

Veille technologique

Impact de l'électronique imprimée dans le domaine de l'éclairage

Rapport pour le 25 Mai 2018

2e année - Option ICI

**Encadrants :
DENNEULIN Aurore
ROUIS Jocelyne**

Table des matières

I) Introduction	3
II) A propos.....	4
III) Electronique imprimée : matériaux, encres et supports	7
A) Présentation & définition.....	7
B) Process	Erreur ! Signet non défini.
C) Encres.....	8
D) Support (avec traitement, recuit etc.).....	10
E) Applications.....	11
IV) Application de l'électronique imprimée au service de la manufacture de système d'éclairage.....	12
A) Technologie OLED.....	12
B) Facteurs techniques de développement	15
C) Perspectives d'évolution technologique.....	16
V) Etude de marché et analyse concurrentielle.....	17
A) Caractérisation des marchés.....	17
a) Données économiques	17
b) Données statistiques.....	19
B) Analyse de l'environnement économique	18
C) Mise en place du système, placement des acteurs grâce au diagramme de Porter. 20	
a) Menace des nouveaux entrants	20
D) Identification et analyse de la stratégie des acteurs (pouvoir des clients et des fournisseurs).....	23
VI) Futur et perspectives d'évolution.....	27
A. Variables essentielles & Facteurs clé de développement.....	27
B) Principaux acteurs.....	29
C) Les tendances constatées.....	29
D) Diagnostic stratégique.....	31
E) Scénarios d'évolution de l'électronique imprimée dans l'éclairage sur le marché	33
F) Analyse des risques.....	35
VII) Développement durable	35
VIII) Conclusion	37
Bibliographie.....	38

I) Introduction

Le marché dans le domaine de l'éclairage connaît une croissance constante depuis les années 1960 et jusqu'à aujourd'hui. L'omniprésence de l'éclairage dans les pays développés pour des raisons pratiques, esthétiques ou de loisirs en fait un marché des plus importants et des plus lucratifs. Pour donner un exemple, la consommation en France d'électricité par an est de 40 TWh (en 1999) dont la part la plus importante concerne le résidentiel (25% de la consommation contre seulement 12.5% pour l'industrie) (*d'après l'article d'abadenn led traitant de la Led et du développement durable*). Toutefois, les impacts de ce secteur sur l'environnement ne peuvent plus être ignorés. Près de 15 % de la consommation électrique mondiale est occasionnée par l'éclairage, soit 2 000 millions de tonnes de gaz à effet de serre sont produits chaque année du fait de notre consommation.

Pour lutter contre cette pollution, le marché se développe en faveur de nouvelles technologies plus propres et responsables. Ainsi, les LEDs (Light-Emitted Diode) firent leur apparition dans les magasins autour des années 2000. L'avantage de ce type d'éclairage repose dans sa durée de vie plus importante, une consommation en énergie plus faible aux moyens traditionnels ainsi que l'absence de métaux lourds tels que le mercure ou le plomb dans le dispositif et une absence d'émissions dans les ultraviolets et les infrarouges. Les LEDs remplacent désormais une grande partie de l'éclairage dit "classique" (ex : les ampoules à filaments) énergivore. Une estimation relève une économie de 140 milliards de dollars grâce au passage aux LEDs jusqu'en 2017.

Cependant, les LEDs commencent elles aussi à laisser leur place à une nouvelle technologie, les OLEDs (Organic Light-Emitted Diode). Les OLEDs sont produites à partir de matériaux organiques et peuvent être déposées sur une grande variété de supports 2D et 3D élargissant par conséquent la dimension de l'éclairage dans notre quotidien. Cette capacité d'adaptation de ce produit sur les supports est due au procédé d'impression de celui-ci qui lui offre flexibilité et légèreté.

L'électronique imprimée désigne tout ce qui se fait en terme de circuits imprimés à base d'encre conductrices. Son usage dans l'éclairage constitue aujourd'hui une part majeure de son marché, environ 90 %. De ce fait, le segment des écrans OLED sur le marché de l'électronique imprimée représente 80 % environ et l'éclairage OLED dans les 15 %. (Source : abadenn led, la LED et le développement durable).

Problématique : Comment l'électronique imprimée peut devenir une solution stable et durable dans l'évolution de systèmes d'éclairage, en particulier dans la fabrication d'OLEDs, plus respectueuses de l'environnement et plus économiques ?

II) A propos

A. Objectifs

Il s'agit de définir notre sujet et d'en trouver les limites. Pour cela nous nous sommes posés les questions suivantes qui nous ont semblées les plus pertinentes afin d'englober l'ensemble de ce sujet.

- Quelles sont les différentes technologies de l'électronique imprimée ayant une application dans le domaine de l'éclairage ?
- Quelles sont les méthodes d'impression/couchage/autres utilisés ?
- Quelles sont les entreprises commercialisant ces produits ?
- Dans quels secteurs ces produits sont demandés ?
- Quels sont les performances attendues pour ces technologies ?

Avant de poursuivre, quelques mots sur le développement de l'électronique imprimée dans le secteur de l'éclairage au cours de ces dernières années vous permettront de situer le sujet dans un contexte actuel.

B. Historique

L'électronique imprimée dans le domaine de l'éclairage représente un marché relativement récent et en pleine croissance. Par ailleurs, cette technologie présente de nombreux avantages par rapport à l'éclairage classique (à incandescence, luminescent) qui explique aussi sa percée sur le marché.

Ce sont les LEDs qui furent les premières à être développer puis commercialiser dans les années 1960 sous la forme de diodes. Selon la puissance électrique et la couleur employées, elles sont utilisées essentiellement dans les domaines de l'électroménager (ex : voyants lumineux), de l'automobile (ex : tableaux de bord de voiture) et de la signalisation

routière (feux tricolores, bords de route). Les diodes blanches dotées d'une puissance élevée sont particulièrement prisées pour l'éclairage.

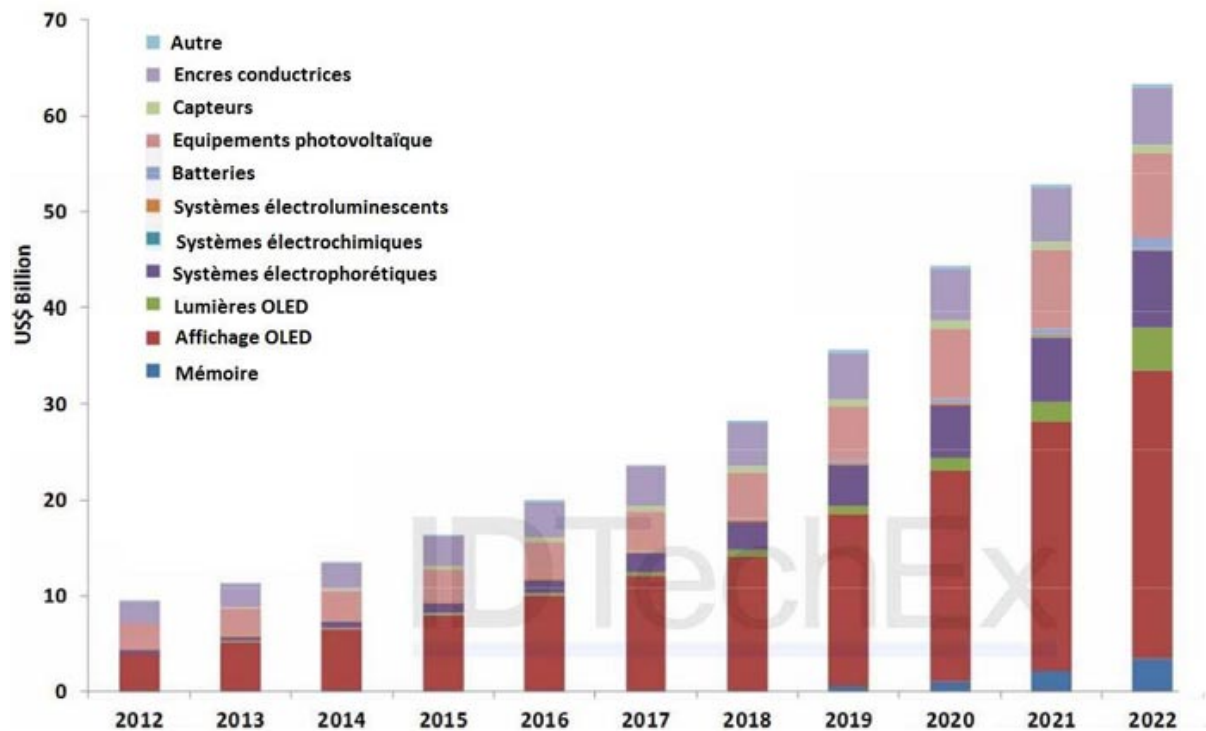
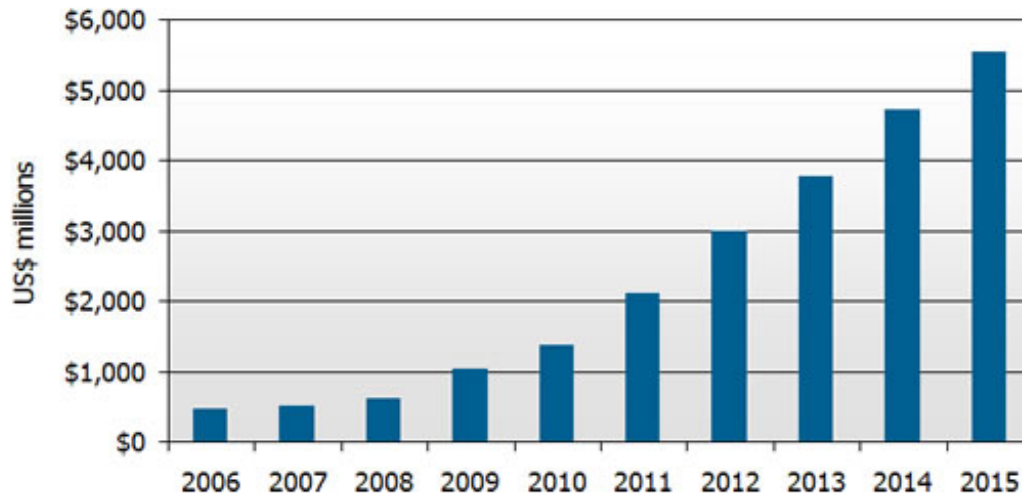


Figure 1 - Prévion de l'évolution du marché de l'électronique imprimée

Source : IDTechTex (2016)

On peut voir sur ce graphe l'importance qu'à pris le marché de l'électronique imprimée dans sa globalité ces dernières années et les prévisions faites pour ces prochaines années. On peut également remarquer que l'affichage OLED a toujours été un domaine de prédilection pour l'électronique imprimée et devrait atteindre presque la moitié des parts de marché de l'électronique imprimée d'ici 2022. On note aussi l'apparition de lumières OLEDs comme un secteur prometteur. La technologie des OLEDs (Organic Light Emitting Diodes) est arrivée bien plus tard et désigne des **diodes électroluminescentes** dont le composé organique est capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est soumis à un courant. Les premières recherches sur le sujet ont été effectuées dans les années 1950 par le français André Bernanose mais la première diode conçue arriva seulement dans les années 1980 par la compagnie Eastman Kodak, qui déposa un brevet en 1987. Un prix Nobel a été décerné dans le domaine de la chimie en 2000 pour la découverte et le développement de polymères conducteurs. Cette technologie fut enfin commercialisée en 1997 et reste en cours de développement aujourd'hui.

Le marché des OLEDs augmente régulièrement depuis 2008 et est prévu un dépassement de 5 milliards de dollars en 2015. (cf. Document 2). On peut voir ci-dessous que les prévisions faites en 2009 et 2016 s'accordent, même si les unités ne sont pas les mêmes, la tendance générale si.



Global OLED TV shipments
(millions of units, IHS)

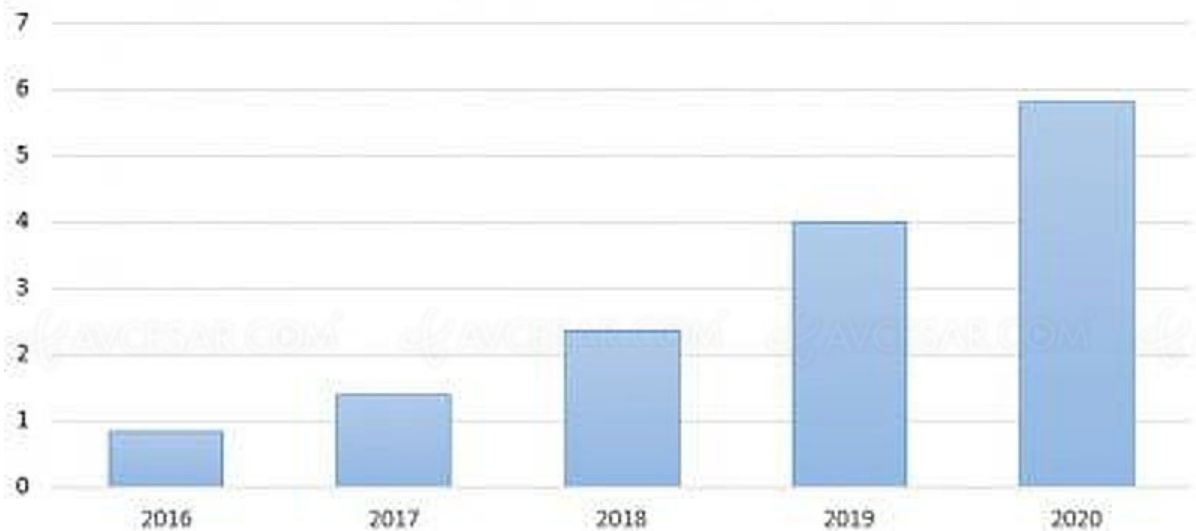


Figure 2 - Croissance prévue du marché des OLEDs à matrice active (AM-OLED utilisé pour les téléviseurs) en 2009 et 2016

Source : IHS Markit Technology

III) Electronique imprimée : matériaux, encres et supports

A. Présentation & définition

C'est aux alentours des années 2000 que se développe l'électronique imprimée avec la réalisation de composants électroniques simples utilisant des procédés d'impression classiques. Ces avancées deviennent prometteuses aux alentours de 2010 avec l'application de cette technologies dans des domaines communs (télévisions fonctionnelles, téléphones, etc...). Cette nouvelle technologie permet alors la fonctionnalisation de surfaces ainsi que l'implantation de l'électronique dans des produits à faible coût.

L'électronique imprimée apparaît alors comme une technologie prometteuse avec des composants minces, légers, flexibles et produits à faible coût.

Le chiffre d'affaire de l'électronique imprimée était de 3 millions de dollars en 2008, de 9.4 milliards en 2012 et est estimé à 89 milliards de dollars d'ici 2020. De plus, d'après l'AFELIM (Association Française de l'Électronique Imprimée) c'est 300 chercheurs, qui travailleraient en lien avec le secteur de l'électronique imprimée en France.

B. Procédé

L'impression de couches conductrices pour produire des composants électroniques présente de nombreux avantages tels qu'une augmentation du volume de produits, une baisse des coûts de production, une théorie simple, une réduction drastique du nombre d'étapes de fabrication et du prix des équipements.

L'héliogravure, l'offset, la flexographie, la sérigraphie et le jet d'encre sont des procédés qui peuvent être utilisés en électronique imprimée mais ils n'y ont pas tous la même pertinence.

PROCÉDÉS	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Flexographie	Vitesse importante (en roll to roll)	Halo autour de l'imprimé
Héliogravure	Répétabilité Épaisseur de film importante Moins de formes imprimantes Vitesse d'impression élevée	Coûts élevé d'impression mais reste inférieur à celui de méthodes classiques pour les OLEDs
Sérigraphie	Épaisseur de film importante (>10µm)	Vitesse d'impression moindre aux autres procédés

Offset	Offset waterless possible (pratique car OLED sensible à l'eau)	Encres peu ou pas compatibles pour l'impression de couches conductrices
Jet d'encre	Toutes sortes de supports (Tailles allant jusqu'à 2400 mm * 2400 mm) Pas de dégradations physiques avec les supports (hors-contact) Sans contact	-Exigence formulation encres -Faibles épaisseurs (de l'ordre de 0.1µm)

Tableau 1- Comparatifs des différents procédés d'impression dans le cadre de l'électronique imprimée

Dans notre cas, pour l'impression d'OLEDs, c'est le procédé de flexographie qui est le plus utilisé de par la possibilité d'imprimer sur support souple avec une épaisseur d'encre suffisante. De plus, le procédé de flexographie en roll to roll permet une vitesse importante de production, ce qui est très prometteur pour mettre en place une production soutenue et rapide. Cependant le Jet d'encre s'avère être également prometteur permettant d'imprimer avec un large éventail d'encres (organique, métallique, à base de carbone) en proposant un faible coût, une faible consommation d'encre, et un fonctionnement sans contact.

C. Encres

Les encres conductrices en électronique imprimé se caractérisent par leur capacité à être traversées par un courant électrique. Dans ce domaine, deux familles existent : l'encre à base de polymères organiques qui est semi-conductrice et l'encre à base de particules métalliques qui est conductrice.

Matériau actif	Particules ou polymères conducteurs	% à optimiser suivant l'application
Véhicule	Solvants / diluants	Propriétés compatibles avec l'application
Additifs	Dispersants, additifs rhéologiques	Propriétés compatibles avec l'application

Tableau 2 - Composition typiques des encres conductrices

Les encres organiques peuvent être composées de petites molécules ou de polymères comme illustré sur l'image suivante présentant quelques exemples de ces molécules :

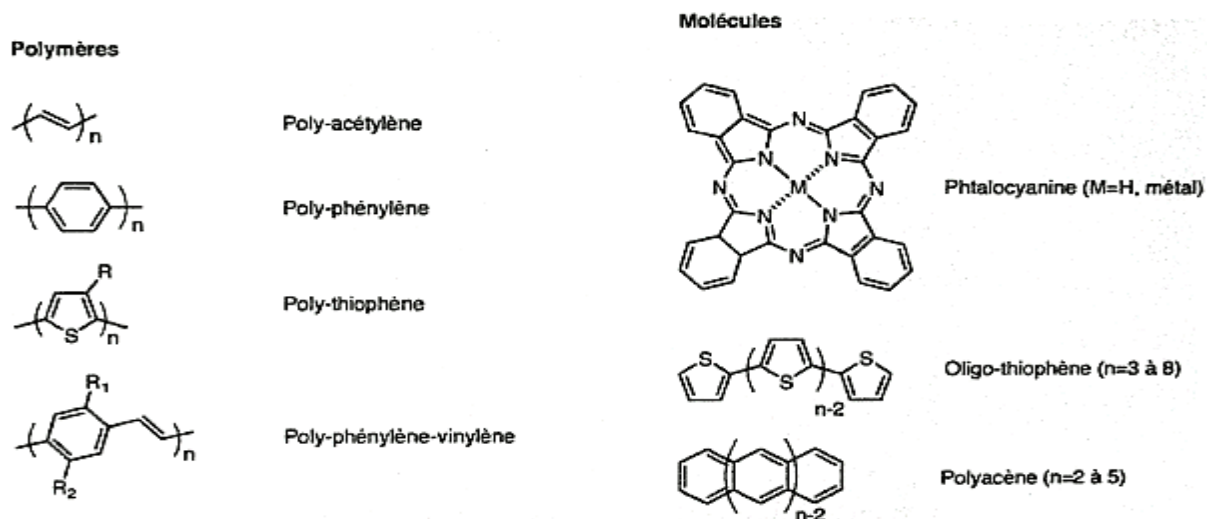


Figure 3 - présentation de quelques molécules utilisées dans les encres organiques

Source : Cerig, Encres conductrices à base de cuivre (2014)

La conductivité de ces encres est moindre que celle de l'encre à pigments métalliques : pour certains de ces polymères, elle peut tout de même atteindre 104 à 105 S/cm ce qui est comparable à certains métaux.

Les métaux sont présents dans l'encre sous forme de microparticules ou de nanoparticules sphériques, tubulaires, planes... Ces paramètres, dont dépend la surface spécifique des particules, ont de l'influence sur les performances de conductivité de l'encre. Ces encres ont une conductivité supérieure à celle des encres inorganiques comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Métal	Conductivité (S/m)
Argent (Ag)	$62,5 \cdot 10^6$
Or (Au)	$41,6 \cdot 10^6$
Cuivre (Cu)	$58,8 \cdot 10^6$
Nickel (Ni)	$14,5 \cdot 10^6$
Platine (Pt)	$9,4 \cdot 10^6$
Palladium (Pd)	$9,3 \cdot 10^6$

Tableau 3 - Conductivité des métaux les plus utilisés

Source : Cerig, Encres conductrices à base de cuivre (2014)

Malgré leur conductivité les encres métalliques possèdent un prix important (438\$/kg pour des nanoparticules de cuivre jusqu'à 4970\$/kg pour des nanoparticules de carbone). De plus la conductivité des films imprimés avec des particules métalliques, même lorsque la percolation est atteinte, reste limitée. Ceci est dû au fait que les zones de contact entre les particules sont nombreuses mais faibles en surface.

D. Support (avec traitement, recuit etc..)

L'avantage de l'électronique imprimée réside dans le fait que l'impression peut se faire sur pratiquement tout type de support en allant du simple papier jusqu'aux matériaux plastiques et métalliques.

Le support d'impression doit donc être choisi de manière à résister à l'étape de frittage ; nécessaire pour améliorer la conductivité des encres et qui consiste à amener les particules métalliques au point de fusion pour permettre leur coalescence. Le support doit alors pouvoir résister à une certaine température correspondant à la température de fusion de la particule utilisée dans l'encre (ce qui peut poser problème pour les supports cellulosiques)

Métal	Argent (Ag)	Or (Au)	Cuivre (Cu)	Nickel (Ni)
Conductivité (S/m)	62,5 .10 ⁶	41,6 .10 ⁶	58,8 .10 ⁶	14,5 .10 ⁶
Prix matériau (€/tonne)	534 000	30 322 000	4 800	14 000
Température de fusion des nanoparticules (°C)	11 nm → 200 20 nm → 300 30 nm → 350	5 nm → 500 - 600	40 nm → 200 50 nm → 400	10 - 90 nm → 900
Température de fusion du métal (°C)	961	1063	1085	1455
Migration	Oui	Non	Non	
Oxydation	Non	Non	Oui	

Tableau 4 - Récapitulatif des avantages et inconvénients des différents métaux

Une autre caractéristique de ce type de support réside dans sa flexibilité qui permet d'élargir le domaine d'applications de l'électronique imprimé aux objets 3D. Cette flexibilité est la caractéristique qui permet à ces produits (comme l'OLED) de se démarquer de ce qui existe déjà, c'est d'ailleurs pour cela que l'impression est majoritairement sur flexographie, permettant l'impression sur support souple.

E. Applications

Nous verrons au cours de ce rapport les applications liées à l'électronique imprimée au service de l'éclairage (OLED, photovoltaïque, écran, etc...). Cependant, ce n'est pas là le seul domaine où l'électronique imprimée brille. En effet, celle-ci est appliquée à de nombreux domaines, permettant d'imprimer des circuits électriques, des condensateurs, des capteurs, des puces RFID (cartes bancaires, cartes de transports, etc...) mais également des micro-batteries (à faible puissance).

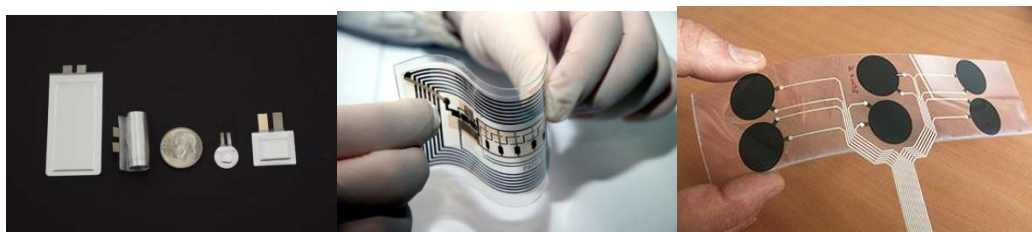


Figure 4 (dans l'ordre) Batterie Solicore Inc, antenne RFID et capteurs tactiles

Ces produits, moins performants actuellement que des batteries classiques (plus puissantes mais encombrantes et non recyclables) ou des antenne RFID non imprimées qui sont plus résistantes et ont une meilleure durée de vie, ont l'avantage de pouvoir être imprimés en grandes quantités à faible coût, d'utiliser des matériaux plus écologiques et d'être compacts, facilitant leur intégration dans de nombreux domaines.

IV) Application de l'électronique imprimée au service de la manufacture de système d'éclairage

A. Technologie OLED

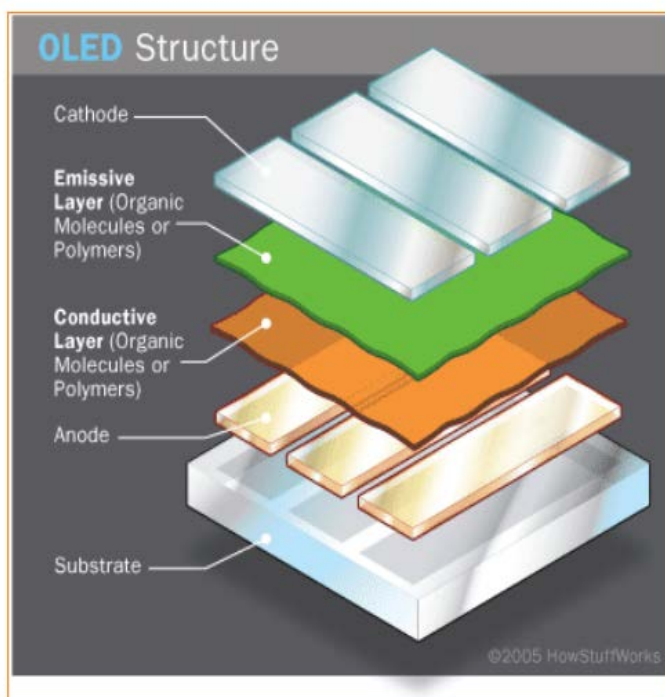


Figure 5 - Structure d'une OLED

Source : Cerig PAGORA

l'émission de lumière issue du composé organique présent dans la cellule.

Pour résumer simplement le fonctionnement interne d'une OLED, les couches minces organiques comportent une couche de transport de trous (HTL), une couche d'émission (EML) et une couche de transport d'électrons (ETL). En appliquant une tension électrique appropriée, les électrons et les trous sont injectés dans la couche EML à partir de la cathode et de l'anode. Les électrons et les trous se combinent dans la couche EML pour former des excitons puis l'électroluminescence apparaît.

Application la plus répandue sur le marché de l'électronique imprimé dans le domaine de l'éclairage, les OLEDs (Organic Light-Emitting Diode) désignent des diodes électroluminescentes dont le composé organique est capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est soumis à un courant.

Une cellule OLED se compose de plusieurs couches organiques superposées et disposée entre une anode transparente pour laisser passer la lumière et une cathode métallique permettant ainsi le passage du courant électrique nécessaire à

Ainsi les paramètres fondamentaux qui déterminent les performances et l'efficacité du composant OLED sont les matériaux de transfert de charges, la couche d'émission et le choix des électrodes.

Le dépôt du composé organique ainsi que la cathode peut être effectué grâce à des impressions en héliogravure ou en sérigraphie. La possibilité d'imprimer les OLEDs en jet d'encre est en cours de développement mais est prometteur.

Les OLEDs appartiennent donc à la famille des sources de lumière à semi-conducteurs, utilisées avec des matières organiques composées de carbone et d'hydrogène pour l'émission de lumière. Durables, ultra plates, légères, sans chaleur, ces sources lumineuses consomment peu et ouvrent la voie à un panel de possibilités de design. Les solutions OLEDs blanches destinées à l'éclairage de grandes surfaces sont de plus en plus performantes.

Les OLEDs possèdent des caractéristiques photovoltaïques, ce qui leur permettent de stocker de l'énergie et de réémettre de l'énergie lumineuse.

Luminance (Candela per square metre)	
Sun	1 600 000 000cd/m ²
LED	50 000 000cd/m ²
Light bulb, matte	150 000cd/m ²
Fluorescent lamp	15 000cd/m ²
Clear sky	10 000cd/m ²
OLED	8300cd/m ²
Flame of a candle	5000cd/m ²
Paper, white at 500lx	100cd/m ²

Light characteristics	
Light bulb	Concentrated light
LED	Punctual light
OLED	Homogenous light surface

Tableau 5 - Caractéristiques lumineuses et luminance de différents illuminants

Source : OPE journal, n°1, 2017

Ces 2 tableaux tirés du journal de l'OPE (Organic and Printed Electronics) n°1 en 2017 nous donne les caractéristiques de l'éclairage OLED par rapport à un éclairage plus classique ainsi que les valeurs de luminance de différents éclairages. On peut voir sur ce tableau que la luminance proposé par la technologie OLED est bien inférieure à celle des technologies utilisées actuellement comme les LED, les ampoules ou les lampes

fluorescentes, il s'agit en effet du principal défaut de cette technologie, l'empêchant de se développer autant qu'elle le devrait.

Autres techniques d'éclairage utilisant l'électronique imprimée mais restant d'intérêt mineur dans cet exposé

Electroluminescence

L'électroluminescence désigne la propriété que possèdent certains corps d'émettre de la lumière sous l'action d'un champ électrique. Comme vu précédemment, cette propriété peut être utilisée pour des diodes mais pas seulement, il existe également d'autres procédés comme par exemple le rétroéclairage ou le balisage utilisant ce phénomène afin de créer de la lumière sur un support à l'aide d'un courant électrique.

Bioluminescence

La bioluminescence est la production et l'émission de lumière via une réaction chimique au cours de laquelle l'énergie chimique est convertie en énergie lumineuse. C'est ce que souhaite utiliser par exemple la société "Glowee" afin de créer des éclairages de décoration. Ce procédé ne propose pas un éclairage puissant. Il est toutefois créé sans le passage d'un courant électrique, ce qui peut se révéler intéressant.



Figure 6 - Image représentant la capacité de l'éclairage bioluminescent en milieu urbain

Source : Glowee

Hybridation d'un support avec LEDs

Cette méthode est la méthode la plus classique. En effet, elle concerne l'hybridation de LEDs classiques avec des supports de natures différentes et peut être réalisée avec l'aide de méthodes propres à l'électronique imprimée.

B. Facteurs techniques de développement

Il est à noter toutefois que ces technologies sont nouvelles et présentent encore quelques défauts, principalement leurs faibles durées de vie, qu'il est nécessaire de corriger avant de pouvoir les utiliser de manière effective dans l'industrie.

Typical values of the MBNL portfolio of technical solutions for barrier coating		
Inorganic coating technology	sALD	PECVD
Water vapour transmission rate [g/m ² /day]	~1E-5	1E-6 – 1E-9
Flexibility (minimum radius on 25µm PET foil) [mm]	1.5	3
Conformality (coating present at negative angle features)	100%	30%
Overall thickness for the typical stack (substrate excluded)	20 to 100nm only inorganic or single stack with organic	Double stack of 100 to 300nm inorganic and 10 to 60µm organic
Deposition rates [nm/s]	> 1	> 10
Typical application	TFE Enhancement of foil	Direct TFE on device

Tableau 6 - Méthodes de protection des OLEDs

Source : OPE journal, n°1, 2017

Par exemple, les supports OLEDs sont très vulnérables à la dégradation (notamment à l'humidité) réduisant considérablement la durée de vie du produit. Pour éviter cela, des "barrières" ont été mises en place appelées "Thin Film Encapsulation" ou TFE, la barrière est constitué de nanocomposite hybride nanoparticulaire de silice (en bref nanocomposite S-

H et MgO). Cette méthode permet ainsi de donner une durée de vie honorable à ces produits. La TFE pose néanmoins quelques problèmes, en effet le film barrière nécessite une faible perméabilité à l'eau et à l'oxygène et doit être déposé à basse température ainsi que durer toute la vie de l'appareil OLED, typiquement plus de 10.000 heures. 2 solutions ont été trouvées : La méthode "spatial Atomic Layer Deposit" et la méthode "Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition". Ces 2 méthodes pouvant être utilisées en impression "sheet to sheets" ou "roll to roll" selon les besoins du client. On peut observer un descriptif rapide de ces 2 méthodes dans le tableau ci-dessus tiré également de l'OPE journal.

C. Perspectives d'évolution technologique

Le tableau 7 ci-dessous est le condensé des caractéristiques qui sont requises pour fabriquer certains produits. Par conséquent, d'après ce tableau et les données indiquées dans la figure 4, les OLEDs ont les propriétés nécessaires pour s'implanter dans ces domaines. Cependant comme on vient de la voir, la technologie OLED nécessite encore certaines améliorations et développements avant de pouvoir remplacer totalement les écrans LCD (un secteur où les écrans OLEDs sont maintenant déjà bien implantés).

Market	Brightness (cd/m ²)	Size (cm ²)	Lifetime (h)	Efficiency (lm/W)
Decorative lighting	50-500	10-100	10.000	10-15
Automotive applications	50-2000	5-50	10.000	10-20
LCD backlighting	2.000-4.000	10-200	10.000	25-50
Emergency lighting	300-500	300	25.000	25-35
Large area illumination	1.000	>1.000	10.000	35-50
General illumination	5.000	5000	10.000	50-100

Tableau 7 - Caractéristiques requises pour différents produits

D. Acteurs économiques

	DESCRIPTIF TECHNIQUE	PROCÉDÉS	APPLICATIONS	ACTEURS
TECHNOLOGIES				
OLEDs	Diodes électroluminescentes dont le composé organique est capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est soumis à un courant.	Héliogravure Sérigraphie Jet d'encre en développement	Décoration Automobile Ecrans Eclairage Santé Transport Textile	Kodak, NTH degree, Sony
LEDs	Hybridation de LED classiques dans de différents supports à l'aide de technologies d'électronique imprimée	Flexographie Héliogravure	Eclairage Décoration	NTH Lights, Nichia, Osram, Samsung LED, Seoul Semiconductor, Lumileds, Cree, LG Innotel
OPV/Photovoltaïque	impression sur une pellicule plastique souple, afin de disposer de modules photovoltaïques producteurs d'énergie écologiques et sur mesure	Flexographie jet d'encre	Récupération d'énergie par absorption de photons Production électrique domestique	
PHÉNOMÈNES LUMINESCENTS				
	DESCRIPTIF TECHNIQUE		APPLICATIONS	ACTEURS

Bioluminescence	Production et émission de lumière via une réaction chimique au cours de laquelle l'énergie chimique est convertie en énergie lumineuse	Décoration	Glowee
Electroluminescence	Propriété de certains corps d'émettre de la lumière sous l'action d'un champ électrique		
Encres conductrices	Pour certaines technologies, des encres spécifiques sont nécessaires, des encres capables de conduire le courant électrique		Genes'ink

Tableau 8 - Récapitulatif des acteurs du marché

V) Etude de marché et analyse concurrentielle

A. Caractérisation des marchés

1. Données économiques

Si l'on se concentre sur la technologie LED, les marchés sur lesquels se basent cette technologie - à savoir le téléphone mobile, les tablettes, les télévisions et les lampes - ont connu une explosion en 2002 pour le téléphone, en 2008 pour les tablettes et en 2009 pour les télévisions. Par la suite, le marché des LEDs s'est vu décliné avec l'augmentation des performances dans le domaine de l'électronique et la diminution des prix unitaires de ce type de produits. Cela implique que ce type d'éclairage, encore relativement récent sur ce marché, doit être encore développer pour que son évolution sur le marché se stabilise.

En 2016, l'ADEME relève un chiffre d'affaire de 18,5 milliards d'euros pour le marché de l'éclairage LED et qui s'élèverait à 30 milliards en 2020 dans le monde dont 61 % seraient employés dans le bâtiment.

Selon une étude de l'IMS Research dévoilé lors du Forum LED 2012, les ventes dans le domaine de l'éclairage atteindront les 9 milliards dans le monde en 2020. Les LEDs constituent entre 2 à 3 milliards de ce total. Cependant, Philips donne un point de vue différent et prévoit une pénétration des LEDs encore plus rapide.

2. Données statistiques

En 2011, les sept sociétés leader du marché LED (Nichia, Osram, Samsung LED, Seoul Semiconductor, Lumileds, Cree et LG Innotel) constituent plus de 50 % du chiffre d'affaire du secteur. A noter que 25% de ce chiffre d'affaire sont issues des LEDs. Toutefois, le taux de pénétration des LEDs reste faible pour les petites et moyennes entreprises. Ces informations indiquent un fait important concernant la possible évolution de cette technologie sur la marché. En effet, il s'agit pour les entreprises d'avoir les moyens financiers pour investir dans cette technologie et la développer, sans mettre en danger l'avenir de l'entreprise.

Selon l'étude effectuée par IMS Research citée précédemment, la pénétration des LEDs devraient atteindre 70 % du marché de l'éclairage général en 2020 d'après Jan Denneman , Vice-président du Développement durable et des normes industrielles chez Philips.

B. Analyse de l'environnement économique

L'étude PESTEL fait l'état de l'art économique pour une localisation géographique d'une industrie ou d'un secteur en particulier. L'analyse de l'éclairage et en particulier de l'électronique imprimée est le sujet principal. Cette analyse permet de déterminer les tendances actuelles, les points d'inflexion et les signes avant-coureurs des tendances à venir. Le tableau présenté ci-dessous présente l'analyse PESTEL en France pour l'électronique imprimée appliqué au domaine de l'éclairage.

Politique	Économique
<ul style="list-style-type: none"> - Entreprenariat et recherche encouragées en France - Pas de taxes supplémentaires sur l'industrie de reproduction - Développement et production pour exportation (ISORG à Limoges) - Climat propice à l'innovation avec plateformes de recherches (CEA de Grenoble) 	<ul style="list-style-type: none"> - Produits de haute qualité à destination de pays développés (électronique imprimée) & reproduction peu chère, publications, éditions - Pouvoir d'achat suffisant pour l'achats de produits de qualité en France - marché de l'électronique imprimée en plein essor - Intérêt de plusieurs grandes entreprises (JCDecaux, Banque de France)

Social	Technologique
<ul style="list-style-type: none"> - Climat favorable à l'emploi, main d'oeuvre disponible 	<ul style="list-style-type: none"> - Fort capital d'investissement en R&D (ISORG, ArjoWiggins) - Croissance du nombre de brevets déposés en électronique imprimée
Environnemental (Écologique)	Légal
<ul style="list-style-type: none"> - Décret environnemental sur la consommation électrique - Analyse du cycle de vie des produits & matériaux - Recyclage stricte 	<ul style="list-style-type: none"> - Normes en vigueur et législation sur l'éclairage - Protection des brevets à l'échelle mondiale

Tableau 9 - Analyse PESTEL

Tel que nous pouvons le voir sur l'analyse Pestel ci-dessus (cf. Tableau 9), le développement de l'électronique imprimée se déroule dans un contexte géopolitique, économique et social favorable. Cependant, l'investissement à réaliser pour progresser dans notre connaissance de cette technologie reste important et peut représenter un facteur macro-environnemental limitant. Quant à la section *Environnemental* de cette analyse, elle présente à la fois un aspect négatif avec les décrets environnementaux et la réglementation pour le recyclage, et un aspect positif dans le sens où l'électronique imprimée est boosté par la politique environnementale européenne.

Le climat de l'innovation en France a souffert d'un manque de dynamisme après le début des années 2000. Malgré ce manque de développement et d'innovation, l'électronique imprimée a su se démarquer et se développer légèrement. Ainsi le nombre d'industriels implantés dans le marché n'a cessé de croître. Les plus gros groupes ouvrent des branches au sein même de leur entreprise mais de toutes nouvelles structures voient le jour. Il est ainsi possible, dans le panel d'entreprises travaillant aujourd'hui sur l'électronique imprimée, de voir des petites Start-Up aux grands groupes industriels mondiaux. En se focalisant sur le domaine de l'éclairage, il est possible de remarquer que très peu d'entreprises se concentrent exclusivement sur ce marché. De très grands groupes comme Philips ou LG développent dans leurs laboratoires de recherches de la technologie OLEDs pour l'adapter à leurs téléviseurs par exemple.

Pour en revenir à l'analyse PESTEL, le changement de mentalité pour l'électronique imprimée a été long à se mettre en place mais il s'agit désormais de la tendance actuelle puisque de forts investissements ont été faits pour développer ces technologies. On peut prendre l'exemple du Français ISORG qui a su se développer dans le domaine des OLEDs jusqu'à signer un contrat de 150 millions d'euros avec un constructeur de téléphones portables chinois. La tendance actuelle est donc au développement industriel de cette technologie. Par ailleurs, d'anciens acteurs d'autres secteurs se tournent vers l'éclairage et l'électronique imprimée comme par exemple la Banque de France ou JCDecaux qui souhaitent respectivement améliorer la traçabilité et l'authentification des billets de banque et développer un affichage papier adaptatif.

C. Mise en place du système, placement des acteurs grâce au diagramme de Porter

1. Menace des nouveaux entrants

Barrières Financières

Dans l'analyse PESTEL (cf. Tableau 1), il a été vu que l'électronique imprimée dans le secteur de l'éclairage nécessitait un fort capital d'investissement de la part des entreprises pour se procurer les équipements adéquats et démarrer l'activité à l'échelle industrielle. Basée sur cette information, le développement de ce type de dispositif d'éclairage via les impressions conventionnelles et numériques pourrait représenter une barrière financière.

D'autres coûts doivent être pris en compte. Par exemple, une main d'œuvre hautement qualifiée est requise pour développer les produits. Cela suppose donc de payer des salaires élevés.

En outre, les coûts de transfert liés au changement de marché, i.e. lorsqu'une entreprise passe d'un marché à un autre en changeant de secteur d'activité, peuvent constituer un frein financier. Ainsi, plusieurs grands groupes (Philips, LG, Lenovo, Samsung, etc...) investissent dans ce domaine ce qui leur évite de payer des coûts fixes de transfert de marché. Cela signifie qu'ils restent sur leurs secteurs d'activité principale tout en se développant sur le marché ouvert de l'éclairage.

Barrières commerciales

Il faut prendre en compte les barrières commerciales liées à la distribution des produits finis et surtout à la réputation de l'entreprise. Dans un premier cas, les systèmes d'éclairage imprimés livrés au distributeur seront mis sur le marché à la disposition des particuliers et des professionnels.

La plupart des produits finis remplaceront les ampoules conventionnelles, les ampoules LEDs et les halogènes au fur et à mesure du temps. Il ne devrait donc pas y avoir de problèmes de distribution puisque celle-ci devrait s'opérer comme une distribution de produits du quotidien directement en magasin pour le consommateur. La demande a de très grande chance d'être croissante.

Dans le deuxième cas, le nom et le rayonnement d'une entreprise peut influencer les ventes. C'est pourquoi il est difficile pour une nouvelle entreprise de vendre directement ses produits. Elle doit tout d'abord se faire un nom en proposant par exemple des produits de bonne qualité. Un des moyens pour palier ce problème passe par les accords avec les fournisseurs et l'obtention de certifications environnementales sur le procédé pour former le produit fini. L'utilisation du rayonnement du fournisseur permet alors de montrer la confiance avec laquelle on peut acheter un produit.

Barrières de compétences

La recherche et le développement des techniques d'impression d'éléments électroniques requièrent de bonnes connaissances dans les domaines de l'électronique, de l'imprimerie, de la physique lumineuse, de la colorimétrie, etc. De plus, ces techniques étant relativement récentes, il est compliqué de recruter et de former du personnel pour mener à bien ces recherches et les adapter à la production industrielle.

2. Menace de substituts

Les ampoules à incandescence sont désormais interdites en Europe du fait de leur consommation en énergie élevée, laissant la place aux ampoules fluocompactes (LFC), aux ampoules halogènes et aux LEDs. Plus chères à l'achat, elles ont le mérite d'être plus économes en énergie et possède une durée de vie plus longue. Pour comparer plus aisément ces différents articles, une recherche statistique a été réalisée par le biais du site *HydroQuébec*. Le résultat est visible dans la figure ci-dessous (cf. Figure 1).



Figure 7 - Tableau comparatif de différents types d'ampoule selon HydroQuébec

Au regard des données observables sur la Figure 7, l'ampoule LED remporte haut la main sur les dispositifs d'éclairage traditionnels, que ce soit en terme de consommation énergétique à l'année, de coût ou de durée de vie. Concernant la puissance délivrée par les ampoules LFC et LED, l'ADEME mets en garde. En effet, il est conseillé de choisir l'ampoule en fonction de son flux lumineux et non plus en fonction de sa puissance, la quantité de lumière n'augmentant pas proportionnellement avec la puissance délivrée pour ces types d'ampoules. Ainsi, le fait que la puissance délivrée par une LED soit inférieure à celle des autres ampoules ne renseignent pas sur la qualité de l'éclairage.

Le flux lumineux est un indicateur de l'efficacité du composant à convertir l'électricité en lumière. Il s'exprime en Lumen / Watt. Le tableau suivant permet de comparer les différents substituts de la lampe LED en fonction de leur qualité d'éclairage.

Type de lampes	Lampes à incandescence	Lampes halogènes	Lampes fluocompactes	Lampes LED	OLED
Rendement lumineux (Lumen/Watt)	15	25	60	80 - 100	30 (record porté à 128 lm/watt)

Tableau 10 - Tableau comparatif des rendements lumineux des différents types d'ampoule selon AddisLighting

La commission européenne estime qu'une LED permet de faire une économie de 115 € sur sa durée de vie. Cette technologie pourrait réaliser des économies d'énergie pouvant atteindre 70 % par rapport aux ampoules traditionnelles. A l'échelle européenne, son utilisation pourrait diminuer l'énergie consommée par l'éclairage de 20 % d'ici à 2020.

A noter que les lampes halogènes seront prochainement interdites en Europe en septembre 2018. En outre, seules les ampoules LFC et LEDs de classes énergétiques A et B resteront sur le marché. Seules les lampes LFC seraient ainsi capables de concurrencer les LEDs.

Cependant, le positionnement des consommateurs est tout autre. Les consommateurs s'orientent plutôt vers les ampoules halogènes, considérées plus efficaces que les ampoules fluocompactes (LFC) et bien moins chères que les LEDs. Les ampoules halogènes sont également les ampoules les plus vendues en Europe bien qu'elles consomment plus d'électricité. Le prix au moment de l'achat semble impacter beaucoup plus le choix du consommateur que les caractéristiques propres des différents dispositifs d'éclairage.

Comme nous avons pu le constater précédemment, les entreprises de LEDs sont relativement bien situées dans le marché de l'éclairage. Selon LEDInside, les États-Unis et l'Inde représentent les deux principaux moteurs de croissance pour 2016 concernant les LEDs. Cependant, la diminution des prix ont incité les fabricants d'ampoules à LED à se focaliser sur les applications professionnelles dans les bureaux, les commerces, l'industrie, les tunnels ou encore l'éclairage public.

D. Identification et analyse de la stratégie des acteurs (pouvoir des clients et des fournisseurs)

Les fournisseurs et les clients sont des acteurs indéniables du secteur. Les fournisseurs de matières premières tel que les fournisseurs de composants électronique comme *Siemens*, *Panasonic*

pour les plus connus, ou *Raystar* et *PlusOpto* proposent tous une gamme de produits très large comprenant tout le nécessaire à la fabrication de produits d'éclairage. La première chose à retenir est le nom de la marque qui a un impact du fournisseur sur l'entreprise qui les achète puis des clients de cette entreprise la vision qu'elle a de ses produits. Un téléviseur OLED de chez Samsung par exemple, aura une meilleure image et se vendra bien mieux qu'un téléviseur de chez *Kateeva* pourtant leader dans la fabrication d'écran de télévision.

De plus, il faut pouvoir vendre ses produits sur un marché, donc avoir une certaine demande sur ce marché. Si le marché comporte peu de clients, alors il ne sera sans doute pas intéressant pour l'entreprise et la moindre concurrence peut être très dangereuse. Dans ce cas, les clients ont du poids et donc du pouvoir.

1. Rôle des pouvoirs publics

Le rôle des pouvoirs public est dans notre cas très limité. En effet, il existe très peu de modération gouvernementale en électronique imprimée. Cependant l'éclairage est réglementé en France avec un certain nombre de règles et de normes en vigueur comme la NF EN 13201 sur l'utilisation des lampes et la réglementation actuelle. Actuellement le gouvernement soutient l'innovation en France dans plusieurs secteurs d'activité, l'éclairage compris. De nombreuses subventions sont donc possible et l'état peut se porter garant pour des financements de gros projets. De plus, en octobre 2017, l'état a soutenu l'initiative de remplacement des ampoules à incandescence par des ampoules LED. Ce projet est intervenu plusieurs années après l'essor et le développement des ampoules LED. On peut donc espérer que le gouvernement dans quelques années procède à la même campagne en distribuant des ampoules OLED.

2. Diagramme de PORTER

Afin de réaliser une analyse concurrentielle, le diagramme de Porter est un excellent outil. Il s'agit d'un outil stratégique et commercial pour analyser l'influence des facteurs extérieurs sur l'entreprise et sur son domaine d'activité stratégique. Cette étude passe par l'étude des cinq acteurs, qui structurent le secteur et ses facteurs clés de succès : les concurrents, les clients, les fournisseurs, les nouveaux entrants et les produits de substitution. Le diagramme de PORTER ci-dessous décrit ainsi le positionnement des différents acteurs vis-à-vis de l'éclairage.

Le diagramme de Porter que nous avons donc réalisé est visible ci-dessous, on peut voir que la concurrence se fait entre l'éclairage dit "conventionnel" d'un côté (lampe à incandescence, halogène, écrans LCD) et la technologie OLED de l'autre. Les clients principaux de cette technologie sont des entreprises leader de l'innovation dans les domaines de l'éclairage et des écrans (Apple, Samsung, Philips). Cependant dû au manque de fournisseur pour cette technologie, certaines de ces entreprises ont même commencé à manufacturer leurs propres écrans OLED pour leurs produits. De plus certains produits se développent également en parallèle de la technologie OLED comme par exemple l'entreprise Glowee qui propose un éclairage (de faible luminosité) à base de bioluminescence qui permettrait de faire de l'éclairage décoratif 100% naturel. Enfin, la législation européenne prévoyant l'interdiction à la vente de lampes halogènes à la fin de 2018 (lampes halogènes qui avaient remplacées les lampes à incandescence) ainsi la technologie OLED pourrait se tailler une part importante dans l'éclairage aux côtés des LEDs classiques.

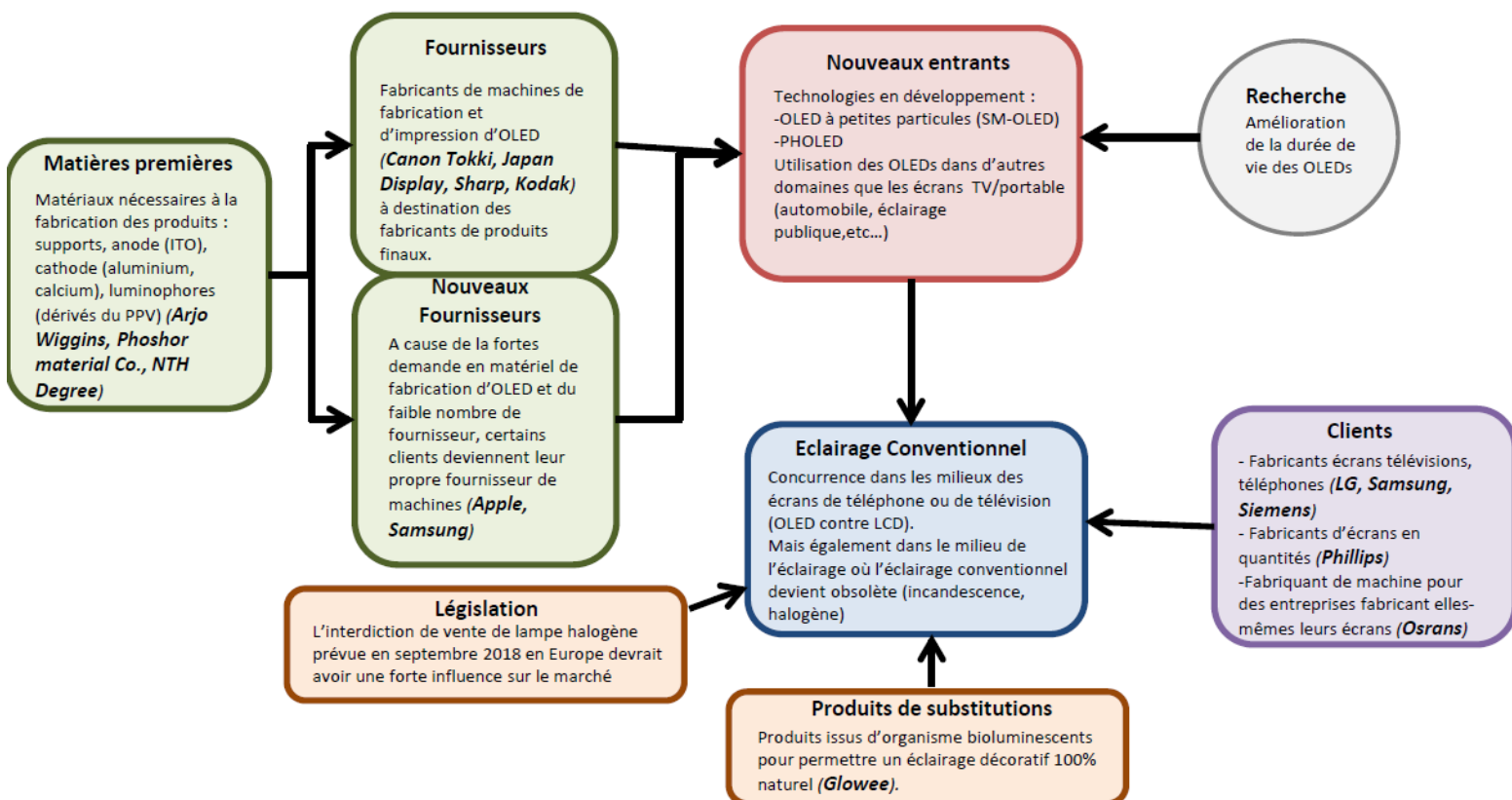


Figure 8 - Diagramme de PORTER

3. Chaîne de valeur de Porter

C'est un outil d'analyse interne des activités spécifiques de l'entreprise visant à identifier celles qui peuvent créer de la valeur et dégager un avantage concurrentiel. Il permet de positionner les activités clés d'une entreprise.

3 catégories d'activités dans une chaîne de valeur : l'activité de soutien, les activités primaires liées à la production et les activités primaires liées à la vente et au client.

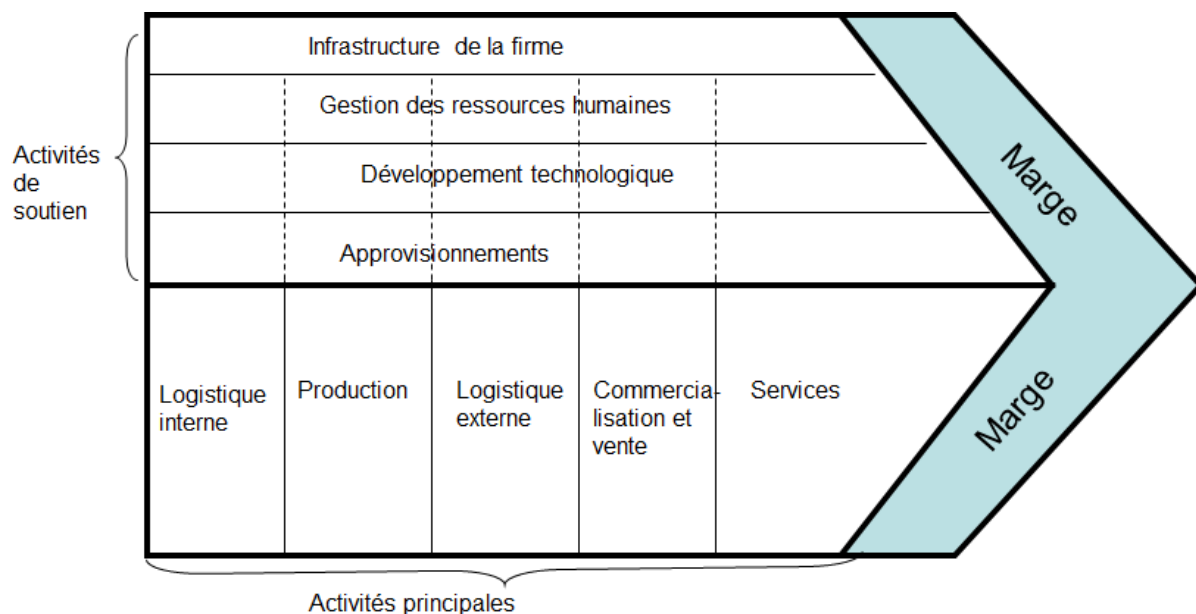


Figure 9 - Schéma explicatif des informations contenues dans une chaîne de valeur de Porter

Il s'agit de construire la chaîne de valeur pour une entreprise lambda imprimant des antennes RFID pour des applications concernant le secteur de l'éclairage. Les rubriques "Infrastructures de la firme" et "gestion des ressources humaines" restent assez générales au fonctionnement d'une entreprise, peu importe son domaine d'activité. Les autres rubriques sont beaucoup plus reliées au sujet.

La rubrique "Développement technologique" est spécifiée ERP, ce qui signifie en anglais *Enterprise Resource Planning*. Il a pour vocation d'homogénéiser le système d'information de l'entreprise avec un outil unique dans un large domaine de gestion. Web-to-print désigne l'ensemble des dispositions Web permettant de relier les imprimeurs avec les acheteurs du produit imprimé. Dans notre cas, le web-to-print semble être la situation la plus probable dans les entreprises de ce secteur.

Direction, comptabilité, service de production, service de recherche & développement				
Formation, gestion des compétences, encadrement du personnel, avantages (primes, etc...)				
ERP - Web - to - print				
E-procurement	Impression des antennes à la demande Manufacture des LEDs	Stockage Transport	E-commerce B to B B to C	Gestion des bases de données Production de LEDs aux produits finis selon l'entreprise

Tableau 11 - Chaîne de valeur de Porter pour l'électronique imprimée dans l'éclairage

Le E-procurement est un processus de gestion électronique des approvisionnements dans les entreprises. De plus, il assimile des processus négociés et développés sur mesure entre le vendeur et l'acheteur. Il propose également des fonctionnalités d'achat sans paiement immédiat, des processus de workflow de validation des commandes et un interfaçage avec les systèmes d'achats internes des clients. La logistique externe comprend le stockage des produits ainsi que leur transport chez le client. La vente à distance Business to Business (B to B) se déroule entre deux entreprises sur un certain marché, et se caractérise par un processus de vente, long et complexe. La vente Business to consumer (B to C) désigne l'ensemble des relations qui unissent les entreprises et les consommateurs finaux. Dans le cas du B to C, les marchandises ou les prestations sont conçues pour le grand public. Les services incluent la gestion de bases de données (ensemble des informations liées aux caractéristiques et dimensions souhaitées de la LED) et la production des produits.

VI) Futur et perspectives d'évolution

A. Variables essentielles & Facteurs clé de développement

Dans le domaine de l'éclairage, on peut mettre en avant plusieurs variables qui influencent le développement et la banalisation des LEDs, des OLEDs et de l'éclairage imprimé.

En premier lieu, nous pouvons citer les mentalités puisque tous les pays et tout le monde ne sont pas sensibilisés à la consommation d'énergie électrique. En effet, un certain nombre d'ampoules halogènes ou à incandescence en France sont encore utilisées chez les particuliers, bien que ces technologies soient énergivores. Cependant, la Commission Européenne ainsi que d'autres gouvernements essaient de faire bouger les choses en imposant au fur et à mesure l'installation de LEDs dans les espaces publics et dans les rayons des supermarchés. La première variable relève donc de la sensibilisation du public par rapport aux technologies LED et OLED.

Dans un second temps, nous pouvons parler plus particulièrement des temps de production, i.e. les temps de production des machines permettant l'impression des éléments électroniques et les temps de production/impression de ces mêmes éléments. Actuellement les machines pour l'impression d'écrans de type LED sont très demandées et l'attente pour la livraison de ces machines est d'environ dix ans. Cela conduit les grands groupes à investir eux-mêmes dans le développement ou l'adaptation de leurs propres machines d'impression et ralentit donc le développement de ces machines d'impression.

Enfin, une dernière variable qui pourrait être limitante concernant le développement de l'éclairage OLED ou actif, peut se retrouver dans les coûts de développement et de recherche associés. Cependant ce dernier point est à nuancer puisque l'utilisation de ce type de dispositif permettrait au client de réaliser des économies sur le long terme malgré un coût à l'achat encore élevé.

Les facteurs sont des variables qui sont fixées et dont on étudie ou mesure différents niveaux afin de mesurer l'impact de cette variable X sur une autre variable de réponse Y.

Un premier facteur réside dans la politique européenne visant à interdire les dispositifs d'éclairage les plus polluants sur le marché. Comme il a été dit un peu plus haut, les lampes à incandescence ont déjà été interdites sur le marché et les lampes halogènes le seront également en fin 2018. Ces mesures effectuées par la Commission Européenne ont ainsi un impact direct sur les ventes des différents dispositifs produits dans le secteur de l'éclairage.

En outre, les divers avantages apportés par les technologies LED et OLED peuvent être considérés comme des facteurs car elles peuvent influencer le choix du consommateur à l'achat. Par exemple, les LEDs possèdent une durée de vie et un rendement lumineux très

supérieurs à ceux des autres technologies. Cela permet de réaliser des économies d'énergie qui peuvent influencer positivement l'utilisateur au moment de l'achat. De plus, les OLEDs ont l'avantage de pouvoir utiliser une grande variété de supports, dont des supports flexibles, en 2D ou en 3D. Cette capacité à s'adapter à un large spectre de supports différents élargit le nombre d'applications possibles et peut donc impacter les ventes de ce type de produits.

B. Principaux acteurs

Les principaux acteurs peuvent être des entreprises spécialisées (ex : *Kateeva* avec la fabrication d'écrans OLED pour des télévisions), des entreprises du secteur de l'électronique qui se seraient développer dans l'impression électronique en utilisant par exemple des matériaux organiques (ex : les OLEDs). De ce côté là, nous pouvons citer des entreprises mondiales telles que Samsung, Siemens, Philips, etc.

Entreprises Spécialisées	Entreprises développant son activité
Kateeva - Écran de Téléviseurs OLEDs	Samsung - Multimedia
Glowee - Bioluminescence	LG - Multimédia
Lumileds - Impression de LEDs	Siemens - Multimédia
NTH Degree - Production d'OLEDs	Panasonic - Multimédia

Tableau 12 - Listes des entreprises spécialisées ou en cours de développement dans l'éclairage en électronique imprimée

C. Les tendances constatées

Les tendances constatées dans le cadre de notre sujet s'orientent selon différents axes : l'écologie, l'économie et l'innovation. La Commission Européenne dirige une politique allant vers la diminution du nombre de dispositifs d'éclairage énergivores. Déjà les lampes à

incandescence ont été retirées du marché, et bientôt les lampes halogènes suivront cette même voie. La tendance est donc pour des dispositifs plus respectueux de l'environnement tels que les lampes fluocompactes et les LEDs, y compris les OLEDs. On rappelle toutefois que les halogènes conservent actuellement la première place en tant que dispositif le plus vendu.

Au vu des chiffres sur le tableau 13, nous remarquons que l'ampoule LED possède l'avantage de consommer peu et d'avoir une durée de vie relativement longue en comparaison des substituts qui se font sur le marché de l'éclairage. Par ailleurs, leur rendement lumineux est nettement supérieur à celui de la concurrence. Celui des OLEDs en contrepartie se situent entre le rendement lumineux des lampes dites halogène et celui des lampes fluocompactes avec 30 lm/W (cf. tableau 2). Cela permettrait au consommateur de mieux s'éclairer, tout en payant moins.

Type de lampes	Lampes à incandescence	Lampes halogènes	Lampes fluocompactes	Lampes LED	OLED
Rendement lumineux	15 Lumen/Watt	25 Lumen/Watt	60 Lumen/Watt	80 - 100 Lumen/Watt	30 Lumen/watt (record porté à 128lm/watt)

Tableau 13 - Tableau comparatif des rendements lumineux des différents types d'ampoule selon AddisLighting

D'un autre côté, le secteur de l'électronique imprimée dans l'éclairage étant un secteur en plein développement, de nombreuses innovations sont attendues. Ainsi, les LEDs sont en bonne voie pour atteindre un rendement lumineux plus important avec un objectif de 300 lm/W. Les OLEDs sont actuellement développées pour être intégrées dans des produits dits "grands écrans" comme les télévisions, remplaçant par conséquent les technologies LCD et LEDs. En outre, l'OLED présente de meilleures contrastes et une luminosité supérieure ainsi qu'une épaisseur moindre du fait d'une quantité de composants nécessaire plus faible à incorporer dans le produit final. Ajouté à cela, la possibilité de travailler sur un support flexible pour y intégrer un dispositif lumineux telle que l'OLED, est un avantage majeur car désormais l'éclairage peut connaître un nouveau tournant. Le nombre d'applications explose et cet éclairage intéresse d'autant plus les entreprises, que les possibilités d'innover de nouveaux produits est grande.

D. Diagnostic stratégique

Une matrice SWOT est un outil de stratégie d'entreprise permettant d'analyser un domaine d'activité stratégique et de visualiser les attributs d'un sujet. Dans notre cas, la matrice présentée ci-dessous met en avant les attributs de l'éclairage imprimé avec en particulier l'utilisation des OLEDs. (Matrice SWOT page suivante)

FORCES (Strength)	FAIBLESSES (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ● Longue durée de vie ● Flux lumineux élevé ● Peu énergivore ● Economique ● Soutenu par la politique européenne ● Flexibilité et capacité d'adaptation des OLEDs aux supports 	<ul style="list-style-type: none"> ● Prix plus élevé à l'achat ● Marché encore en développement ● Investissement financier nécessaire élevé ● Taux de pénétration faible des petites sociétés
OPPORTUNITÉS (Opportunities)	MENACES (Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ● La politique européenne agit en faveur de ce marché en interdisant les alternatives d'éclairage les plus énergivores. ● Des recherches sont effectuées pour améliorer le rendement lumineux des LEDs (jusqu'à 300 lm/W), ce qui élargirait le champs des applications possibles. ● Les recherches pour imprimer des OLEDs en jet d'encre sont très prometteuses et amélioreraient les cadences d'impression et la personnalisation des produits. ● Les produits dits "grand écran" pourraient être fabriqués avec la technologie OLED, remplaçant celle des LEDs. 	<p>La diminution des prix pousse certains fabricants à réduire leur portfolio.</p> <p>Le risque est important pour les petites sociétés car l'investissement financier dans ce marché est élevé.</p>

Tableau 14 - Analyse matrice SWOT du développement des OLEDs dans le domaine de l'éclairage

E. Scénarios d'évolution de l'électronique imprimée dans l'éclairage sur le marché

Scénario n°1 : Développement des LEDs et OLEDs sur le marché de l'éclairage public et privé - Pertinence 85 %

Hypothèse :

- Interdiction des halogènes fin 2018 malgré une efficacité prouvée et appréciée
- Amélioration de l'efficacité des OLEDs
- Baisse des prix des OLEDs, LEDs et LFCs

A partir de ces informations, un scénario tendanciel a été établi dans le but de prévoir l'évolution probable de l'électronique imprimée dans l'éclairage sur le marché.

Suite à l'interdiction délivrée par la Commission Européenne concernant les halogènes fin 2018, les ventes LEDs et LFCs augmenteront vraisemblablement de manière fulgurante, en Europe tout du moins.

Les ventes de LFCs seront d'abord supérieures à celles des LEDs à cause des prix d'achat plus favorables pour les LFCs. La tendance s'inversera ensuite grâce aux diverses caractéristiques avantageuses des LEDs et OLEDs en terme d'intensité lumineuse, de durée de vie et d'énergie consommée.

Scénario n°2 : Les OLEDs imprimées sont l'unique technologie sur le marché de l'éclairage. - Pertinence 60 %

Hypothèse :

- Le développement des OLEDs imprimées est maximal et devient l'unique technologie du marché.
- Tout autre technique d'éclairage est abandonnée.
- De plus en plus d'imprimeries se tournent vers l'impression d'OLEDs.
- Le secteur de l'électronique imprimée explose.

Les constructeurs d'écrans ont tous investi dans cette technologie et dans l'achat de machines d'impression numériques et sérigraphiques afin d'imprimer les composants électroniques pour leurs produits. Cette stratégie a été payante puisqu'elle a permis de réduire les prix de ventes de leurs produits, imposant ce développement à tous nouveaux concurrents.

Tous les systèmes d'éclairage et les écrans sont donc produits grâce à des systèmes d'impression permettant la mise en place des OLEDs sur des systèmes électriques.

C. Scénario n°3 : Les OLEDs imprimées n'intéressent plus personnes et leur développement est très limité - Pertinence 40 %

Hypothèse :

- Délais de livraison long
- Faible développement sur le marché
- Moins d'intérêt pour cette technologie
- Trop cher pour les imprimeurs de passer à de l'électronique imprimée

Ce scénario prévoit une disparition du marché des technologies se basant sur l'électronique imprimée dans le domaine de l'éclairage.

L'investissement dans les LEDs, dont les OLEDs est beaucoup trop gourmand économiquement pour que les entreprises entrent véritablement sur ce marché. Cette tendance influencera également la recherche, le développement et la production des machines d'impression électronique, permettant de fabriquer des lampes LEDs. En effet, faute de clients assez nombreux pour s'intéresser à ces machines, le développement de ce type de produit avancera au ralenti et s'arrêtera finalement, le peu de clients étant découragés par les délais de livraison des machines d'impression.

Le verrou économique, détaillé ci-dessus, serait donc la cause du retrait de cette technologie du marché.

F. Analyse des risques

Cependant, l'électronique imprimée dans l'éclairage n'a pas de garantie de succès certaine comme Jonathan Rangapanaiken l'explique dans "Demain, l'électronique flexible?". Un problème commun à tous les matériaux organiques, dans les OLEDs par exemple, est leur instabilité et leur faible durée de vie. Une encapsulation de ces matériaux est donc nécessaire pour combler ce défaut mais cela représente un frein à leur développement car cette encapsulation réduit leur flexibilité qui est leur principal argument de vente. Ainsi les OLEDs utilisées pour fabriquer des écrans sont encapsulées dans du verre, qui est un excellent encapsuleur mais pas du tout flexible. De même pour l'ITO (oxyde indium étain) utilisé pour les écrans tactiles et qui ne supporte pas les flexions. De plus les OLEDs offrent une luminance assez faible comparée à ses concurrents ce qui ne l'avantage pas.

Mais malgré ces défauts les entreprises cherchent tout de même à investir dans cette technologie, des acteurs phares comme Samsung, Philips et même Apple cherchent à se doter de cette technologie pour leurs prochains appareils. Il apparaît ici un autre problème, d'ordre logistique, auquel ces entreprises doivent faire face : la pénurie de matériel. En effet, comme on a pu le voir précédemment dans la mise en place du diagramme de Porter, les entreprises fabricant les machines de fabrication d'OLEDs (Canon Tokki, Japan Display) n'arrive à satisfaire toutes les commandes et ainsi la commercialisation de la technologie OLED au sein du marché est retardée.

VII) Développement durable

La technologie OLED permet à de nombreuses technologies une approche plus durable. Les téléviseurs OLED de chez LG par exemple, permettent des réductions significatives du contenu des matières dangereuses et des matières premières par rapport aux téléviseurs LCD conventionnels, tandis que la conception des produits verts de LG favorise la durabilité de la chaîne d'approvisionnement et le recyclage des téléviseurs usés.

De plus, il est bon de savoir que l'éclairage correspond à 15% de la consommation mondiale d'électricité et est à l'origine de l'émission de plus de 2000 millions de tonnes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ainsi des solutions comme les LED moins nocifs pour l'environnement car consomment moins d'énergie (donc polluent moins), ont une plus longue durée de vie, et ne contiennent pas de mercure ni de plomb et n'émettent ni UV ni infrarouges.

Enfin, de nombreuses améliorations ont été faites sur les encres utilisées dans l'électronique imprimée en lien avec les méthodes d'éclairage. Des compagnies telles que Genes'Ink qui conçoit des encres pour l'électronique imprimée (encre Genes'Ink pour l'impression OLED) a pris une démarche plus durable, créant des encres dites **Hybrides, non toxiques et recyclables**. Ces encres sont particulièrement intéressantes, notamment pour la fabrication d'écrans ou de claviers souples, pour lesquels des matériaux extrêmement coûteux et rares sont utilisés comme l'ultra performant silicium ou l'indium, métal employé pour la fabrication des écrans tactiles.

Conclusion

L'électronique imprimée ne s'est développée que récemment dans le secteur de l'éclairage mais est une technique prometteuse sur ce marché. Elle permet d'obtenir des composants électroniques minces, légers, en 2D ou en 3D avec des procédés d'impression classiques.

Les OLEDs constituent actuellement l'application la plus vendue sur le marché de l'éclairage en électronique imprimée. Ainsi, le segment des écrans OLED sur le marché de l'électronique imprimée représente 80 % environ et l'éclairage OLED dans les 15 %.

D'un point de vue plus global, les ventes de dispositifs d'éclairage imprimées n'ont pas dépassées pour l'instant celles des autres dispositifs. Toutefois, elles ne tarderont pas à le faire avec l'aide des nouvelles réglementations européennes concernant l'éclairage public et l'interdiction des principaux dispositifs d'éclairage énergivores.

La percée de ces produits dans le marché de l'éclairage pourrait être ralentie par le fait que cette technologie est encore nouvelle. En effet, comme pour toutes nouvelles technologies, d'importants frais d'investissement sont nécessaires pour faire de la recherche et du développement de produit. Par conséquent, il s'agit de trouver de la main-d'œuvre qualifiée, ou d'en former. Ensuite, il faut sensibiliser le public à ce type de produit, trouver des clients et des fournisseurs. De plus, les délais de livraison pour les machines d'impression sont extrêmement importants, la production de ces machines étant encore en développement.

Au niveau du développement durable, l'impression électronique permet de réduire de manière significative la quantité de matières dangereuses et des matières premières. Les dispositifs ainsi produits consomment moins d'énergie et donc polluent moins. Ils ne contiennent pas de mercure ni de plomb et n'émettent ni UV ni infrarouges. Ajouté à cela, leur durée de vie est plus longue, ce qui limite le nombre de dispositifs lumineux à fournir pour une certaine durée d'utilisation.

Enfin, l'électronique imprimée dans le domaine de l'éclairage possède un bel avenir, une idée qui est confortée par les diagnostics réalisés par l'AFELIM, IDTechEx et IMSResearch, qu'il s'agit de suivre avec attention si on désire investir dedans.

Bibliographie

Revue de presse :

[1] IDTechEx journal, LED Lighting Opportunities 2017-2027: Forecasts, Technologies, Players Materials, manufacturing costs, modules and LED competitive assessment
<https://www.idtechex.com/research/reports/oled-lighting-opportunities-2017-2027-forecasts-technologies-players-000526.asp>

[2] Martin Hirshmann, Excimer radiation for surface treatment, OPE journal, n°1, 2017, disponible aussi en format numérique sous le lien ci-dessous :

<http://www.c2-magazines.com/digital_issue/opejournal/index.html#2>

A propos du développement durable

[3] Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes, "Alerte sur les LEDs ou diodes électroluminescentes", 18 septembre 2013, Paris,

https://www.anpcen.fr/docs/20130920151702_najlg3_doc94.pdf

Vidéos :

[3] NthDegree Nth Light, Flexible Printed LED Lights, janvier 2016 par Charbax

<<https://www.youtube.com/watch?v=qPcgCjr1s2E>>

[4] Turbo, BMW phare OLED, *La technologie oled le futur de l'éclairage par BMW*, 2017

<http://www.turbo.fr/videos-voiture/461943-la-technologie-oled-le-futur-de-l-eclairage-par-bmw.html>

Sites web:

[5] Jocelyne ROUIS, Eliane ROUSSET, *Article publié dans l'ouvrage "L'avenir de l'imprimé" Novembre 2006*, "Quels enjeux autour de l'électronique imprimée ?" disponible sur :

<<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/Note/2006/impression-composants-electroniques.htm>>

[6] Mélanie BAY et Alizée GLASSER, *mémoire d'étudiants*, "Papier peint, entre tradition et renouveau" disponible sur :

<<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2016/papier-peint.htm>>

[7] Vipress, "Electronique imprimée : l'énorme gisement des OLEDs", disponible sur :

<<http://www.vipress.net/electronique-imprimee-lenorme-gisement-des-oled/>>

[8] Printed electronics world, "Who is winning with OLED lighting ?", disponible sur :

<<https://www.printedelectronicworld.com/articles/605/who-is-winning-with-oled-lighting>>

[9] Idtechs, "Challenges and Opportunities for Printed Electronics in the Lighting Industry" disponible

sur : <<https://www.idtechex.com/events/presentations/challenges-and-opportunities-for-printed-electronics-in-the-lighting-industry-005493.asp>>

[10] Printed electronics world, "Displays and Lightning", 2015 disponible sur :

<<https://www.printedelectronicworld.com/tag/15/displays-and-lighting>>

[11] Oled-info, "TADF OLED emitters, introduction and market status", disponible sur

<<https://www.oled-info.com/tadf>>

[12] Anne Blayo, Bernard Pineau , "L'électronique imprimée vers une nouvelle industrie"

: http://www.jardin-botanique-lyon.com/static/imprimerie/contenu/fichiers/telch/amis/cfce_pineaux.pdf>

(pages 25-26)

[13] Sounil BHOSLE, Georges ZISSIS, David BUSO, Gérald LEDRU, Cédric RENAUD, Marc TERNISIEN. Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie. Université Paul Sabatier. Manuel LOPES. Toulouse Tech Transfer. Disponible sur :

<https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2013/06/photon201368p39.pdf>

[14] OE-A, OE-A Roadmap for Organic and Printed Electronics, 7e édition de l'OE-A Roadmap, 2017, <http://www.oe-a.org/roadmap>

[15] IHS, IHS Markit Technology, <https://technology.ihs.com/Search?q=OLED>

[16] OLED-Info, "IHS sees AMOLED shipments surging in 2017, fast growth throughout 2020", anon.

<https://www.oled-info.com/ihs-sees-amoled-shipments-surging-2017-fast-growth-throughout-2020>

[17] A propos du développement durable, *LG honoré pour son soutien au développement durable*,

espacemanager, 2017 <https://www.espacemanager.com/lg-electronics-honore-pour-son-soutien-au-developpement-durable.html>

[18] Matthieu Combe, fondateur du webzine Natura-sciences.com, Natura-Sciences, "Le marché des ampoules LED, d'aujourd'hui à 2020", 6 novembre 2012

<http://www.natura-sciences.com/energie/ampoules-led-marche-388.html>

[19] IDTechEx, OLED Lighting Opportunities 2017-2027: Forecasts, Technologies, Players <https://www.idtechex.com/research/reports/oled-lighting-opportunities-2017-2027-forecasts-technologies-players-000526.asp>

<http://www.abadennled.fr/la-led/la-led-et-le-developpement-durable>

[20] ThoughtCo, Who Invented OLEDs Technology, <https://www.thoughtco.com/who-invented-oled-technology-1992208>

[21] Afelim, Les Oleds, source de lumière à semi-conducteurs

http://www.afelim.fr/Oleds_42.htm

[22] Cerig, Joris Revillion et Alan Tondelier, "Diodes électroluminescentes organiques et impression : quel avenir ?", mai 2009

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

[23] Genes'Ink. Smart'Ink products for flexible and printed electronics. Disponible sur :

<<http://www.genesink.com/fr/smart-ink>>

[24] Cerig, D'ORTOLI Jordan et MAZOUIN Antoine, élèves ingénieurs en 2^e année. Encres conductrices à base de cuivre. Mémoire. Grenoble : Grenoble INP-Pagora. 2014. Disponible sur :
Mise en ligne - Février 2015

<<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2015/encre-conductrice-cuivre.htm>>

[25] Oled-info, "TADF OLED emitters, introduction and market status", disponible sur

<<https://www.oled-info.com/tadf>>

[26] IDTechEx, OLED Lighting Opportunities 2017-2027: Forecasts, Technologies, Players
<<https://www.idtechex.com/research/reports/oled-lighting-opportunities-2017-2027-forecasts-technologies-players-000526.asp>

<http://www.abadennled.fr/la-led/la-led-et-le-developpement-durable>>

[27] Jocelyne ROUIS, Cours VT-IE, stratégie-ing, mars 2018, powerpoint de présentation

[28] Anon., Comment JCDecaux, Valeo, la Banque de France et Bioserenity veulent innover par l'électronique imprimée. L'usine nouvelle. 29 mars 2018 :

<<https://www.usinenouvelle.com/editorial/comment-jcdecaux-valeo-la-banque-de-france-et-bioserenity-veulent-innover-par-l-electronique-imprimee.N673184>>

[29] COMBE Matthieu, fondateur du webzine [Natura-sciences.com](http://www.natura-sciences.com). Ampoules LED, LFC ou halogène, comment choisir?. Natura-Science. 2017. Disponible sur :

<<http://www.natura-sciences.com/energie/choisir-ampoules-led-lfc-halogenes939.html>>

[30] COMBE Matthieu, fondateur du webzine [Natura-sciences.com](http://www.natura-sciences.com). L'ADEME vante les performances des ampoules LED. Natura-Science. 2017. Disponible sur :

<<http://www.natura-sciences.com/energie/ademe-led-ampoules-avis.html>>

[31] COMBE Matthieu, fondateur du webzine [Natura-sciences.com](http://www.natura-sciences.com), Natura-Sciences, "Le marché des ampoules LED, d'aujourd'hui à 2020", 6 novembre 2012

<<http://www.natura-sciences.com/energie/ampoules-led-marche-388.html>>

[32] Association Française de l'éclairage, "norme et réglementation", octobre 2016

<<http://www.afe-eclairage.fr/normes-et-reglementations/normes-et-reglementations-35.html>>

[33] Calculer la consommation liée à l'éclairage. HydroQuébec. Disponible sur :

<<http://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/outils/calculatrice-eclairage.html>>

[34] Puissance, Flux lumineux et Angle lumineux. AddisLighting. Disponible sur :

<<https://addislighting.com/technologie-led/puissance-flux-lumineux-et-angle-lumineux/>>

[35] Anon. Règlements. Journal officiel de l'Union Européenne. Décembre 2012. Disponible sur :

<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:342:0001:0022:FR:PDF>>

[36] George Zisis, professeur des universités de Toulouse, Les évolutions dans le domaine des diodes électroluminescentes pour l'éclairage, 2011, optique et environnement, consulté le 26/04/2018. Disponible sur :

<<https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2016/03/photon201682p25.pdf>>

[37] Anon. Ampoules halogènes interdites : extinction des feux en septembre 2018 !. Happ-e. 2017.

Disponible sur :

<<https://www.happ-e.fr/actualites-electricite/univers-electricite/news-electricite/lhalogene-interdit-septembre-2018-vive-led>>

[38] Jonathan Rangapanaiken. Demain, l'électronique flexible? 2015. Disponible sur :

<<https://lejournel.cnrs.fr/articles/demain-lelectronique-flexible>>