

CAPDEVILA Inès
EYMARD Laura
MAGNIEZ Florence
2E ICI

rendu le 23/05/2018

RAPPORT DE VEILLE TECHNOLOGIQUE ET INTELLIGENCE ÉCONOMIQUE

Emballages pharmaceutiques : apports de l'électronique imprimée

SOMMAIRE

Introduction	2
I. Les emballages pharmaceutiques	2
1. Les différents types d'emballages	2
2. Les matériaux utilisés	3
3. Spécificités des emballages pharmaceutiques	4
II. L'électronique imprimée	6
1. Historique	7
2. Encres et supports	7
3. Procédés	11
III. L'électronique imprimée dans les emballages pharmaceutiques	15
1. Etat de l'art	15
a. Indicateurs temps-température	15
b. Etiquettes NFC	16
c. Développements en cours	17
2. Etude d'impact environnemental	22
IV. Etude de marché et analyse concurrentielle	24
1. Caractérisation des marchés	24
a. Données économiques	24
b. Données sectorielles	26
c. L'électronique imprimée dans les emballages pharmaceutiques	31
2. Analyse du contexte législatif et réglementaire	31
3. Technologies en concurrence	32
4. Outils d'analyse du marché de l'emballage pharmaceutique avec électronique imprimée	34
V. Perspectives d'évolution	37
1. Facteurs clés de développement	37
2. Diagnostic stratégique	38
3. Elaboration de scénarios et analyse des risques	39
Conclusion	43
Bibliographie	44

Introduction

L'emballage pharmaceutique est un secteur en mutation perpétuelle qui répond à un vaste cahier des charges. En effet, le conditionnement d'un médicament englobe le contenant immédiat du produit et la boîte en carton renfermant le flacon ou la plaquette qui contient le médicament, le dispositif de préparation ou d'administration du médicament et sa notice. Ces divers éléments ont des fonctions complémentaires, la boîte étant le premier support d'information tandis que le carton vise à protéger le médicament, des chocs, de la lumière ou des écarts de température.

On peut dès lors, envisager et étudier le rôle que pourrait avoir l'électronique imprimée sur ce type d'emballage. Pour cela, il faut étudier les spécificités des emballages pharmaceutiques comparées à celles des emballages classiques et définir les procédés et supports adaptés à l'ajout d'électronique imprimée. Cela permettra d'éclairer l'utilité d'apport de l'électronique imprimée au niveau des emballages pharmaceutiques notamment pour le suivi au cours du transport, le suivi des prises et également la participation à la lutte contre la contrefaçon des médicaments.

Quels sont les procédés et matériaux adaptés à l'implémentation d'électronique imprimée sur des emballages pharmaceutiques ? Quel avenir pour ces technologies ? Quelles sont les potentielles valeurs ajoutées apportées par l'électronique imprimée aux emballages pharmaceutiques ?

Pour répondre à ces questions, on étudiera successivement le rôle de l'emballage dans le domaine pharmaceutique ainsi que les supports utilisés ; et les principaux atouts et spécificités de l'électronique imprimée. Ceci, nous permettra de déterminer les bénéfices que l'on peut tirer de l'électronique imprimée dans le domaine pharmaceutique. Une étude succincte du marché, aboutira à établir les possibilités de développement de cette innovation.

I. Les emballages pharmaceutiques

Avant de se focaliser sur les spécificités liées aux emballages pharmaceutiques, les différents types d'emballages seront brièvement décrits ainsi que les matériaux utilisés dans leur fabrication.

1. Les différents types d'emballages

Un emballage est un élément qui contient des marchandises et permet de les protéger lors de leur acheminement du fabricant au consommateur. Il doit répondre à trois exigences : **protéger, transporter** et **informer**. [15]

On distingue généralement trois types d'emballages schématisés par la figure 1 :

- L'**emballage primaire**, est l'emballage qui se retrouve dans les points de vente destinés aux consommateurs.
- L'**emballage secondaire** est l'emballage qui réunit plusieurs articles comme le pack de bouteilles de lait.

- L'**emballage tertiaire** est l'emballage de transport qui facilite la manutention d'un grand nombre d'articles. Souvent une palette regroupant plusieurs colis.

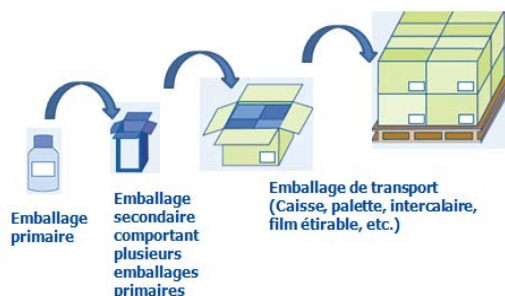


Figure 1 : Système complet de l'emballage [39]

2. Les matériaux utilisés

Les contenants pour le conditionnement des produits de pharmacie et de parapharmacie tels que les comprimés, gélules, gouttes, gels, sprays, crèmes, sirops, etc... sont fabriqués dans divers matériaux précisés dans le tableau 1.

Emballages souples		Emballages rigides
Biosourcés	Plastiques	Métaux
Papier	PE	Aluminium
Carton	PP	Verre
	PET	
	PEN	

Tableau 1 : Récapitulatif des matériaux utilisés pour la fabrication d'emballage

On constate une large diversité des matériaux pour la fabrication d'emballage. Parmi ces matériaux l'industriel devra effectuer le choix le plus adapté et tiendra compte du coût de la matière première, de sa disponibilité, de son impact environnemental, de sa recyclabilité mais également de sa compatibilité à un contact alimentaire. Dans notre étude, les matériaux car les plus favorables à l'implémentation d'électronique imprimée seront privilégiés.

Quelques exemples de l'industrie pharmaceutique :

- Boîtes principalement en carton
- Plaquettes de médication en plastique et recouvertes d'une feuille d'aluminium
- Ampoules de solution en verre
- Flacons et tubes en plastique ou verre
- Sachets en papier et aluminium



Figure 2 : Différents conditionnements du Doliprane [40]

3. Spécificités des emballages pharmaceutiques

L'emballage doit être étudié dès la conception d'un nouveau produit car son rôle est primordial pour protéger le produit, le transporter et informer le consommateur. De plus, de nombreux matériaux peuvent être envisagés. Parmi les propriétés incontournables des emballages médicaux et pharmaceutiques on peut citer la compatibilité avec de nombreux procédés de stérilisation, la sécurité lors du transport, la résistance à l'altération, et la transparence des films.

Le conditionnement d'un médicament englobe le contenant immédiat du produit (conditionnement primaire) et la boîte en carton (conditionnement secondaire) renfermant le flacon ou la plaquette qui contient le médicament, le dispositif de préparation ou d'administration du médicament et sa notice. Ces divers éléments ont des fonctions complémentaires, la boîte étant le premier support d'information tandis que le conditionnement primaire vise à protéger le médicament, des chocs, de la lumière ou des écarts de température... Tous les produits sont fabriqués conformément à des normes strictes.



Sur la Figure 3 sont présentées toutes les informations devant obligatoirement sur l'emballage secondaire d'une boîte de médicament en France. Sur la face avant doivent figurer le nom du médicament, son dosage, son mode d'administration et son nom en braille pour les personnes malvoyantes. Sur les côtés on retrouve le numéro de lot, la date de fabrication, la date de péremption, les contre-indications, la mise en garde, l'indication thérapeutique et le flash code ou *Data Matrix*. Le recto de l'emballage rappelle le nom et le dosage du médicament et contient un code barre, éventuellement un pictogramme en cas de danger et un cadre coloré. Le cadre est rouge si le médicament est disponible uniquement sur ordonnance et qu'il contient des substances vénéneuses et il est vert si le médicament est disponible que sur ordonnance uniquement.

Figure 3 - Sur la boîte que trouve-t-on ? [34]

Pour se protéger de la contrefaçon [2] de médicaments, les laboratoires intègrent de plus en plus de systèmes d'inviolabilité et de traçabilité comme la *Data Matrix* et le timbre fiscal (tax stamp).

En 2011, la législation française a imposé la présence de *Data Matrix* [1], [23] sur toutes les boîtes de médicaments. Le *Data Matrix* se présente sous la forme d'un petit carré noir et blanc comme représenté par la figure 4. Ils permettent de suivre la traçabilité, la logistique et la fraîcheur du produits emballés mais aussi de lutter contre la contrefaçon.



Figure 4 : exemple de *Data Matrix*

Afin, d'éviter certaines copies ou mise en circulation de contrefaçons, de nombreux pays instaurent le timbre fiscal (tax stamp) sur leur emballage. La figure 5 représente un timbre fiscal de la société pharmaceutique américaine pfizer collé sur un emballage de Viagra®. Cette étiquette, dans la plupart des cas adhésive est utilisée pour percevoir des taxes ou des frais sur des documents, tabac, boissons alcoolisées, drogues et médicaments, etc... Habituellement, les entreprises achètent les timbres du gouvernement et les collent aux articles taxés.

Ce timbre à deux fonctions : collecter les taxes et contenir des éléments de sécurité pour lutter contre la contrefaçon. C'est parce qu'ils peuvent contenir des dispositifs de sécurité pour empêcher la contrefaçon que leur valeur est élevée.



Figure 5 : Timbre fiscal (tax stamp) sur un emballage de Viagra® □

Malgré la mise en place de ces normes, il est encore difficile de contrôler et de limiter la prolifération des médicaments contrefaits dont le nombre va sûrement continuer à augmenter avec la vente en ligne de médicaments en provenance d'autres pays.

Dès lors, on peut s'intéresser aux possibilités offertes par les emballages intelligents pour le domaine pharmaceutique et à l'implémentation d'électronique imprimée.

Remarque : Il faut distinguer les emballages intelligents et les emballages actifs formant les "smart packaging". Par définition, les emballages intelligents ont une fonction informative, ils contiennent une information sur le produit tandis que les emballages actifs interagissent avec leur contenu (absorption ou émission de substances comme de l'oxygène). [5][7][20]

II. L'électronique imprimée

L'électronique imprimée est un marché grandissant. Pour se faire, on utilise la sérigraphie, le jet d'encre et la flexographie. La flexographie permet d'imprimer bobine à bobine et donc permet d'augmenter la vitesse d'impression.

Les avantages majeurs de l'électronique imprimée par rapport à l'électronique conventionnelle (utilisant le silicium) sont : les coûts bas, les larges volumes et la rapidité d'impression, la diversité des matériaux utilisés (nature des couches imprimées, type de substrats...) et la bonne répétabilité. L'électronique imprimée se développe notamment dans les circuits, les panneaux photovoltaïques organiques ou dans les nouvelles technologies d'affichage ou d'éclairage par OLED.

Le terme organique, souvent employé lorsqu'on parle d'électronique imprimée, est utilisé pour caractériser les composants électroniques produits non plus sur silicium mais sur des polymères avec des propriétés qui se rapprochent des matériaux inorganiques. Ces matériaux leur confèrent des propriétés telles que l'électroluminescence, l'absorption, la possibilité de dépôt par voie liquide, la flexibilité, etc...

Actuellement sur le marché se développent des matériaux et des formulations aux fonctionnalités variées : conductrices à base de métaux (argent, oxyde de cuivre,...) ou de polymères organiques (PEDOT, PSS), semi-conductrices (à base de polymères ou de petites molécules organiques ou inorganiques), résistives (capteurs), diélectriques (hautes et basses permittivités), piézo-résistives (capteurs), piézo et pyro-électroques (capteurs, actionneurs, mémoires). Les différentes formulations possèdent des rhéologies adaptées aux procédés d'impression utilisés.

Le choix du substrat est dicté par les températures de séchage et de recuit des différentes formulations. Les matériaux les plus utilisées sont le PET (PolyEthylene Terephthalate) et le PEN (Polyethylene Naphtalate) ou les poly-imides. Les substrats papier et PVC sont plus plutôt utilisés dans les applications de grande consommation (ticket de transport, étiquettes).

Enfin il est important que le produit fini soit homogène en termes de conductivité sur toute sa surface. Pour réaliser un produit fini conducteur, le film imprimé doit être uniforme, c'est pourquoi l'épaisseur du dépôt, le type de support, la résolution, la pression, la vitesse de production sont des éléments à prendre en compte lors de l'impression.

	Avantages	Inconvénients
Électronique imprimée	<ul style="list-style-type: none"> -Substrats flexibles -Facilité du stockage et transport -Finesse et dureté -Personnalisation - Faible empreinte carbone -Rapport Coût/performance 	<ul style="list-style-type: none"> -Non-existence d'encres adéquates (sensibilité, conditions environnementales) -Durée de vie (OLED et OPV) -Manque de précision -Faible performance
Électronique conventionnelle	<ul style="list-style-type: none"> -Court temps de roulement (calage) -Haute performance -Objet de très faible dimension 	<ul style="list-style-type: none"> -Petits supports uniquement -Substrats rigides -Coûts de production élevés -Impact environnemental

Tableau 2 : Avantages et inconvénients de l'électronique imprimée et conventionnelle

1. Historique

L'électronique imprimée est un secteur en pleine croissance depuis les années 2000 mais il est étudié depuis une trentaine d'année. [32] En effet, des fabricants de composants électroniques ont vu dans cette technologie un moyen efficace de produire de grande surface à bas coût et avec des cadences élevées. C'est ainsi que l'électronique imprimée a pu se développer et s'imposer comme une solution prometteuse pour intégrer de l'électronique flexible à faible coût dans les objets du quotidien : capteurs, antennes, électrodes, batteries, écrans souples, cellules solaires flexibles, composants passifs, diagnostic médical jetable, etc.

2. Encres et supports

L'implémentation d'électronique imprimée nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres afin d'optimiser le triangle "Encres-Procédés-Substrat" présenté figure 6.

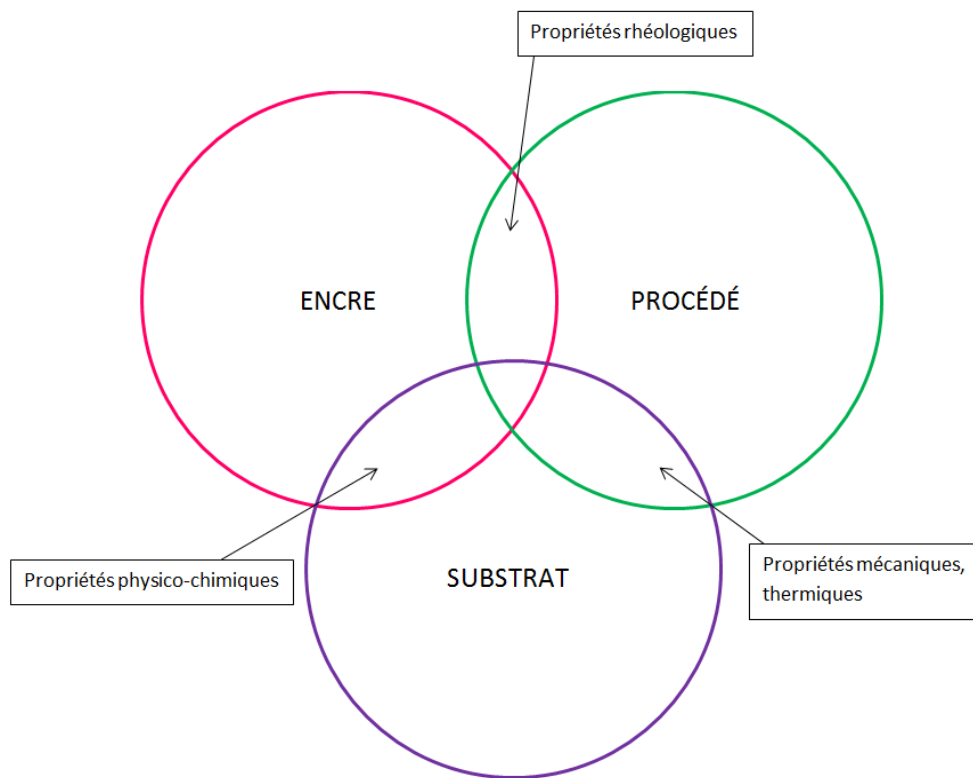


Figure 6 : Corrélation entre les encres, procédés et substrats utilisés

La figure 6 relève la principale problématique de l'apport d'électronique qui est l'apport d'un film d'encre continu et homogène sur le support en prenant en compte les interactions encre/procédé/substrat.

Les encres

La propriété principale des encres destinées à l'électronique imprimée est la conductivité. En effet, le dépôt d'encre par procédé additif fait le lien entre les composés électroniques.

Les encres utilisées requièrent des propriétés rhéologiques et physico-chimiques spécifiques aux procédés utilisés. La viscosité, la tension superficielle, la taille des particules et la stabilité colloïdale sont quatre propriétés importantes. Deux principaux types d'encre sont utilisés :

Les encres métalliques :

- argent, $\sigma = 62,5 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$
- cuivre, $\sigma = 58,8 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$
- or, $\sigma = 41,6 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$
- platine, $\sigma = 9,4 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$
- nickel, $\sigma = 14,3 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$

Les encres organiques :

- polymères tels que le PEDOT, le PSS (conductivité de 1 à 50 S/cm)
- encres à base de carbone : graphène, nanotubes de carbone (conductivité de 60 S/cm)

- palladium, $\sigma =$

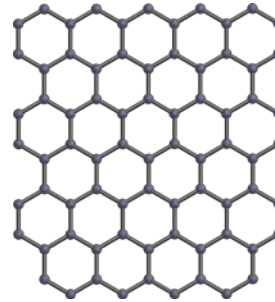
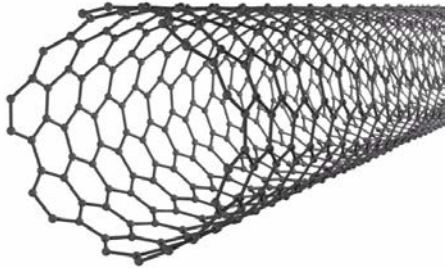


Figure 7 : Nanotube de carbone (à gauche) et graphène (à droite)

Chaque type d'encre possède des avantages et inconvénients qu'il faut nécessairement connaître avant utilisation. Le tableau 3 décrit les avantages et inconvénients de ces encres conductrices.

Encres conductrices		
Métalliques	Organiques	
	polymères	à base de carbone
+ très haute conductivité	+ bonnes propriétés mécaniques bonne conductivité bon marché abondant	+ ne nécessitent pas de frittage
- chères	- sensible aux rayonnements UV sensible à la température sensible à l'humidité	- onéreux (dépend du carbone : CNT, noir de carbone...)

Tableau 3 : Récapitulatif des encres conductrices utilisées pour l'impression d'emballage

Les supports

Le support est un élément central de l'impression. Les propriétés du support influencent fortement la qualité d'impression :

- la **rugosité du support** influe sur la définition du point. Plus la rugosité du support est faible, plus l'impression est précise.
- l'**énergie de surface** du support doit être adaptée à la tension superficielle de l'encre (l'encre doit avoir une tension superficielle inférieure à l'énergie de surface du support)
- la **résistance à la température** est aussi un critère important. En effet, après l'impression d'une encre conductrice métallique, une étape de frittage est nécessaire pour améliorer la conductivité des motifs. (L'étape de frittage permet de réduire la résistance et donc d'augmenter la conductivité du film d'encre. Lors du chauffage, les nanoparticules d'argent subissent un phénomène de coalescence - rapprochement des particules- augmentant ainsi leurs surfaces de contact, et facilitant le transfert d'électrons.)
- pour l'électronique flexible, la **flexibilité du support** est une propriété obligatoire.

Biosourcés	Plastiques	Autres
Papier Carton	PE PP PET PEN	Verre Céramique

Tableau 4 : Récapitulatif des supports utilisés pour l'électronique imprimée

Le tableau 4 révèle l'importante diversité des supports sur lesquels on peut implémenter de l'électronique imprimée. Cependant certains substrats rigides ne conviendront pas à tous les procédés d'impressions.

Fournisseurs d'encre		Fournisseurs de substrats
encres conductrices	encres actives	
-Heraeus -Novacentrix -Intrinsiq : encres conductrices à base de cuivre -NanoGap : encres à base de nanoparticules d'argent -Novacentrix : encres à base de cuivre et d'argent -Poly-Ink : encres à base d'argent et de nanotubes de carbone -SkySpring Nanomaterials : encres à base de nanoparticules de cuivre et d'argent -Applied Nanotech : encres à base de nanoparticules de cuivre et d'argent	-Color Change Corporation -INX International Ink Co -Gans	-Arjowiggins (papier) -DS Smith (carton) -Smurfit Kappa (carton)

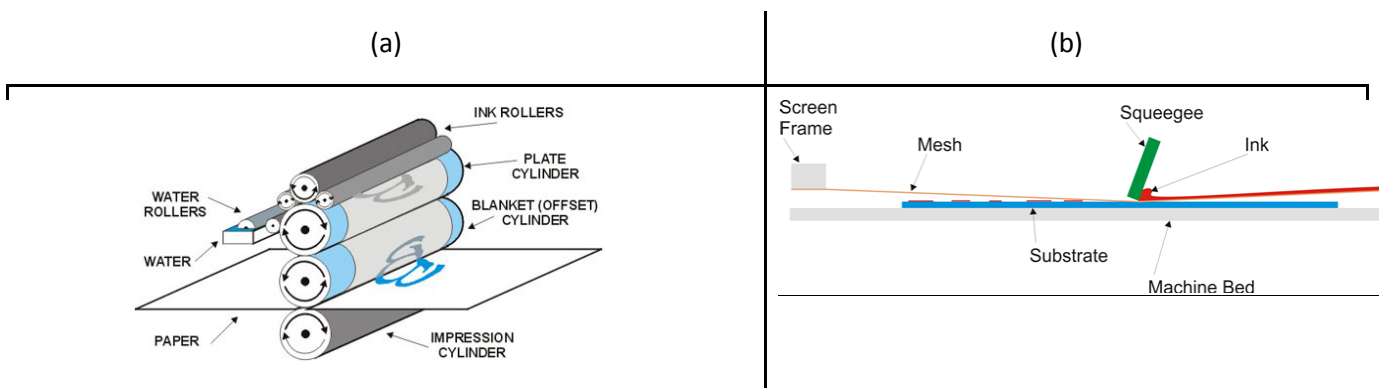
Tableau 5 : Fournisseurs d'encre et substrat dans l'industrie pharmaceutique

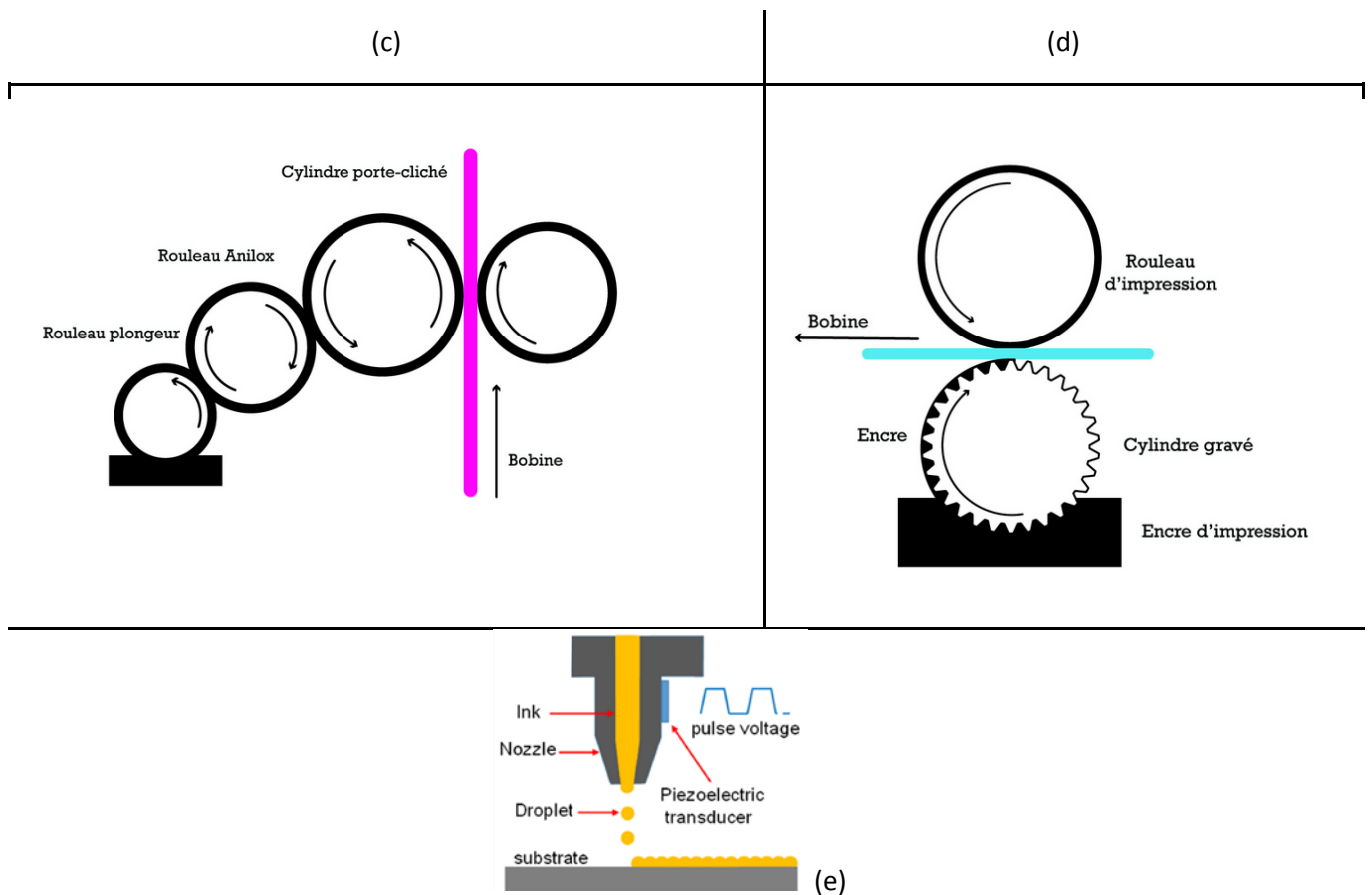
De nombreux industriels travaillent conjointement pour aboutir aux emballages commercialisés. En effet, le laboratoire pharmaceutique conçoit le médicament et son emballage ; il fait ensuite appel à un imprimeur qui sollicite différents fournisseurs de matière première (support, encre...). On retrouve les différents acteurs de cette chaîne dans le tableau 5.

3. Procédés

a) Présentation des procédés

Les procédés actuellement étudiés pour l'impression d'électronique imprimée sont : la technologie jet d'encre (e), la sérigraphie (b), la flexographie (c), l'héliogravure (d) et l'offset (a).





Source : www.phys.org/news/2015-05-inkjet-kesterite-solar-cells.html

Figure 8 : Procédés utilisés en électronique imprimée [41]

Chaque procédé d'impression a des spécificités plus ou moins intéressantes pour l'implémentation d'électronique imprimée.

L'impression jet d'encre est un procédé numérique alors que les quatre autres procédés sont qualifiés de conventionnels. Contrairement aux procédés conventionnels, la technologie jet d'encre ne nécessite pas de forme imprimante physique, les données sont interprétées numériquement ce qui facilite le prototypage de composants électroniques simples. Les formes imprimantes utilisées dans les procédés conventionnels sont respectivement : l'écran pour la sérigraphie, le cliché pour la flexographie, le cylindre gravé pour l'héliogravure et la plaque en offset.

Procédé	Paramètres	Conditions	Avantages	Inconvénients
Jet d'encre	-Diamètre de buse (30-70µm) -Fréquence d'éjectabilité	-Faible viscosité de l'encre (1-50 mPa.s) -Taille des particules : au moins 10x inférieure à la largeur de buse -Imprimabilité	-Pas de forme imprimante -Gaspillage d'encre faible -Bonne résolution (10µm)	-Gouttes satellites -Effect coffee ring -Bouchage de buse -Vitesse faible (1-100 m.min ⁻¹)
Sérigraphie	-Ecran (fil, tension, cadre) -Forme de la racle -Pression -Vitesse (10-100 m.min ⁻¹)	-Grande viscosité de l'encre (1-120 Pa.s)	-Grande épaisseur d'encre déposée (20-100 µm) -Résolution : 100 µm	-Gaspillage d'encre -Non adapté pour les grands tirages -Faible vitesse d'impression (10-100 m.min ⁻¹)
Flexographie	-Vitesse d'impression -Pression	-Faible viscosité de l'encre (50-500 mPa.s) -Faibles pressions	-Haute vitesse d'impression (50-500 m.min ⁻¹) -Substrats souple -Impression en grand volume	-Halo sur les bords de l'imprimé -Bouchage de l'anilox
Héliogravure	-Taille des cellules du cylindre -Vitesse d'impression (20-1000 m.min ⁻¹)	-Faible viscosité de l'encre (20-200 mPa.s)	-Grande vitesse d'impression (20-1000 m.min ⁻¹) -Très grands tirages (au moins 350 000 exemplaires)	-Peu de supports adaptés -Bouchage des cellules
Offset		-non miscibilité de l'eau et l'encre - Grande viscosité de l'encre (10-100 Pa.s)	-Technologie mature et productive -Bonne résolution (15 µm)	-Viscosité des encres conductrices incompatible avec le procédé.

Tableau 6 : Comparatifs des différents procédés d'impression [11], [12], [14], [28] cité par [44]

b) Comparaison des procédés

Chaque procédé d'impression possède des avantages et des inconvénients concernant leur utilisation pour l'impression de composants électroniques. Le tableau 7 dresse un récapitulatif des caractéristiques de ces différents procédés.

Procédés	Caractéristiques
Sérigraphie	Basse résolution (pas plus de 120 lpi) - Film d'encre épais (20-100µm) - Excellente répétabilité - Antenne RFID - Batteries imprimées
Flexographie	Haute résolution (40 µm) - Encres à séchage rapide
Offset	Grands tirages (quelques centaines de milliers d'exemplaires) - Encres conductrices métalliques - Impression R / V - Passes multiples pour une conduction suffisante
Jet d'encre	Utilisé pour de petites séries (1000) de composants différents
Héliogravure	Très gros tirages (plus d'un million d'exemplaires) - Peu de supports adaptés - Bords des lignes dentelés - Épaisseur de lignes hétérogène

Tableau 7 : Récapitulatif des procédés et caractéristiques utilisés pour l'électronique imprimée

Ensuite chaque procédé d'impression peut utiliser des encres métalliques, organiques ou à base de carbone. Néanmoins selon le procédé d'impression, la qualité et la fonctionnalité de l'imprimé peut varier. Le tableau 8 dresse les corrélations entre les encres utilisés pour chaque procédé d'impression ainsi que les domaines d'application des imprimés.

Procédés d'impression					
	Jet d'encre	Sérigraphie	Héliogravure	Flexographie	Offset
Encre	organique métallique à base de carbone	métallique	métallique	métallique	métallique

Supports	Rigide, flexible	Rigide, flexible	Flexible	Rigide, flexible	Flexible
Applications	OLED, LED, filtres de couleurs, équipements LCD, circuits imprimés, ect	Tags RFID, systèmes électroluminescents,	Tags RFID, condensateur multicouches en céramique	OLED, LED, photovoltaïque	OLED, LED, photovoltaïque
Epaisseur sur substrat (µm)	0.5 - 20	40 - 100	0.1 - 8	0.1 - 2.5	0.05 - 2.0

Tableau 8 : Encres et procédés d'impression [4], [8]

Avant l'impression, un couchage ou un traitement Corona du support peut s'avérer nécessaire. Le traitement Corona consiste en une décharge électrique à haute fréquence vers le support. Il en résulte une amélioration de la connexion chimique entre les molécules dans le support et l'encre. Le but étant d'obtenir des propriétés de surface les meilleurs possibles, telles qu'une faible rugosité ou encore une faible absorbance.

III. L'électronique imprimée dans les emballages pharmaceutiques

L'industrie pharmaceutique s'intéresse aux emballages intelligents. En effet, ces produits permettent principalement de lutter contre la contrefaçon. Notons que d'après une étude de LEEM (les entreprises de médicaments) nommée *100 questions* menée en 2016, 1 médicament sur 2 est un médicament contrefait. De plus, les emballages intelligents permettent une meilleure efficacité en terme de logistique. Cet aspect répond parfaitement à la volonté de transparence et de traçabilité dans l'étiquetage des produits marchands par les industriels et les consommateurs.

À l'avenir, ils pourraient aussi être utiles pour assurer un meilleur suivi des traitements médicamenteux par les patients grâce aux réseaux d'informations. Cette solution reste pour beaucoup futuriste. Néanmoins, le vieillissement des populations et le développement des maladies et évolutives encouragent les industriels de l'industrie pharmaceutique à investir dans ces technologies.

1. Etat de l'art

Passées leurs fonctions de protection et de marketing, il est très important que les emballages pour produits pharmaceutiques fournissent des informations sur les molécules actives, l'interaction de différents médicaments entre eux ainsi que sur le suivi logistique. Les exemples suivants montrent que l'ajout d'électronique imprimée sur un emballage peut augmenter ces fonctions. La liste de ces exemples n'est pas exhaustive car de nombreuses applications sont en développement mais aucune information n'est encore diffusée. [9]

a) Indicateurs temps-température

De nombreux médicaments doivent être conservés à une certaine température, sinon ils peuvent non seulement devenir inutilisables, mais dangereux pour la santé du patient. Grâce à l'emballage intelligent, il est possible de créer des étiquettes informant sur la température d'un produit pendant les processus d'expédition et de stockage afin que les consommateurs puissent déterminer si les médicaments sont sûrs ou non.

Ce type d'indicateurs va sûrement se démocratiser rapidement car les consommateurs sont en attentes de ce genre de technologies. D'ailleurs, d'autres secteurs tels que l'agroalimentaire réfléchissent à implémenter ces indicateurs sur des produits surgelés par exemple.

Il existe différents types de capteurs de température qui fonctionnent selon des procédés différents. Certains capteurs sont recouverts d'une encre thermochrome qui se colore de manière irréversible, d'autres capteurs imprimés en électronique imprimée possèdent un écran qui affiche toutes les variations de température auxquelles a été soumis l'emballage.

b) Etiquettes NFC (communication en champs proche)

Les notices d'information des boîtes de médicaments sont parfois lues peu scrupuleusement et certains patients ne respectent pas fidèlement les prescriptions ou oublient de prendre leurs médicaments. C'est pourquoi, il est important qu'ils reçoivent suffisamment d'informations en parallèle pour qu'ils sachent comment utiliser le médicament correctement. La communication en champ proche (NFC) pourrait être une solution intelligente pour diffuser ces informations de manière interactive sur les smartphones du patient, par exemple via la vidéo.

C'est une technologie de communication sans fil à courte portée et à haute fréquence. Elle permet l'échange d'informations entre des périphériques jusqu'à une distance d'environ 10 cm. C'est une extension des cartes de proximité utilisant la radio-identification (RFID) qui combinent une carte à puce et un lecteur au sein d'un seul périphérique. [3]

Il existe trois modes de fonctionnement de cette technologie qui correspondent à des applications différentes :

- le mode émulation de carte (dit passif) dans lequel le portable fonctionne comme une carte à puce sans contact, la carte SIM est alors utilisée pour le stockage de données chiffrées (exemples d'application : paiement sans contact, billet de transport)
- le mode pair-à-pair, qui permet l'échange rapide de données entre deux appareils munis de la technologie NFC (exemples d'application : échange de photos, utilisation du portable comme une télécommande domotique pour contrôler les équipements d'un logement)

- le mode lecteur (dit actif) dans lequel le mobile est un lecteur lorsqu'il est approché proche d'un tag NFC

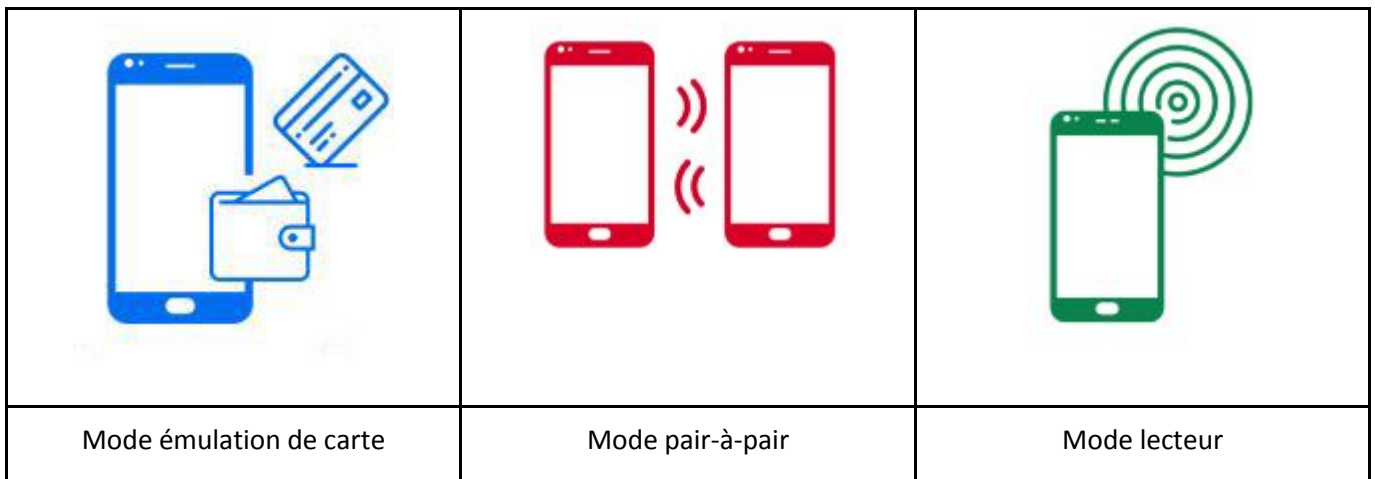


Figure 9 : Modes de fonctionnement de la technologie NFC

L'un des avantages de la technologie NFC par rapport au QR code est la sécurité car les tags NFC sont plus difficile à reproduire que les QR code. De plus, la lecture de tags NFC ne nécessite pas le téléchargement préalable d'une quelconque application.

Cependant, cette technologie possède également des contraintes qui peuvent impacter sa croissance. En effet, même si cette technologie semble de plus en plus présente dans notre quotidien (carte de transport, forfait de ski...), de nombreuses questions sur la recyclabilité des composants ainsi que la toxicité pour l'environnement de certains métaux font débats.

c) Développements en cours

À l'heure actuelle, peu d'emballages pharmaceutiques porteurs d'électronique imprimée sont disponibles en pharmacie mais de nombreux projets sont en cours de développement.

Exemple 1 : Saralsecurity label, Saralon GMBH (Allemagne) [16][17]

Saralsecurity label est une étiquette de sécurité imprimée permettant la traçabilité du médicament. L'étiquette comprend une batterie imprimée et de multiples affichages électrochromes imprimés. Il peut être intégré dans n'importe quel emballage en carton ou sur n'importe quelle bouteille en verre.

Remarque : L'électrochromisme est la propriété démontrée par certaines espèces chimiques de changer de couleur de manière réversible lorsqu'une charge électrique leur est appliquée, et ce durant un temps court.
(source : Wikipédia)

Principe de fonctionnement :

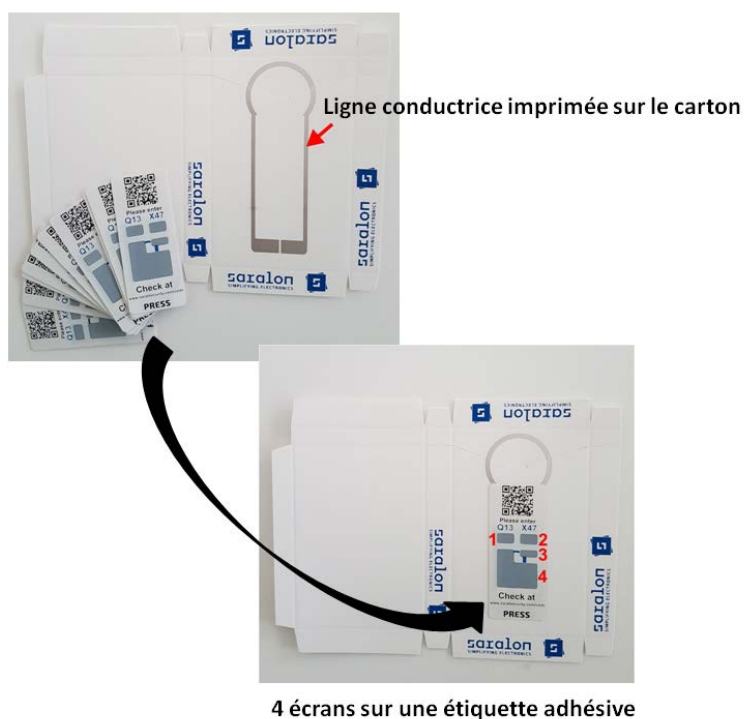


Figure 10 : Elements constituant Saralsecurity label

Lorsque l'on presse l'étiquette à l'endroit indiqué, des messages apparaissent sur les écrans. "ORIGINAL" confirme l'authenticité de l'emballage et le cadenas fermé indique que la boîte n'a pas été abîmée ou ouverte.



Figure 11 : Affichage avant ouverture de la boîte

Le QR code renvoie à un site internet où le consommateur peut entrer le code unique à 12 chiffres (ici, Q13 X47 M4L 643) pour confirmer davantage l'authenticité (Track-and-Trace) du produit. Les six premiers chiffres du code sont imprimés tandis que les 6 derniers chiffres (divisés en deux affichages séparés) apparaissent sur l'écran après pression.

Lorsque la boîte est ouverte la ligne conductrice est endommagée. Alors, lorsque l'on presse l'étiquette, seulement deux écrans fonctionnent. Un cadenas ouvert apparaît pour informer l'utilisateur que la boîte a été ouverte. Les trois derniers chiffres du code, ne sont plus visibles. Le nouveau code contenant 9 chiffres peut être entré sur le site internet qui confirme entre autre que l'emballage est ouvert.



Figure 12 : Affichage après altération de l'emballage

Exemple 2 : Smart Sensor Label, Société Thinfilm (Norvège) [18][19][22]

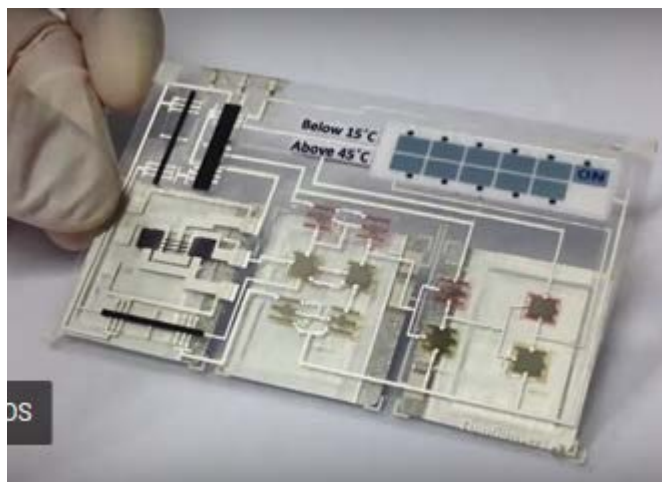


Figure 13 : Smart Sensor Label

Ces étiquettes électroniques et flexibles détectent et enregistrent les variations de température qu'un produit peut subir. Dans l'industrie pharmaceutique, ces étiquettes peuvent être implémentées sur des produits thermosensibles tels que les vaccins ou encore les produits sanguins.

Ces étiquettes sont produites sur des bobines de polymère, la fabrication est donc rapide et les coûts sont réduits. Elles intègrent un circuit électronique, un capteur de température, une batterie (pour assurer un fonctionnement autonome), de la mémoire de stockage (polymère ferroélectrique), un interrupteur et un écran. L'écran affiche le nombre de fois où le produit a été soumis à des températures inférieures à 15 °C ou supérieures à 45 °C.

Lorsque l'étiquette enregistre une modification de température, un changement de couleur se produit (Figure 14).

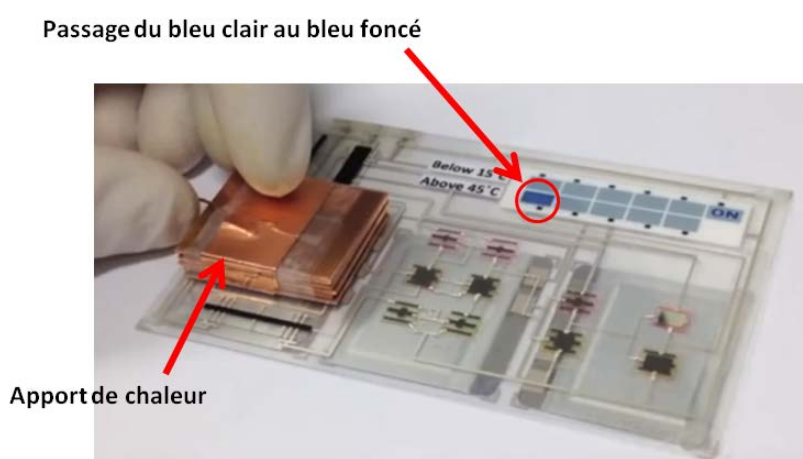


Figure 14 : Modification de l'affichage par apport de chaleur

Exemple 3 : PhutureMed, Palladio Group (Italie) & E Ink (Taiwan) [10]

Le programme PhutureMed est une solution d'emballages innovants basée sur l'électronique imprimée. Ces emballages intelligents sont conçus pour aider les patients à surveiller et suivre leur traitement. Palladio Group en collaboration avec E Ink ont mis au point deux emballages différents, MemoSolution et PhillSolution.



Figure 15 : Les deux technologies PhutureMed

- MemoSolution

MemoSolution remplit la fonction d'emballage secondaire. Cette boîte est principalement conçue pour les patients âgés souffrant d'un déficit de la mémoire ou devant prendre quotidiennement un grand nombre de médicaments différents. MemoSolution est équipée d'un écran et de capteurs. L'écran affiche la date (heure, jour, année) à laquelle le médicament doit être pris. Pour mettre à jour ces informations, il suffit au patient d'appuyer sur le bouton rouge en dessous de l'écran. Des capteurs ont pour but de détecter les changements thermiques auxquels est soumis l'emballage. En cas de température trop élevée ou trop basse, il informe le patient grâce à l'écran que la qualité du médicament n'est pas optimale. Une majeure partie de la technologie est basée sur de l'encre conductrice comme on le voit sur la figure 16.



Figure 16 : Technologie MemoSolution



Figure 17 : Affichage de l'écran en cas de température élevée

- PhillSolution

PhillSolution remplit quant à lui, la fonction d'emballage primaire. De l'encre conductrice est imprimée en flexographie sur l'opercule renfermant les pilules individuellement dans l'emballage plastique. Le circuit imprimé est capable d'interagir avec un smartphone via une application. L'application mobile permet au patient de connaître la prochaine date de prise de son médicament et stocke toutes les données pour pouvoir les envoyer au médecin ou à la famille. Le principe fondamental de PhillSolution est que lorsque l'on retire un médicament de l'emballage, on casse l'opercule et rompt ainsi des lignes conductrices. Par l'application on sait qu'une pilule a été déballée. (Figure 18).

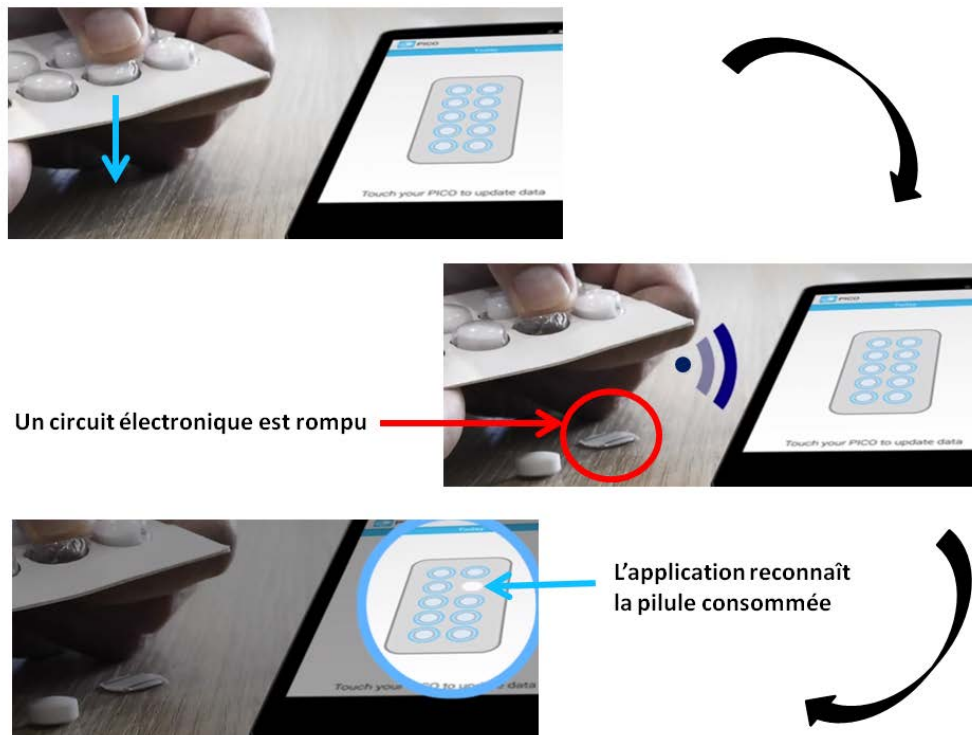


Figure 18 : Technologie PhillSolution

2. Etude d'impact environnemental

a) Les emballages classiques

Les emballages sont, à l'ère des mouvements de protection de la planète, souvent pointés du doigt car ils occasionnent de nombreux déchets plastiques et cartons qu'il faut recycler et valoriser. Une filière de recyclage a été mise en place pour développer des emballages plus respectueux de l'environnement. La création du point vert à partir de 1992, en est un exemple. Il s'agit d'un symbole du dispositif mutualisé, géré sans but lucratif par Eco-Emballages et réunissant environ 50 000 entreprises qui financent le dispositif de collecte sélective et de tri des emballages ménagers. La plupart des ménages ont également appris à trier leurs déchets selon différentes catégories ce qui facilite ensuite leurs recyclages et leurs valorisations. Le tri sélectif est d'autant plus efficace si les objets ont été réalisés par écoconception.

Le procédé de recyclage comprend plusieurs étapes et commence dès que le produit est consommé. Pour que l'emballage rentre dans la chaîne de tri mise en place par la commune du client, ce dernier doit le jeter dans un bac de tri. Les déchets jetés dans ces bacs sont ensuite acheminés vers des centres de tri. Dans un premier temps, les déchets sont triés en fonction des matériaux qui composent les emballages : plastique, papier, carton et métaux. Ensuite, ils sont compactés pour former des balles puis envoyés au recycleur. Le recycleur ouvre les balles puis nettoie les déchets avant de les transformer. Les transformations associées à chaque matériau sont explicitées dans la figure 19.

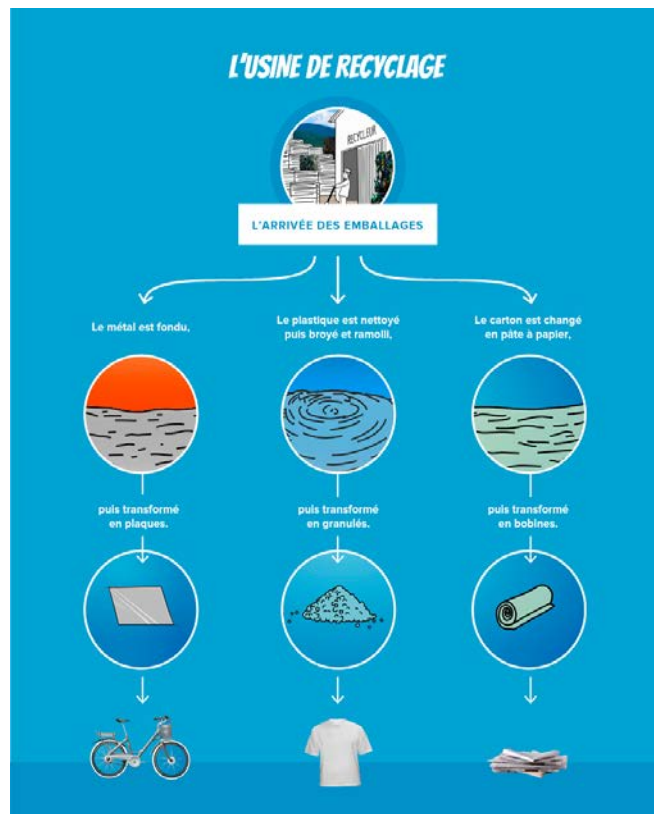


Figure 19 : La transformation des emballages dans les usines de recyclage [42]

b) Les emballages pharmaceutiques

Concernant, les emballages pharmaceutiques, ceux-ci sont en mutation car ils doivent répondre à différents critères. Ils doivent être léger, facilement recyclable, tout en protégeant correctement les produits. De plus, ils doivent contenir les informations essentielles sur le produit pour prévenir de son niveau de dangerosité éventuelle ainsi que ses spécificités. Ils ne sont en général pas très écologiques car la priorité qu'ils soient sécurisés notamment leur ouverture doit être difficile pour les enfants. C'est pourquoi on a parfois une petite quantité de médicaments dans un grand emballage ou des comprimés emballés individuellement.

Certaines entreprises innovent et proposent des emballages pharmaceutiques durables. La Keystone Folding Box Company a conçu l'Ecoslide-RX, une boîte de comprimés en matériaux recyclables avec une enveloppe interne sans plastique contenant peu d'aluminium. Le calendrier figurant sur l'emballage est censé encourager les patients à finir la boîte, pour qu'on puisse la recycler sans gaspiller le médicament.

c) Les emballages porteurs d'électronique imprimée

L'ajout d'électronique imprimée sur les emballages est actuellement maîtrisé mais la durée de vie de ces produits ainsi que leurs recyclages restent à étudier. En effet, les encres conductrices sont à base de composants encore difficilement recyclables pour diverses raisons. Les encres organiques qui sont les plus proches chimiquement des encres classiques posent moins de problème lors du recyclage excepté lorsque la

taille des particules est de l'ordre du nanomètre. Le recyclage des encres à base de carbone dépend de la forme de carbone : nanotube de carbone ou encore noir de carbone et également de la taille des particules. Les encres les plus difficiles, en termes de recyclage sont les encres métalliques car celles-ci ont des compositions spécifiques et des niveaux de toxicité élevés (argent, nickel,...). Le recyclage doit être pensé en fonction de ce que l'on souhaite valoriser : soit les fibres, soit les encres. Concernant les encres métalliques argent la méthode actuelle consiste à incinérer les déchets. [13]

IV. Etude de marché et analyse concurrentielle

Les études de marché permettent de collecter et d'analyser l'ensemble de données chiffrées telles que les produits, les marques ou encore les catégories qui caractérisent un marché. Ces études permettent aussi d'analyser les facteurs influençant la vente tels que l'évolution du prix des matières premières ou les branches professionnelles du secteur.

1. Caractérisation des marchés

a) Données économiques : évolution du prix des matières premières

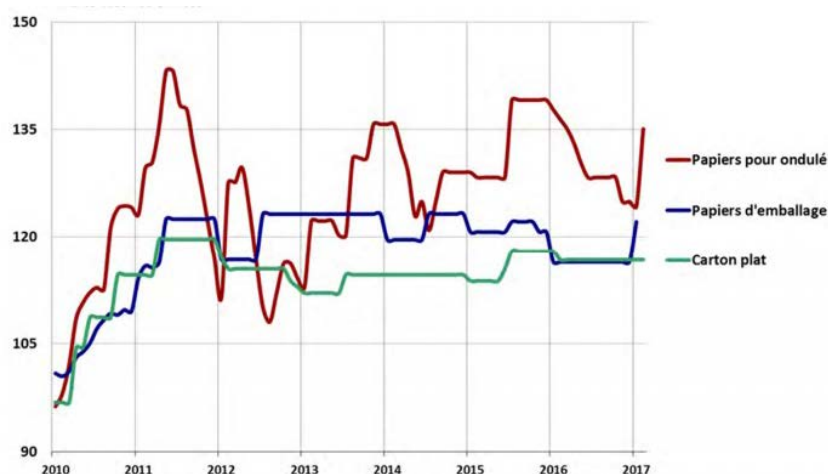


Figure 20 : Evolution des prix des papiers et cartons d'emballage (Source : Copacel)

Le développement de l'électronique imprimée appliqué au secteur de l'emballage pharmaceutique dépend des matières premières utilisées, de leur coût et de leur disponibilité. Ici, les matières étudiées sont les supports et les encres fonctionnelles.

Les supports

Les supports utilisés en électronique imprimée ont été décrit précédemment ; on trouve d'une part les substrats rigides (verre, céramique) et d'autres part les substrats souples (papier, carton, plastique) .

L'Union Française des Industries des Cartons, Papiers et Celluloses (Copacel) a mis en évidence concernant les perspectives économiques du marché papier et carton en France que le développement du commerce en ligne et la demande en hausse du sac papier et des matières hygiéniques est soutenu. La figure 20, montre que le prix des papiers d'emballage et carton plat et globalement stable depuis 2011. Ce type de support n'entravera pas significativement l'évolution de l'électronique imprimée en termes de coût et de disponibilité.

Remarque : Le marché des matériaux transparents conducteurs est appelé à une forte croissance et les prévisions font état d'une valeur de 10 000 millions de \$ atteinte en 2018.

Les encres fonctionnelles

Pour fonctionnaliser les imprimées, l'électronique imprimée utilise des encres à base de nanoparticules métalliques ou autres substituts. Le coût et la performance (conductivité) de ces encres sont des paramètres clés à prendre en compte. Il faut également considérer le recyclage de ces encres et les possibilités de valorisation car l'objectif de l'électronique imprimée est de fabriquer des composants viables à bas coût mais dont on maîtrise également le cycle de vie.

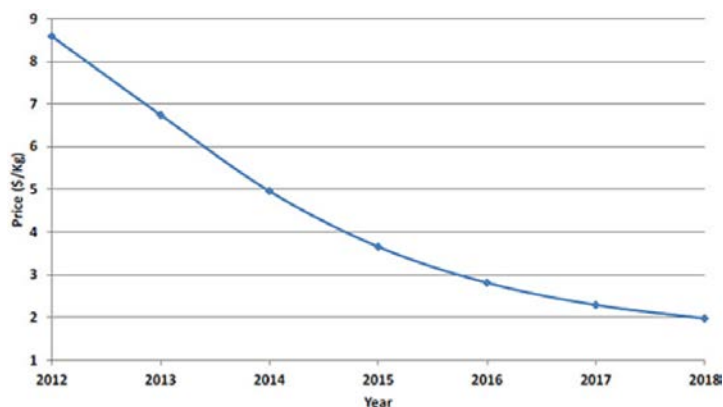


Figure 21 : Prévision de l'évolution du prix des nanoparticules de cuivre en \$/kg (IDTechEx cité par [43])

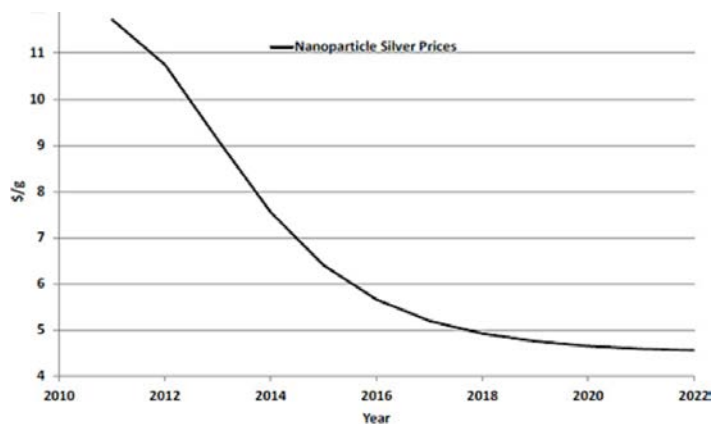


Figure 22 : Prévision de l'évolution du prix des nanoparticules d'argent en \$/g (IDTechEx cité par [43])

D'après les figures 21 et 22, le prix des nanoparticules d'argent et de cuivre est en baisse depuis 2012. Cela peut s'expliquer par l'arrivée de nouveaux entrants sur le secteur qui amène de la concurrence. Cette concurrence va être bénéfique pour le développement de l'électronique imprimée car les fournisseurs vont baisser leur prix et fabriquer des produits de la meilleure qualité possible.

Certains matériaux constitutifs d'encre transparentes comme l'ITO (Oxyde Indium-Etain) peuvent freiner cette évolution. En effet, comme le montre la figure 23, le prix de l'ITO est peu stable et pourrait à terme atteindre des sommes qui impacterait directement le coût unitaire des composants fabriqués. De plus, d'autres paramètres tels que les conflits géopolitiques ou la disponibilité des ressources sont à prendre en compte pour ce type de matériaux.

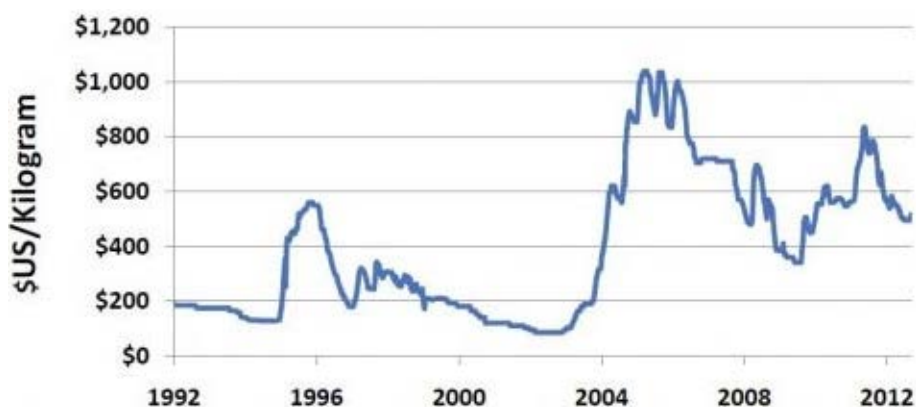


Figure 23 : Evolution du prix de l'oxyde indium-étain (ITO) (Source : Copacel)

b) Données sectorielles : analyses statistique des branches professionnelles liées à l'industrie de l'emballage pharmaceutique fonctionnel

a. L'emballage pharmaceutique

L'emballage est un marché dynamique porté par des facteurs structurels favorables. C'est un secteur qui n'est pas touché par la dématérialisation. De nos jours, les acheteurs d'emballage sont à la recherche de caractéristiques spécifiques ou techniques difficiles à copier afin de limiter les contrefaçons.

Concernant le marché de l'emballage pharmaceutique en France, il a connu une période 2011-2015 marquée par une hausse de ses ventes liée à une augmentation de la production de l'industrie pharmaceutique. [21]

La taille du marché mondial des emballages pharmaceutiques a été évaluée à 10.26 milliards de dollars en 2021 selon d'après la figure 24. Et le marché devrait connaître une croissance importante avec la demande croissante de produits pharmaceutiques en provenance des économies émergentes. [25], [26]

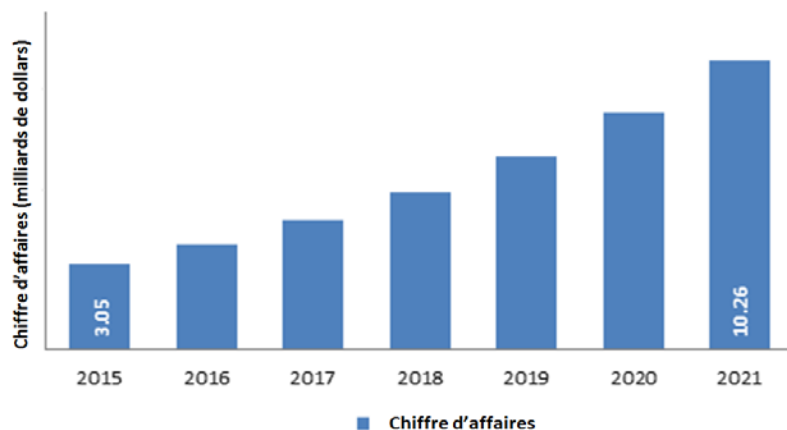
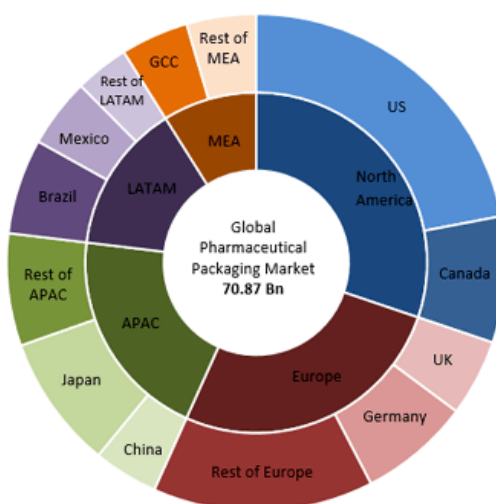


Figure 24 : Marché mondial de l’emballage pharmaceutique de 2014 à 2020 (source : Zion Research Analysis, 2016)



Source : Credence Research, Inc

Figure 25 : Marché mondial de l’emballage pharmaceutique selon la géographie, 2016 (%)

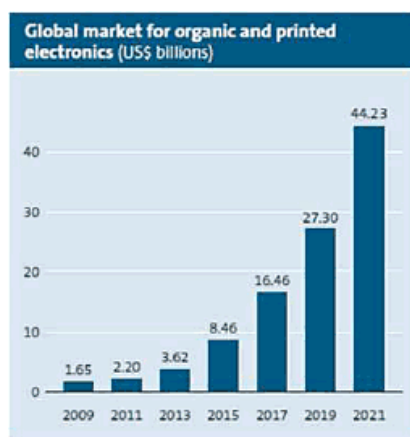
Les marchés émergents tels que l'Inde, la Chine, le Brésil, la Russie et la Turquie constituent une excellente opportunité de croissance pour l'industrie pharmaceutique comme l'indique la figure 25. La stabilité de ces économies associée à des politiques gouvernementales favorables devrait avoir un impact positif sur la demande du marché des emballages pharmaceutiques.

La demande d'emballages pharmaceutiques de qualité supérieure est en hausse. S'assurer que les produits pharmaceutiques sont fabriqués, emballés et stockés dans un environnement contrôlé et non contaminé est essentiel dans le processus d'assurance qualité.

De nombreux médicaments innovants sont commercialisés, ce qui nécessite des solutions d'emballage adaptées et respectant les normes de qualité. Avec cette demande croissante de qualité, les fabricants suivent les normes ISO telles que les certifications de gestion de la qualité ISO 9001 et travaillent avec les fournisseurs certifiés ISO relatives qui correspondent à l'assurance qualité des ingrédients actifs.

b. L'électronique imprimée

Après plusieurs décennies de recherche et développement, d'innovations et de ruptures technologiques, l'électronique imprimée entre enfin dans l'ère de l'industrialisation et de la mise en œuvre d'applications dans des domaines tels que la santé et les objets connectés avec un chiffre prévisionnel en 2021 de 44.23 US Billion comme indiqué sur la figure 26.

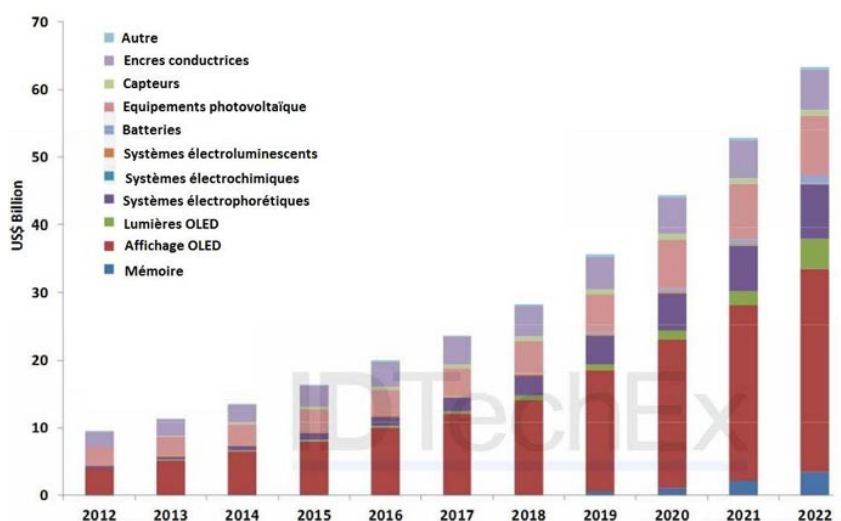


Source: IDTechEx (2011)

Source : IDTechEx

Figure 26 - Évolution du marché de l'électronique imprimée, 2011.

De plus, selon la figure 26, le marché mondial de l'électronique imprimée représentait déjà 8,46 milliards de dollars en 2015, principalement grâce à l'essor du marché des écrans OLED, servant notamment à la production des smartphones et des téléviseurs. Ce marché s'articule autour de l'électronique organique (composant électroniques réalisés à partir de matériaux organiques) intégrée par impression, sur de grandes surfaces pouvant être souples, permettant de s'intégrer ainsi sur des produits très diversifiés.



Source : IDTechEx

Figure 27 - Prévision de l'évolution du marché de l'électronique imprimée (réalisée avant 2012)


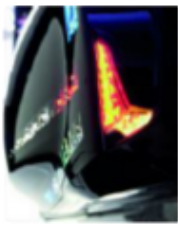




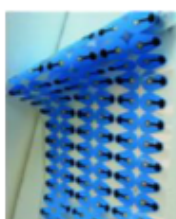



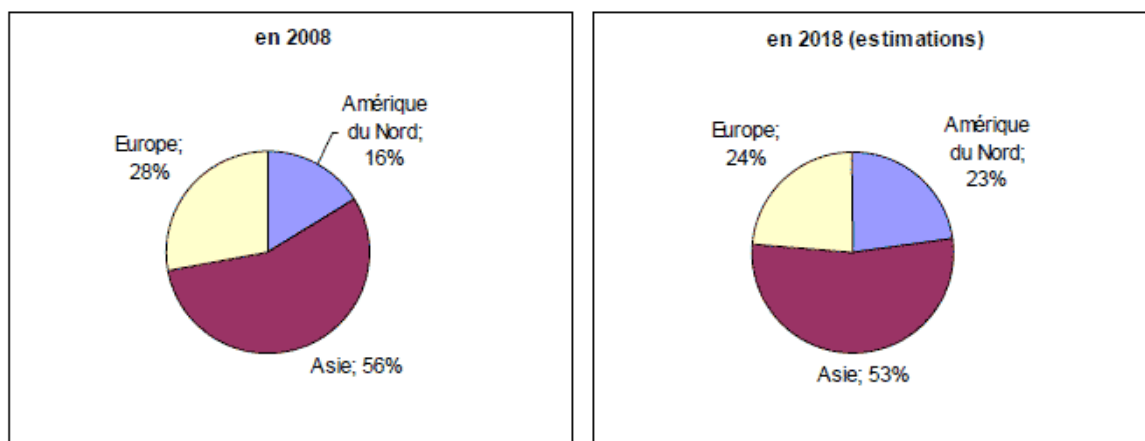
	Avant 2015	2016-2018	2019-2022	Après 2023	Illustrations
OLED	Modules rigides B2B et B2C	Module flexible	Production de masse de module flexible	Intégration généralisée	 → 
Photo Voltaïque	Chargeur, lampe solaire, installation architectural	Charge mobile, économie d'énergie, spécialisation dans le BIPV et le BAPV	Charge mobile, contrôle de l'économie d'énergie pour l'« internet of everything » intégration aux bâtiments, panneau hors réseau moyen	BIPV bien intégré, panneau hors réseau grand et industriel, connexion au réseau	 → 
Appareil flexible	Télé OLED courbé, appareil (mobile ou non) OLED flexible, liseuse, intégration aux vêtements	Appareil modelé, appareil souple (semi-) transparent, Télé OLED	Appareil OLED pliable et portable, Appareil roulant (semi-) transparent	Appareil extensible, TV OLED roulant, électronique électronique roulant	 → 
Composants électronique	Batterie primaire, mémoire pour protéger les marques, films conducteur transparent en ITO, et capteur de pression	Batterie rechargeable, capteur de pression transparent, capteur de pression sans ITO flexible et couvrant une large zone	Batterie multi-cellule, mémoire lisible sans fil, puce logique imprimée, capteur de pression et de mouvement souple et sans ITO	Batterie directement imprimée, appareil intelligent passif ou actif intégré, capteur de pression et de mouvement entièrement intégré	 → 
Circuit intégré intelligent	Vêtement avec capteur intégré, antivol, capteur de température intelligent pour étiquette, capteur imprimé	Capteur NFC pour étiquette, packaging intelligent, système intégré aux vêtements	Système intelligent pour l'« internet of everything », étiquette intelligente NFC/RFID, Service de santé bas coût à la maison	Vêtement OLED, système de santé jetable, capteur sans fil pour bâtiment intelligent	 → 

Figure 28 : Feuille de route des principaux domaines de l'électronique imprimée depuis 2015 [6]

La figure 28 présente l'évolution de l'électronique imprimée notamment pour les OLED ou le photovoltaïque sur une décennie. Des domaines tels que ceux de l'habitat, de la santé, de l'énergie, des transports, des loisirs ou du sport, représentent aujourd'hui des secteurs favorables à l'émergence d'une filière de l'électronique imprimée.

Les chiffres donnés précédemment sont des données globales concernant le monde entier. Cependant il existe de nombreuses disparités dans les investissements en fonction des pays.



Source : IDTechEx

Figure 29 - Répartition des investissements dans le secteur de l'électronique imprimée à l'horizon 2018

D'après la Figure 29 ci-dessous, l'Asie est un investisseur majoritaire dans le secteur de l'électronique imprimée tandis qu'en Europe et aux États-Unis l'investissement semble moins important. On peut noter que les investissements entre 2008 et les estimations dans le secteur de l'électronique imprimée à l'horizon 2018 sont globalement constants.

Remarque : Ceci se recoupe avec les marchés d'OLEDs qui sont majoritairement asiatiques.

c. L'électronique imprimée dans les emballages pharmaceutiques

Il est encore trop tôt pour obtenir des données chiffrées gratuites sur le marché de l'emballage pharmaceutique associé à l'électronique imprimée.

2. Analyse du contexte législatif et réglementaire

Avant sa commercialisation, un médicament doit obtenir une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) délivrée soit par l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé (ANSM), soit par la Commission Européenne.

L'AMM garantit la sécurité, la qualité et l'efficacité du médicament. Cela se réalise concrètement par l'impression de code barre 2D Datamatrix et/ou d'antennes RFID : Radio Frequency Identification.

Ensuite le **règlement européen CE n° 2016/161**, modifiant la directive 2001/83/CE, impose des mesures visant à empêcher l'introduction de médicaments contrefaits dans la chaîne d'approvisionnement. Ce règlement européen 2016/161 appliqué le 9 février 2019, stipule que les emballages individuels de médicaments devront être munis d'un identifiant de médicament unique (UMI) permettant aux distributeurs, grossistes, pharmaciens et patients de vérifier l'authenticité d'un produit par le biais d'une base de données UMI sécurisée. L'UMI est un code unique sur un support de type code barre 2D Datamatrix.

3. Technologies en concurrence

En parallèle du développement de l'électronique imprimée dans les emballages pharmaceutiques, d'autres technologies sont mises au point pour remplir des nouvelles fonctions et risquent, à terme, de concurrence les emballages intelligents.

Exemple 1 : Pill'Up - Electronic Alliance

La société française Electronic Alliance a récemment tenté de lancer la commercialisation de son bouton intelligent Pill'Up.

Pill'Up s'adresse aux personnes ayant besoin d'aide pour suivre leur traitement de médicaments. Le bouton peut se fixer sur tout type d'emballage (boîte, flacon, tube, inhalateur, ...) grâce à son attache type trombone ou en l'associant à un élastique. Connecté au smartphone, il rappelle au patient qu'il est l'heure de prendre le médicament par un signal lumineux et sonore, une notification ou une vibration. Tous ces signaux permettent d'effectuer un rappel mais aussi de bien identifier quel est le médicament à prendre. Une pression sur le bouton permet d'enregistrer l'heure et l'identité du médicament qui vient d'être pris.

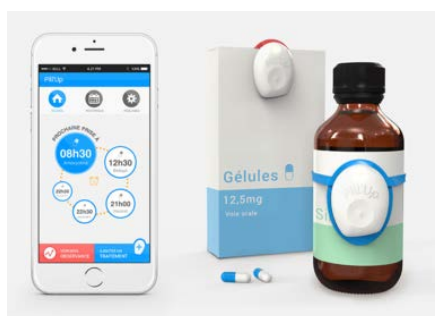


Figure 30 : Technologie Pill'Up [36]

Exemple 2 : IRemember

IRemember est une boîte de médicament connectée déjà sur le marché depuis juin 2015 et disponible pour 45 dollars pour sa version journalière et 60 dollars pour sa version hebdomadaire. Cette boîte de médicaments est basée sur le même principe que Pill'Up, sa principale fonction est d'informer le patient via des signaux lumineux et sonores. Connectée en bluetooth ou en wifi à son application pour smartphone, elle peut même émettre des rappels vocaux personnalisés. L'application peut prévenir un proche de la famille via notifications en cas de prise ou de non prise de médicaments. IRemember se recharge via câble USB.

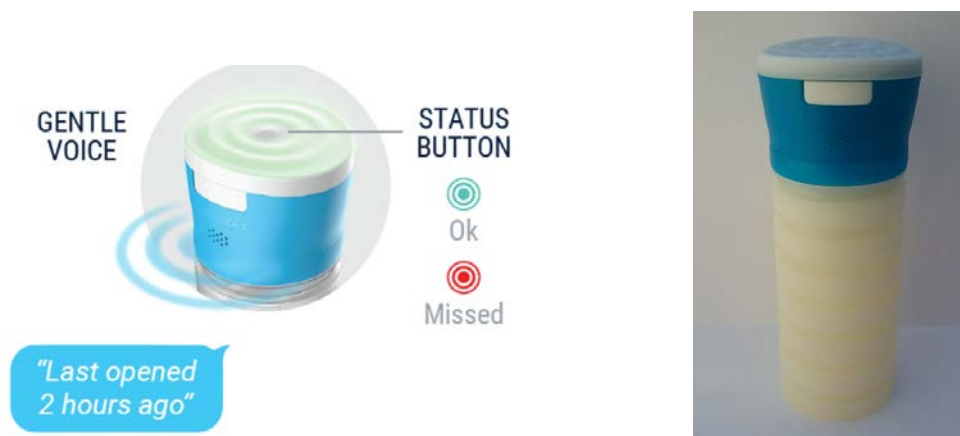


Figure 31 : Technologie IRemember [35]

Dans le même principe, on retrouve Glowcaps commercialisé par la société Vitality.

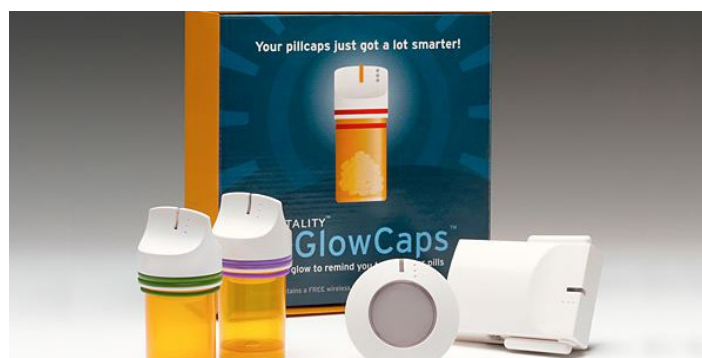


Figure 32 : Technologie Glowcaps

Exemple 3 : Les piluliers connectés

Selon le même principe on peut trouver une multitude de piluliers connectés commercialisés tels que Do-pill, Medsecur et Imedipac. Ces piluliers sécurisent la prise de médicaments, ils sont capables d'émettre une alerte sonore et visuelle et les erreurs de prises génèrent des alertes. Dans le cas du Do-Pill, c'est le pharmacien qui dispose les médicaments dans le pilulier qui est ensuite scellé par un film.



Figure 33 : Piluliers connectés

Exemple 4 : Impression 3D de médicaments

Une alternative aux emballages intelligents et connectés pourrait être l'impression 3D de médicaments. Cette technologie innovante ouvre la voie à des formes complexes pour pouvoir libérer le médicament de manière différente. En manipulant la géométrie d'un comprimé, on peut ajuster la charge médicamenteuse, modifier sa libération, ou masquer le goût d'un médicament. Ainsi l'impression 3D permettrait d'ajuster le dosage en fonction du patient, voire d'associer différentes molécules en une seule pilule. Ce serait particulièrement intéressant pour des malades qui prennent beaucoup de médicaments dans la même journée et faciliterai le suivi, ce qui pourrait rendre obsolètes certains emballages intelligents. [33], [37]

4. Outils d'analyse du marché de l'emballage pharmaceutique avec électronique imprimée

Diagramme de Porter

Ce diagramme permet de faire une simulation de la concurrence (la concurrence désigne la présence de plusieurs acteurs qui souhaitent accéder à une ressource limitée, présents simultanément sur un même marché). Les cinq acteurs du diagramme de Porter sont [24]:

- les concurrents
- les clients
- les fournisseurs
- les nouveaux entrants
- les produits de substitution

Le diagramme montre les acteurs qui occupent actuellement le marché. Pour constituer ce diagramme, le secteur de l'emballage pharmaceutique a été placé au centre puis les différents types d'emballages ont été

positionnés. On a considéré les emballages pharmaceutiques fonctionnels, les emballages sans électronique imprimée et les substituts aux emballages ainsi que les principaux concurrents à l'électronique imprimée.

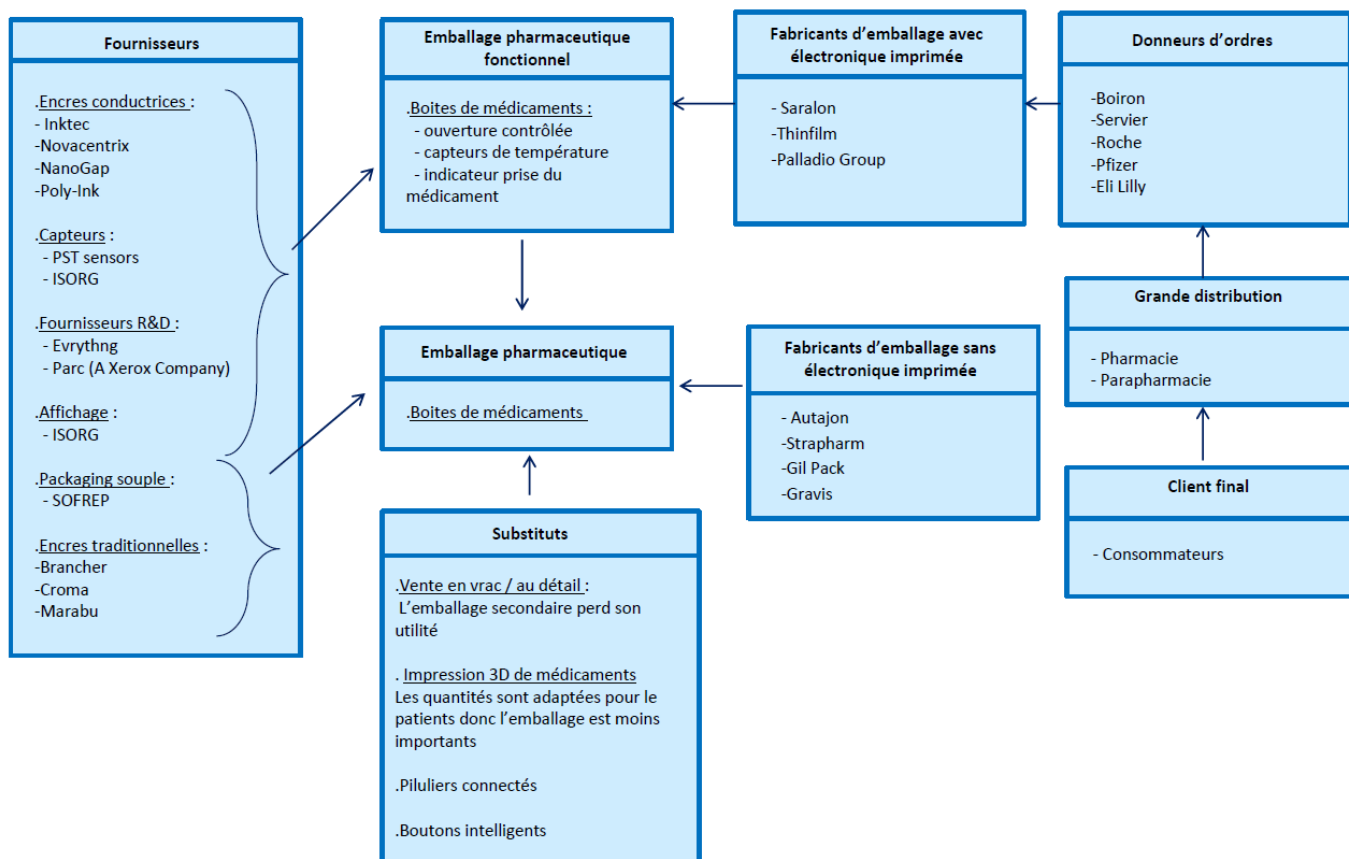


Figure 34 : Diagramme de Porter décrivant le positionnement des entreprises d'impression d'électronique imprimée sur des emballages pharmaceutiques

Chaîne de valeur

La chaîne de valeur de Porter [27] 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. Celle-ci vise à ajouter de la valeur lors de chaque étape de l'activité.

Il y a deux catégories d'activités dans une chaîne de valeur : les activités de soutien et les activités primaires (liées à la production et à la vente au client).

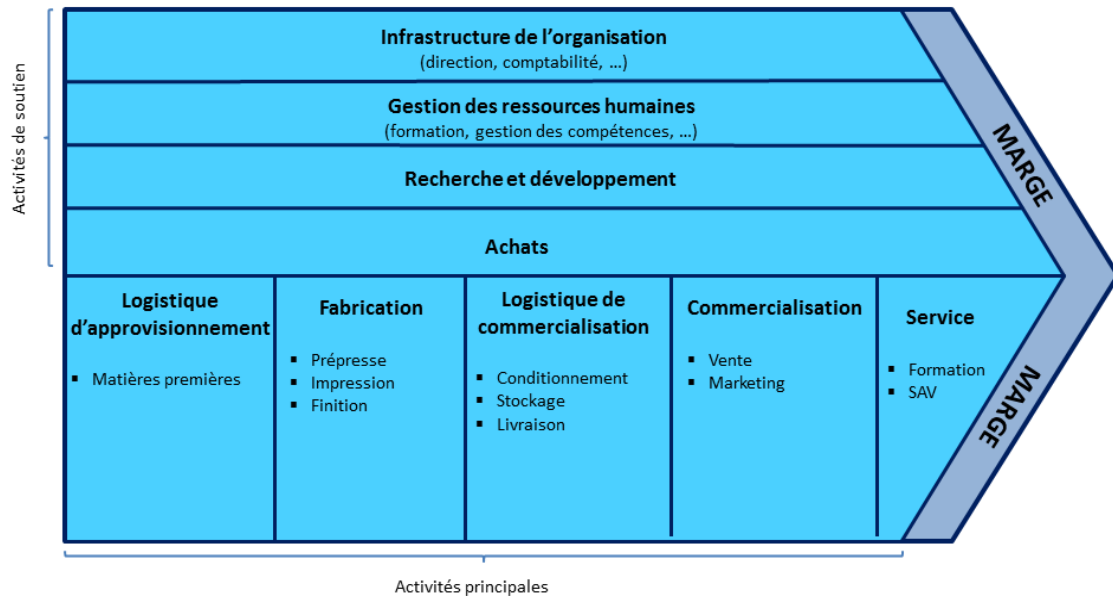


Figure 35 : Principe général d'une chaîne de valeur de Porter

Dans le cas de l'emballage pharmaceutique intelligent, on distingue trois types d'entreprises pour lesquelles la chaîne de valeur diffère au niveau de la *logistique d'approvisionnement* et de la *fabrication*.

Dans le premier cas, l'entreprise réalise la totalité de l'impression de l'emballage. Ses matières premières sont : le carton, les encres conventionnelles, les encres conductrices ainsi que les éventuels composants électroniques.

Dans un deuxième cas, l'entreprise s'occupe exclusivement de l'ajout d'électronique imprimé, ses matières premières sont alors l'emballage carton imprimé, les encres conductrices et les éventuels composants électroniques.

Le dernier cas est celui de l'entreprise de transformation qui assemble l'emballage déjà imprimé avec des éléments d'électronique imprimée sur des étiquettes adhésives.

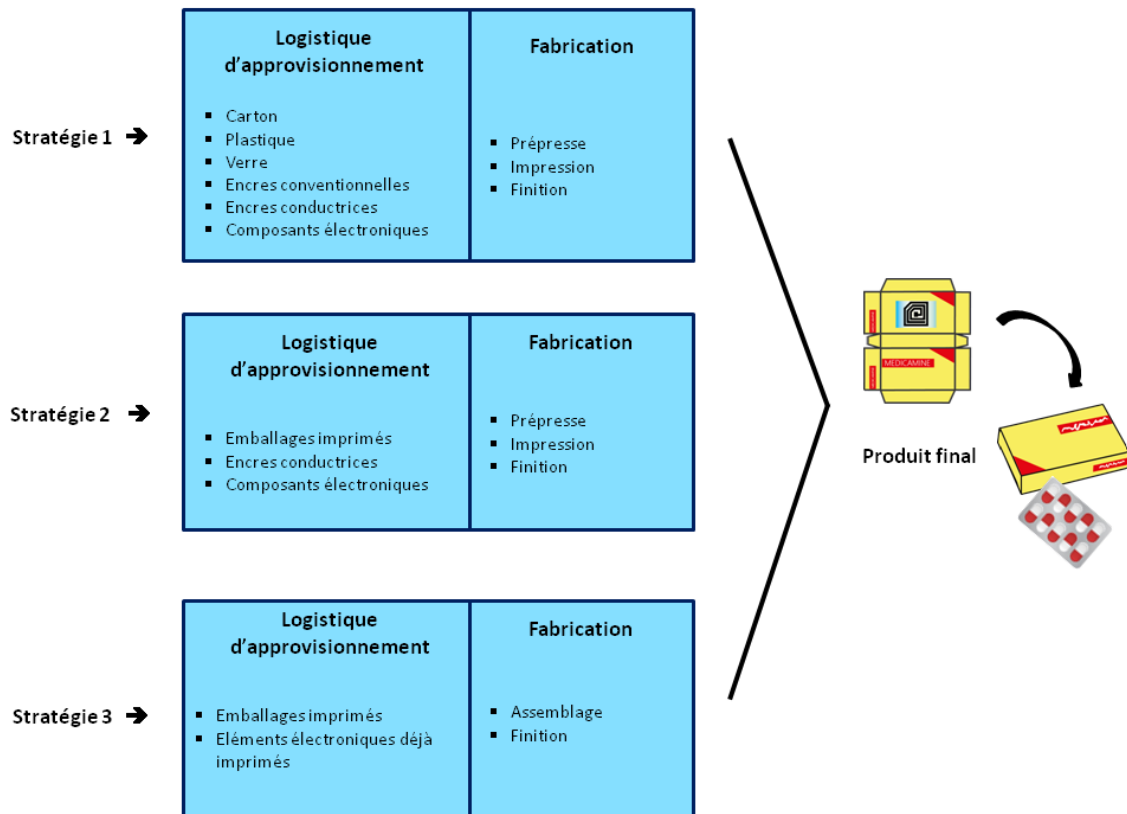


Figure 36 : Trois chaînes de valeurs envisageables

IV. Perspectives d'évolution

1. Facteurs clés de développement

Le secteur de l'emballage pharmaceutique intelligent vise à améliorer la sécurité du patient, le suivi des traitements et de la protection du médicament. Pour ce faire de nouveaux outils sont utilisés pour renseigner les informations accompagnant le médicament, sur la traçabilité et la protection contre la contrefaçon. Le développement durable est un autre défi d'importance croissante. Les laboratoires pharmaceutiques et leurs fournisseurs d'emballage développent sur l'éco-conception qui en permettant de diminuer les quantités de matières et d'énergie utilisées répond à une préoccupation majeure : la réduction des coûts.

Pour ce faire la sérigraphie, le numérique ou encore l'impression 3D permettent de développer des produits fonctionnels. Ces procédés d'impression visent à imprimer des éléments permettant l'accès facile aux informations sur les composants médicinaux et l'interaction de différents médicaments entre eux, et visent aussi à modifier les emballages de produits afin de faciliter leur utilisation pour tous.

Le frein principal à l'extension de cette technologie aux produits emballés, pharmaceutiques ou non, reste son prix. Les volumes concernés doivent être importants pour permettre une réduction des coûts. De plus, on peut s'interroger sur l'intérêt de l'insertion d'éléments intelligents sur ces emballages. En effet, pour certaines personnes, il s'agit là de faible valeur ajoutée des produits. C'est pourquoi des efforts se portent aujourd'hui sur la

réduction des coûts, notamment des étiquettes NFC, via la réduction des matières premières et la miniaturisation des systèmes.

Les facteurs clés de développement de cette technologie sont la gestion des coûts ainsi que le développement des machines et des technologies qui peuvent permettre une incorporation de l'électronique imprimée en ligne.

Principaux acteurs

D'après le tableau 9, les principaux acteurs du secteur de l'emballage pharmaceutique intelligent regroupent plusieurs catégories d'industriels : l'industrie pharmaceutique, les fournisseurs d'encre et les fournisseurs de substrat. En effet, en fonctionnalisant les emballages pharmaceutiques, les industriels, tels que les laboratoires, se tournent vers des fournisseurs d'encre conductrice et active permettant l'ajout de valeur ajoutée aux emballages. Quant aux fournisseurs de substrat, ils sont ou peuvent être les mêmes que ceux des industries pharmaceutiques conventionnelles puisque l'impression peut se réaliser sur tout type de substrats (flexibles, fins, durs...).

Industrie pharmaceutique (laboratoires)	Fournisseurs d'encre		Fournisseurs de substrat
	Encres conductrices	Encres actives	
-Astrazeneca -GlaxoSmithKline -West Pharmaceutical -Schreiner Medipharm -Stiplastic -Novartis -Antares	-Heraeus -Novacentrix -Intrinsiq -NanoGap d'argent -Poly-Ink -SkySpring Nanomaterials -Applied Nanotech	-ColorChange Corporation -INX International Ink Co -Gans	-Arjowiggins (papier) -DS Smith (carton) -Smurfit Kappa (carton)

Tableau 9 - Principaux acteurs du secteur de l'emballage pharmaceutique intelligent

2. Diagnostic stratégique

Pour les entreprises traditionnelles ou start-up se lançant dans l'emballage pharmaceutique intelligent, il est intéressant d'établir un diagnostic stratégique afin de pouvoir se positionner sur ce marché en développement.

<p style="text-align: center;">FORCES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Large variété des supports - Apport de valeur ajoutée pour le client - Bonne qualité des produits - Protection contre la contrefaçon - Traçabilité - Sécurité du patient (suivie des prises) - Apport d'informations aux clients finaux - Suivi de paramètres physiques pendant le transport et le conditionnement des produits 	<p style="text-align: center;">FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du coût des boîtes - Manque d'expertise - En cours de développement - Gestion du cycle de vie des produits (recyclage des encres, valorisation de l'emballage)
<p style="text-align: center;">OPPORTUNITÉS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demande des patients - Fonctionnalisation des emballages 	<p style="text-align: center;">MENACES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réglementations (collecte des données personnelles) - Approvisionnement en matières premières (disponibilité) - Prix des matières premières (encres, substrats) - Concurrence par d'autres technologies ou d'autres objets

Tableau 10 - Matrice SWOT

L'emballage pharmaceutique intelligent est un secteur en développement. C'est pourquoi, contrairement à des secteurs implantés pour qui les menaces proviennent d'une autre technologie innovante concurrente, les menaces du secteur de l'emballage pharmaceutique intelligent sont notamment liées au coût de mise en place de la production, aux réglementations strictes et à la contrefaçon de médicaments coûteux. C'est ainsi que les potentiels nouveaux entrants se tiennent à distance de ce secteur.

L'autre enjeu majeur, existant pour la plupart des secteurs industriels, est l'approvisionnement en matières premières. Dans le secteur ciblé par cette veille technologique, ces matières premières sont les polymères et encres conductrices. Un des principaux objectifs des industriels est de trouver une ressource abondante à bas coût. Comme l'indique la matrice SWOT présente sur le tableau 10, certaines entreprises sont déjà parvenues à créer de la valeur ajoutée aux emballages pharmaceutiques traditionnels.

Les points faibles : ces sociétés sont des précurseurs dans le secteur de l'emballage pharmaceutique intelligent. Le manque d'expertise et la gestion du cycle de vie des produits restent encore à améliorer.

3. Elaboration de scénarios et analyse des risques

La méthode des scénarios consiste à prévoir l'évolution future d'un concept ainsi que les problèmes et opportunités associés. Elle a pour but de concevoir les futurs possibles et d'explorer les diverses progressions du concept dans le but d'envisager d'autres éventualités.

L'écriture des scénarios nécessite une analyse de l'environnement économique. Il fait référence à tous les facteurs économiques externes qui influencent les habitudes d'achat des consommateurs et qui ont donc une incidence sur les perspectives de développement d'un procédé ou d'une technologie. [29], [30]

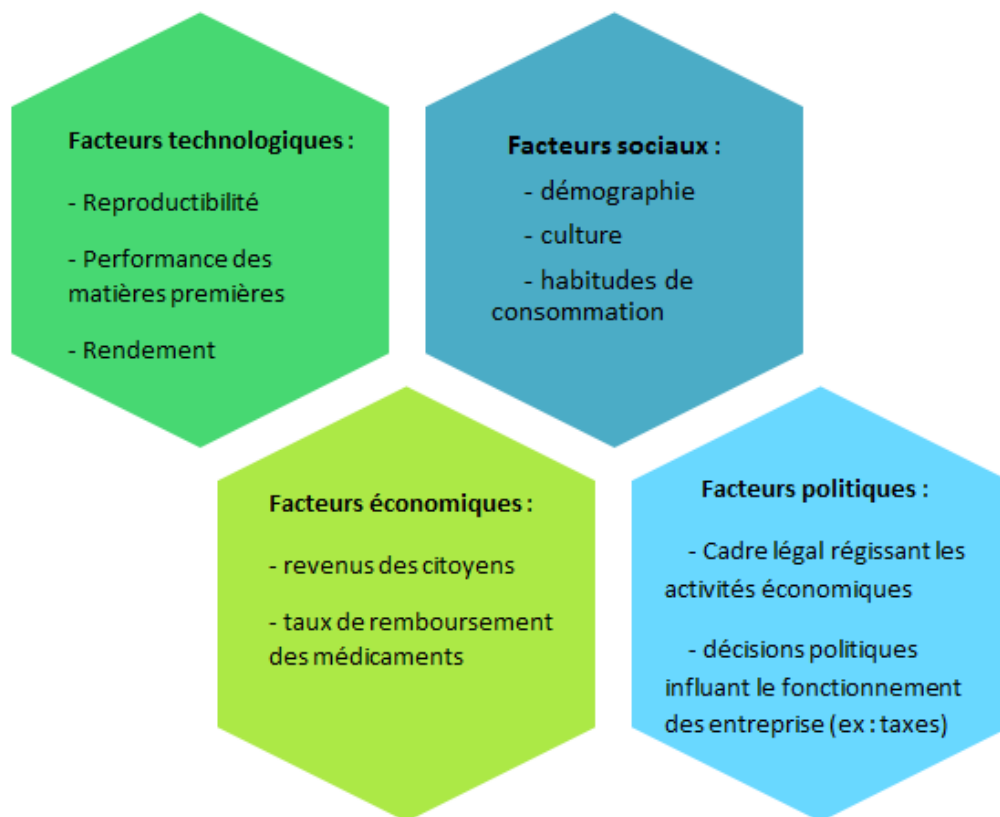


Figure 37 : Facteurs économiques de développement de l'électronique imprimée sur des emballages pharmaceutiques

La figure 37 expose les différents facteurs économiques externes au domaine de l'impression d'emballage pharmaceutique avec électronique imprimée. Soulignons que les consommateurs peuvent mal accueillir le produit en raison de leur habitude de consommation mais aussi de leur revenu. En effet, le prix de ces emballages intégrant de l'électronique imprimée augmentera le prix du médicament ce qui peut limiter l'accroissement de l'entreprise.

La méthode des scénarios comprend deux premières phases : la construction de la base suivie de l'élaboration de scénarios qui conduisent à une troisième phase stratégique. Cette dernière phase consiste à compléter l'étude par une étude des conséquences de ces scénarios sur le problème posé.

Base : Parties I, II et III.

→ **Scénario n°1 - Si la demande des patients est croissante alors les emballages pharmaceutiques fonctionnels prendront une grande part de marché. En 2030, 45% des médicaments sous ordonnance sont conditionnés dans des emballages disposant de l'électronique imprimée.**

Hypothèses :

- Les consommateurs sont en attente d'emballages pharmaceutiques intelligents.
- Les entreprises Saralon et Palladio sont devenu leader du marché de l'emballage pharmaceutique.
- Le recyclage des encres métalliques est désormais possible.

En 2030, les applications de l'électronique imprimée sur les emballages pharmaceutiques sont nombreuses. En effet, les projets initiés par les nouveaux entrants sur ce secteur apportent des nouveautés et se développent. Ces innovations intéressent les intermédiaires, intervenants depuis la fabrication du produits jusqu'à sa livraison, ainsi que les consommateurs finaux. L'implémentation de capteurs de température, par exemple, permet aux pharmacies réceptionnant le produit de contrôler si le produit a subi des fluctuations de température pouvant altérer son efficacité. D'autres innovations, dans le secteur de l'affichage par exemple sont utiles aux consommateurs pour l'aider à suivre sa consommation. Dans une société où les innovations sont permanentes, les emballages intelligents sont des produits qui intéressent les consommateurs et dont le marché est amené à croître.

L'augmentation des volumes de production d'emballage présentant de l'électronique imprimée a poussé les fabricants à trouver des solutions pour maîtriser le cycle de vie des produits, ils sont désormais triés et recyclés. Les composants notamment les matériaux conducteurs sont séparés des emballages puis revalorisés indépendamment des cartons et papiers dont les process de recyclage sont déjà maîtrisés actuellement. De plus, la durée de vie des pistes réalisées en électronique imprimés est adaptée à la durée d'utilisation des médicaments.

Probabilité de réalisation : 40 %

→ **Scénario n°2 - Si malgré les investissements de l'industrie pharmaceutique dans les projets d'emballages fonctionnels, ces derniers ne parviennent pas à pénétrer le marché alors en 2030, seuls certains emballages de luxe sont équipés d'électronique imprimée.**

Hypothèses :

- Faible intérêt des clients pour ce type de produit.
- Augmentation du coût des métaux utilisés dans les encres.
- Aucune solution durable concernant le recyclage.

Malgré le potentiel des emballages pharmaceutiques intelligents et la tentative de production à grande échelle, le marché ne grandit pas. Les consommateurs ne sont pas intéressés par l'apport de ces emballages. Ils

considèrent que les éléments imprimés sur les emballages pharmaceutiques offrent peu de valeur ajoutée au produit. De plus, l'augmentation du prix des médicaments devient un frein. Le coût de production prévisionnel ne correspond pas à l'état actuel du marché, le cours des métaux tel que l'argent a fortement augmenté ce qui rend les encres très chères. Ce coût se répercute automatiquement sur le prix de vente des emballages. Les consommateurs ne veulent pas payer leurs médicaments plus chers pour une technologie qu'ils considèrent peu pertinente.

Le recyclage de ces emballages reste un problème majeur, peu de solutions existent pour optimiser le cycle de vie. La législation s'est renforcée et les taxes sont très élevées sur les produits non recyclables. Cependant, certaines entreprises persistent à investir car les emballages intelligents réussissent à percer le marché du luxe (vins et spiritueux, cosmétique, ..) où les clients aisés sont prêts à payer pour cette technologie et apprécient ces produits.

Probabilité de réalisation : 60 %

→ Scénario n°3 - Si dix ans après les premiers prototypes, l'électronique imprimée sur les emballages pharmaceutiques s'est développée mais doit faire face à de la concurrence alors, en 2030, seuls certains groupes sont présents sur le marché mais perdent des parts de marché au profit de l'électronique conventionnelle.

Hypothèses :

- De grands groupes mettent sur le marché des machines permettant d'imprimer et d'intégrer l'électronique imprimée en ligne.
- La sécurité sociale rembourse les emballages intelligents au même titre que les emballages conventionnels.
- La technologie Pill'Up concurrence l'électronique imprimée.

Après plusieurs années de développement, les emballages pharmaceutiques intelligents sont disponibles dans toutes les pharmacies et tous les hôpitaux. Des entreprises telles que HP et MGI commercialisent des presses permettant d'imprimer les éléments électroniques en ligne ce qui a permis la production à grande échelle à un coût minimisé. Certaines applications rencontrent du succès comme les tags RFID, utilisés autant par les pharmacies pour référencer leurs produits que par les clients finaux pour obtenir des informations grâce à leur smartphone. En parallèle, d'autres technologies pénètrent le marché et concurrencent l'électronique imprimée. Un des leaders, Electronic Alliance propose le bouton Pill'Up, un bouton intelligent qui se destine principalement à être collé sur l'emballage des médicaments. Connecté à un smartphone, le bouton rappelle au patient qu'il est l'heure de prendre le médicament par un signal lumineux et sonore, une notification ou une vibration.

Probabilité de réalisation : 80 %

Conclusion

L'électronique imprimée est sans nul doute une innovation promise à une forte croissance et applicable à de nombreux domaines. Il est aujourd'hui possible de produire des capteurs, des diodes, des indicateurs ou des écrans grâce à cette technologie encore peu connue du grand public. Si certains composants ont déjà passé l'étape de l'industrialisation notamment dans le photovoltaïque, il est encore difficile d'évaluer le potentiel de l'électronique imprimée dans d'autres secteurs.

L'étude menée sur les emballages pharmaceutique a permis de souligner les différents verrous qui pourraient freiner le développement de l'électronique imprimée sur ce type d'emballage ; mais elle a également montré l'investissement important des entreprises dans ce domaine et les apports bénéfiques possibles pour les consommateurs.

Les emballages pharmaceutiques munis d'électronique imprimée apportent des solutions à des problèmes variés. Concernant la logistique de distribution des médicaments, l'implémentation de capteurs capables de détecter des fluctuations de température anormales et de les afficher serait une aide précieuse pour les distributeurs et les consommateurs qui pourraient évaluer la qualité de leur produit. Des puces spécifiques aideraient à l'authentification des médicaments et permettraient de lutter contre la contrefaçon. Enfin, l'impression d'écran pourrait faciliter la prise des produits pour certains patients en indiquant les heures de prises ou les quantités à consommer.

Reste à savoir si le grand public accueillera favorablement cette nouvelle technologie. Dans une société où les innovations sont permanentes, l'électronique imprimée pourrait être éclipsée par des technologies concurrentes moins coûteuses et plus adaptés aux secteurs de l'emballage pharmaceutique. Elle pourra cependant percer des marchés à plus forte valeur ajoutée où les clients sont prêts à mettre le prix.

Contacts

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à ce travail de veille en nous fournissant les informations et chiffres nécessaires à sa réalisation.

Sanne TIEKSTRA - Coordinatrice des produits finis - BUMAGA BV - Arnhem, Pays-Bas

Aurore DENNEULIN - Enseignante - Grenoble INP - Pagora - Grenoble, France

Anne BLAYO – Enseignante - Grenoble INP - Pagora - Grenoble, France

Nadège REVERDY-BRUAS - Enseignante - Grenoble INP - Pagora - Grenoble, France

Bibliographie

- [1] BARDINET S. Industries pharmaceutiques - Emballages intelligents. Le contenant bientôt aussi efficace que le contenu ? 09/02/2012 [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.lenouveleconomiste.fr/lesdossiers/industrie-pharmaceutique-emballages-intelligents-13636/>> (consulté le 16/02/2018)
- [2] Pro Carton. Emballages carton pharmaceutiques. Les emballages carton pharmaceutiques contribuent à la santé et à la sécurité des consommateurs. 2014. [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.procarton.com/les-cartons-et-le-developpement-durable/new-technology/applications-a-valeur-ajoutee/emballages-carton-pharmaceutiques/?lang=fr> 16/02/2018> (consulté le 16.02.2018)
- [3] CAVEL S. et MILLET C. Les étiquette RFID. 01/05/2004. [en ligne]. Disponible sur : <<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2004/rfid.htm> 16/02/2018> (consulté le 16.02.2018)
- [4] GHIBAUDO T. et HE R. Impression 3D & électronique imprimée associées. 01/05/2016. [en ligne]. Disponible sur : <<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2016/impression3D-electronique-imprimee.htm> 16/02/2018> (consulté le 16.02.2018)
- [5] BRAS J. Papiers et emballages intelligents et actifs. 01/03/2009. [en ligne]. Disponible sur : <<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/Note/2009/papier-emballage-intelligents.htm>> (consulté le 16.02.2018)
- [6] MARSDEN T., JOHNSON S. Progressing 'Smart Packaging' to the next level. OPE journal, 2018, p8-9
- [7] HERBERT M. CPI : A Smart Approach to Pharmaceutical Packaging [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.uk-cpi.com/blog/a-smart-approach-to-pharmaceutical-packaging>> (consulté le 16.02.2018)
- [8] FAURE V. Contrôle de la formation de motifs conducteurs par jet d'encre : maîtrise multi-échelle des transferts de matière dans des suspensions nanométriques. Université Grenoble-Alpes, 2017.
- [9] Drupa. How the Pharmaceutical Industry Benefits from Intelligent Packaging. 07/11/2016. [en ligne]. Disponible sur : <<http://blog.drupa.com/de/pharmaceutical-industry-benefit-intelligent-packaging/>> (consulté le 08/03/2018)
- [10] Drupa Redaktion. How Intelligent Ink and Printed Electronics Revolutionize Pharma Packaging. 23/09/2016. [en ligne]. Disponible sur : <<http://blog.drupa.com/de/intelligent-ink-printed-electronics-revolutionize-pharma-packaging/>> (consulté le 08/03/2018)
- [11] H.Kipphan. Handbook of print media. Springer, 2001.
- [12] A.Huebler, U.Hahn, W.Beier, N.Lasch, and T.Fischer. High volume printing technologies for the production of polymer electronic structures. IEEE Polytronic Conference, pages 172-176, 2002
- [13] ATKINSON J-E. Fate of Conductive Ink Pigments During Recycling and Landfill Deposition of Paper-Based Printed Electronics. 01/06/2017. [en ligne]. Disponible sur : <<http://scholarworks.wmich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4128&context=dissertations>> (consulté le 08/03/2018)
- [14] R.Parashkov, E.Becker, T.Riedl, H.-H. Johannes, and W.Kowalsky. Large area electronics using printing methods. In Proceedings of the IEEE, volume 93, pages 1321-1329, 2005
- [15] Eco emballage. Emballages et rapports développement durable : Faites connaître votre engagement. 01/06/2012. [en ligne]. Disponible sur <http://www.ecoemballages.fr/sites/default/files/emballages_et_rapports_developpement_durable.pdf> (consulté le 08/03/2018)
- [16] Anonyme. Printed Electronics for Anti-Counterfeiting applications. 01/01/2018 [en ligne]. Disponible sur <<http://saralon.com/SaralSecurity/>> (consulté le 08/03/2018)
- [17] Anonyme. Saralon Simplifying Electronics. 2018. [en ligne]. Disponible sur : <<http://saralsecurity.com/>> (consulté le 08/03/2018)
- [18] Anonyme. Une étiquette électronique pour contrôler le respect de la chaîne du froid. 25/11/2013. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.graphiline.com/article/17165/Video---une-etiquette-electronique-pour-controler-le-respect-de-la-chaine-du-froid>> (consulté le 08/03/2018)
- [19] ZAFFAGNI M. Une étiquette électronique pour surveiller la chaîne du froid. 01/11/2013. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-etiquette-electronique-surveiller-chaine-froid-49927/>> (consulté le 08/03/2018)
- [20] Anonyme. L'emballage devient plus actif et intelligent. 01/01/2018. [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.preventpack.be/fr/dossier/emballages-actifs-et-intelligents>> (consulté le 16/02/2018)

- [21] Anonyme. IDEP et AGEFOS PME - CGM. Rapport annuel Regards sur les marchés de la communication graphique. 2015. [en ligne]. Disponible sur :<http://www.com-idep.fr/sites/default/files/rapport_regards_au_22.10.15_web.pdf> (consulté le 06/04/2018)
- [22] Anonyme. Jones Packaging. Emballage intelligent Permettant une multitude de solutions novatrices et interactives. 2017. [en ligne]. Disponible sur <<http://www.jonespackaging.com/fr/emballage-imprim%C3%A9/emballage-intelligent>> (consulté le 06/04/2018)
- [23] Anonyme. Eli Lilly and Company. Lutte contre la contrefaçon. 2017. [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.lilly.fr/fr/responsabilite-sociale/engagement-societal/contrefacon.aspx>> (consulté le 06/04/2018)
- [24] Anonyme. ThinFilm. Thinfilm's NFC mobile marketing solutions empower brands to connect directly with consumers and deliver unique digital experiences – all with the tap of a smartphone. 2018. [en ligne]. Disponible sur :<<http://thinfilmmfc.com/>> (consulté le 06/04/2018)
- [25] FREIDINGER-LEGAY A. All 4 pack. Le marché de la santé. 01/11/2018. [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.all4pack.fr/Le-salon/Les-secteurs/emballage-pharmaceutique>> (consulté le 06/04/2018)
- [26] Anonyme. MSI Reports. Le Marché de l'Emballage Pharmaceutique en France 2016, Nouvelles tendances et prévisions. 01/11/2016. [en ligne]. Disponible sur :<https://www.msi-marketingresearch.co.uk/market_research_report_pdfs/EFR10-S.pdf> (consulté le 06/04/2018)
- [27] Anonyme. Manager GO!. Identifier les activités créatrices de valeur. 17/02/2018 [en ligne]. Disponible sur :<<https://www.manager-go.com/strategie-entreprise/chaîne-de-valeur.htm>> (consulté le 06/04/2018)
- [28] A. Blayo and B. Pineaux. Printing processes and their potential for RFID printing. ACM International Conference Proceeding Series, 121 :27-30, 2005
- [29] Anonyme. bdc*. Environnement économique. 2017 [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/pages/environnement-economique.aspx>> (consulté le 06/04/2018)
- [30] Anonyme. Économie solidaire. Définitions de environnement économique. 20/07/2018. [en ligne]. Disponible sur:<<http://www.economiesolidaire.com/2010/07/20/environnement-economique-definition/>>
- [31] Anonyme. UNIC (Union Nationale des Industries de l'Impression et de la Communication), Acteurs de la filière graphique n°114, 2ème trimestre 2016. 2016. [en ligne]. Disponible sur :<<http://uniic.org/wp-content/uploads/2016/03/Acteurs-Graphiques-114-compressed.pdf>> (consulté le 09/04/2018)
- [32] Anonyme. Afelim. 2017. [en ligne]. Disponible sur :<<http://www.afelim.fr>> (consulté le 09/04/2018)
- [33] PETCH M. Une révolution scientifique : GlaxoSmithKline et l'avenir des produits pharmaceutiques imprimés en 3D. Autodesk. 13/09/2016. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.autodesk.fr/redshift/3d-printed-pharmaceuticals/>> (consulté le 26/04/2018),
- [34] Leem (Les entreprises du médicaments). Les essentiels du médicament - Mieux comprendre le médicament et ceux qui le font; 01/01/2013 [en ligne]. Disponible sur : <http://www.leem.org/sites/default/files/Essentiel-Conditionnement_du_medicament.pdf>(consulté le 26/04/2018)
- [35] Mélissa. N'oubliez plus votre traitement avec la boîte de médicaments connectée. Objet Connecté. 03/09/2014. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.objetconnecte.net/iremember-boite-de-medicaments-connectee/>> (consulté le 27/04/2018)
- [36] Anonyme. Pill'Up : le coach santé connecté aux médicaments. Les numériques. 15/08/15. [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.lesnumeriques.com/objet-connecte/electronic-alliance-pill-up-p27903/pill-up-coach-sante-connecte-medicaments-n44599.html>> (consulté le 27/04/2018)
- [37] RAY M-C. Futura Science. Nos médicaments seront-ils bientôt imprimés en 3D ?. 07/10/2017 [en ligne] Disponible sur : <<https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/medecine-nos-medicaments-seront-ils-bientot-imprimes-3d-62328/>> (consulté le 12/05/2018)
- [38] Anonyme. La NFC comment ça marche ? [en ligne] <<https://www.paragon-rfid.com/la-nfc-comment-ca-marche/>>
- [39] Anonyme. L'emballage, acteur important de la logistique des produits. 01/09/18. [en ligne] Disponible sur : <<http://docplayer.fr/11724230-L-emballage-acteur-important-de-la-logistique-des-produits.html>>
- [40] Anonyme. Pharmarket : Vos pharmacies françaises en ligne. DOLIPRANE 1000mg 8 gélules. 18/05/2018. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.pharmarket.com/doliprane/1000mg-8-gelules-p2965>>
- [41] Anonyme. PDS International Limited. Technical information. 2015. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.pdsinternational.com/printing_information/>
- [42] Junior City. Du tri au recyclage. A l'usine de recyclage. 2018. Disponible sur : <<http://www.ecoemballages.fr/juniors/du-tri-au-recyclage>>

[43] D'ORTOLI J., MAZOUIN. Encres conductrices à base de cuivre. 06/03/2015. [en ligne]. Disponible sur :
<<http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2015/encre-conductrice-cuivre.htm>>(consulté le 18.05.2018)

[44] FADDOUL R. Procédés d'impression dédiée à la production de masse de microcomposants électroniques à base de céramique. Université Grenoble-Alpes, 2012.