coûteux et conductivité élevée	
		<i>inconvenients</i>	
		Structure optimale de noyau-coquille Sont difficiles à obtenir	
PDOT:PSS	Marché mûr	<i>avantages</i>	Remplacement de l'ITO, conducteur flexible et transparent en OPV
		Flexible et transparent	

		<i>inconvenients</i>	
		une conductivité modérée (Malgré des progrès continus)	
Graphène	R&D : entrée sur le marché	<i>avantages</i>	Remplacement de l'ITO, packaging
		Flexible, haute conductivité, transparent	
		<i>inconvenients</i>	
		La plupart des encres ont conductivité faible noir - essentiellement un pâte de carbone améliorée	
Nanotubes de carbone	R&D : entrée sur le marché	<i>avantages</i>	Remplacement de l'ITO, packaging
		Haute transparence, conductivité élevée, flexibilité	
		<i>inconvenients</i>	
		Difficile à imprimer en jet d'encre, difficile de séparer le semi- conducteur et isolants	

Annexe 3. Encres utilisées en électronique imprimée. Référence : (24)