

# ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE



**GUIDE DE VOYAGE  
À L'ATTENTION  
DES ETI ET PME**

***Eric Gaudin***

***Mémoire accompagné par Laure Garreau***

***Réalisé dans le cadre du Mastère Spécialisé Innovation  
by Design De l'Ecole Nationale Supérieure de Création  
Industrielle (ENSCI-Les Ateliers)***

***Présenté et soutenu le 4 février 2020***

**ENSCI**  
LES ATELIERS

## Remerciements

Ce carnet de voyage est le fruit d'un parcours parsemé de nombreux échanges. Parmi toutes celles et ceux dont j'ai croisé le chemin, je tiens particulièrement à remercier :

Laure Garreau qui a accepté d'encadrer ce mémoire et dont le savoir-faire, les conseils et la bienveillance m'ont permis de mener à bien cet exercice de réflexion et de pratique.

L'équipe pédagogique du Mastère Spécialisé Innovation By Design, et notamment Mathias Béjean, Stéphane Gauthier, Geneviève Sengiessen, Muriel Zerafa, Christine Terrisse, ainsi que l'ensemble des intervenants, tous très professionnels et très inspirants.

Clémentine Chambon qui m'a fait partager son expérience et son travail de designer.

Paul Piette qui dirige l'antenne de Douai du Centre Technique du Papier, avec lequel j'ai démarré cette exploration dans le monde de l'électronique imprimée.

Les dirigeants et collaborateurs de l'entreprise Nicolas et de l'entreprise Pimprenelle (surnommées ainsi pour des raisons de confidentialité), avec lesquels j'ai cheminé.

Mes camarades de mastère : Jérôme, Michelle, Ludivine, Martin, Andy, Marie Laure, Marie, Audrey, Macarena, Marion, Stéphanie, Myriam, Edouard, Solène, Léna, Sebastian, Alexis, Marie, Coline, pour leur enthousiasme, leur créativité et toutes les discussions que nous avons pu partager au cours de l'année. Un clin d'œil particulier pour les groupes fil rouge « 9CUBE » et « LAAMAC », et un grand merci à Anne Devoret et Simon d'Hénin pour leur aide.

Et enfin ma famille, qui a supporté dans tous les sens du terme ma transition entamée avec ce Mastère Ibd. Leur compréhension, leur soutien et leurs encouragements furent d'un grand réconfort.



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 1</b> <b><i>L'ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE ELDORADO FANTASMÉ</i></b> <b><i>OU VÉRITABLE ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE ?</i></b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE 2</b> <b><i>EN QUÊTE DE SENS : DÉTOUR PAR LE QUARTIER</i></b> <b><i>UNDERGROUND DES SCIENCES HUMAINES ET</i></b> <b><i>DE LA CRÉATION</i></b>	<b>26</b>
<b>CHAPITRE 3</b> <b><i>EXPÉDITION VERS L'INNOVATION</i></b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>77</b>
<b>LECTURES ET INSPIRATIONS</b>	<b>81</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>84</b>

## **INTRODUCTION**

Jusqu'à ce jour, j'ai consacré ma vie professionnelle aux industries graphiques, autrement dit l'imprimerie, dans des entreprises moyennes ou des unités appartenant à des groupes mais dont les tailles n'excédaient pas celles de PME. Ma formation initiale d'ingénieur m'avait rapidement mené vers des responsabilités de production, puis avec le temps, à la direction technique de sites industriels. Les possibilités d'innovation apparues dans mon domaine d'activité furent toutes envisagées sous un angle technologique ou marketing. Un mode de pensée en processus très organisé s'est alors imposé à l'organisme à l'arrivée de chaque élément nouveau, et focalisé sur l'impact de cet élément vis-à-vis du modèle d'affaires existant. En reprenant l'historique des industries graphiques européennes des trente dernières années, j'ai pu constater un déclin continu qui s'est considérablement accéléré au début de ce siècle. En tant qu'industrie de services, le domaine est pourtant moins contraint que d'autres par la forte compétitivité des pays asiatiques. La dématérialisation des documents administratifs et des imprimés de communication n'explique pas à elle seule cette situation. Une caractéristique peut néanmoins être relevée. Les activités de recherche et développement des entreprises du secteur de l'imprimerie sont largement confiées à leurs fournisseurs ce qui limite d'autant leurs singularités et leurs valeurs ajoutées.

Dans un contexte de surcapacité de production, une guerre des prix, seul critère différenciant pour les clients, devint inéluctable et scella le destin de ceux dont les finances étaient fragiles. La dématérialisation n'intervint qu'au début du vingt et unième siècle. Elle ne fut pas la raison première du déclin, mais en accéléra le processus en se développant rapidement après la crise des *subprimes* de 2008. Malgré les gains de productivité obtenus par les imprimeurs et la réduction des capacités de production, la chute continue de la demande provoqua des défaillances en cascade dans la profession.

Les industries graphiques se trouvaient-elles dans la même situation que les artisans du 19<sup>ème</sup> siècle ? Assister impuissantes à la disparition de leur métier et son remplacement par toutes les formes de digitalisation et de dématérialisation induites ? Certes, la forte atomisation du secteur avec beaucoup de toutes petites entreprises pourrait le faire penser, mais de grosses compagnies aux fortes capacités d'investissements ont lourdement chuté et de petites structures se sont souvent révélées plus agiles. Le développement de l'impression numérique, d'abord porté par les leaders des machines de reprographie puis par les constructeurs de machines traditionnelles, ont apporté de nouveaux marchés aux imprimeurs, mais toujours avec une forte captation de la valeur ajoutée par ces fournisseurs de machines et une guerre tarifaire qui est intervenue assez rapidement.

L'époque où les imprimeurs alimentaient un marché en progression avec des emballages, des documents papiers, des supports de communication et d'information, des titres de transport etc. aux formats standards définis par leurs clients, est révolue depuis longtemps. Les développements de services associés et notamment dématérialisés furent habilement saisis par quelques-uns mais ces marchés restent encore aujourd'hui limités. Pour autant, les besoins sont encore présents car l'imprimerie sert largement les secteurs liés aux produits physiques et s'avère toujours un vecteur de communication qui continue à jouer un rôle singulier au sein des médias.

Confier aux seuls fournisseurs de machines et d'encre le soin de définir les développements techniques de l'imprimerie et d'une certaine façon son futur avait-il été une erreur ? Jusqu'à présent l'intuition et l'argumentaire avaient cédé la place au déterminisme et à la logique déductive, la singularité au conformisme. Ne doit-on pas envisager un modèle d'organisation plus adapté et plus à même d'être représentée par un écosystème intégrant plusieurs acteurs ? Et si nous n'avions fait qu'étouffer la créativité au moment où elle pouvait s'épanouir ? Ce, au profit d'une solution ressemblante sinon identique au modèle existant, inefficace au regard de nos efforts et de nos résultats uniquement productivistes ? C'est avec ces interrogations que j'abordais en octobre 2018 la formation « Innovation By Design ».

L'électronique imprimée représente une nouvelle opportunité scientifique et les imprimeurs peuvent déjà s'emparer des premières briques fonctionnelles disponibles. Cette technologie émergente permet presque de démarrer d'une copie blanche. De prestataire de services, l'organisme peut devenir concepteur de produits et de services et accroître sa valeur ajoutée. Il peut capitaliser sur ses connaissances métier et ses outils de production et jouer pleinement un rôle novateur dans ce nouveau marché. Présentée comme disruptive en raison des réductions des coûts de production que pourraient constituer l'impression d'éléments électriques ou électroniques par les outils détenus par les imprimeurs, cette avancée semble encore plus intéressante à considérer sous l'angle des propriétés de plasticité qu'elle introduit. La tentation est alors grande d'explorer sur cette terre vierge de nouvelles formes de produits, de services et d'organisations.

Cette terre vierge sera celle de l'électronique imprimée. Une technologie particulière, en pleine éclosion, dont les opportunités de développement pour les entreprises de tailles moyennes seront étudiées dans ce mémoire, et ce par le biais d'exemples de modèles d'organisation propices au développement d'une activité d'innovation. Leurs modèles d'organisation actuels semblent insuffisants pour s'engager dans une telle aventure mais elles possèdent des capacités d'adaptation qui pourraient s'avérer fort utiles. Dans un premier temps, je vous propose de partir en voyage au pays de l'électronique imprimée afin d'y rencontrer les acteurs des domaines du marketing et de la technique, d'y observer ce qu'ils y réalisent et ce qu'ils projettent d'y faire. Ensuite, nous nous déplacerons vers le quartier alternatif de la philosophie et du design, en quête de sens, dans lequel humanisme et visions créatrices bouillonnent et inspirent. Riches des enseignements que nous aurons tirés de ces deux pérégrinations a priori paradoxales, nous irons tester quelques idées et méthodes avec des entreprises de type PME et ETI prêtes à s'engager dans une activité d'innovation pour lesquelles nous aurons constitué les équipes d'explorateurs nécessaires pour ce type d'aventure.

Bon voyage.



# **CHAPITRE 1**



Sources Images : avnetwork.com, printedelectronicsworld.com, PolyIC press picture.

## **L'ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE ELDORADO FANTASMÉ OU VÉRITABLE ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE ?**

## 1) Duel au Consumer Electronic Show de Las Vegas<sup>1</sup>



(Image extraite de « C'era una volta nell'ovest, il était une fois dans l'ouest », de Sergio Leone)

Janvier 2019, au CES de Las Vegas les visiteurs se pressent au stand LG pour y découvrir « OLED65R9 » le premier téléviseur souple au monde. Le constructeur Sud-Coréen mise sur l'effet de ses écrans souples *Organic Light Emission Diod* (OLED) de 65 pouces (165 cm) de diagonale offrant une superbe définition 4K et qui, après utilisation, se range en s'enroulant dans un boîtier rectangulaire dont la base est équipée d'enceintes bluetooth. Dès l'entrée principale du stand, le visiteur est attiré par des images fluides et contrastées qui défilent sur d'immenses murs courbes tapissés de ces écrans OLED souples.



OLED65R9 de LG, source image Le parisien CES 2019



(Robyn Beck/AFP/Getty Images)

Le responsable marketing de LG au CES de Las Vegas annonce fièrement, « ce que la science-fiction a imaginé il y a des décennies est désormais une réalité ». D'autres, tel Avi Greengart, analyste de GlobalData<sup>2</sup>, évoque une « technologie unique » qui ouvre la voie aux écrans pliables pour les produits grand public et qui devraient être « la grosse tendance cette année ». Sur le même salon, Samsung, le concurrent direct de LG présente son écran géant de 75 pouces (190 cm), « The Wall », lui aussi en définition 4K avec des modules *Micro Light-Emitting Diod* (Micro-LED) annoncés comme ayant une consommation deux fois moins importante qu'une technologie OLED. Par rapport à la technologie LED classique, la taille des pixels a été divisée par quatre et chacun des pixels est comme l'OLED auto-

<sup>1</sup> Le Consumer Electronic Show de Las Vegas est le plus important salon consacré à l'innovation technologique en électronique grand public. Il est organisé annuellement par la Consumer Technology Association.

<sup>2</sup> Global Data Plc (société de conseil et d'analyse de données). Source 20 Minutes avec AFP Publié le 08/01/19 John Locher/AP/SIPA





The Wall de Samsung, source image FrAndroid

émissif ce qui procure à l'image une qualité de finesse et de contraste toute aussi saisissante. Les téléviseurs classiques LED sont en réalité équipés d'un panneau *Liquid Crystal Display* (LCD) doté de LED car les écrans LCD ne peuvent pas produire leur propre lumière. Il est donc nécessaire de placer une lumière derrière eux, un rétro-éclairage, pour obtenir une image. La modularité est là aussi possible, Samsung envisage du reste la construction d'un mur d'images de 219 Pouces (556 cm) de diagonale pour le

prochain CES show<sup>3</sup>. Mais pour parvenir à développer industriellement cette technologie, le constructeur avoue devoir encore surmonter de nombreuses difficultés techniques et financières. Sa stratégie commerciale est pour l'instant alimentée par la technique *Quantum Light-Emitting Diod*<sup>4</sup> (Q-LED), un dispositif de filtration d'un rétroéclairage LED par un réseau de nanoparticules, qui propose un résultat visuel proche de celui des écrans OLED mais pour un prix marchand nettement inférieur.



Galaxy Fold, crédit photo : Mark Gurman

Samsung a finalement préféré consacrer l'OLED au développement d'écrans souples et pliables pour le marché du smartphone. Néanmoins au printemps 2019, les premiers exemplaires du Smartphone pliable Galaxy Fold confiés à certains médias ont très vite montré une faiblesse de la couche au niveau de la ligne de pliage ainsi qu'une confusion perturbante pour les utilisateurs entre un film de protection spécifique et nécessaire à ce type d'écran, et le film d'emballage habituellement présent sur les

écrans rigides<sup>5</sup>. La version grand public sort enfin en septembre de la même année et à un tarif particulièrement élevé. Si les principales erreurs techniques sont corrigées, les critiques considèrent le produit comme perfectible, en particulier sur le choix d'un format peu manipulable en mode replié et non adapté aux standards d'affichage en mode tablette.

Des péripéties qui soulignent non seulement la concurrence extrêmement vive entre les acteurs du marché mais également la grande variété des solutions techniques, de leurs difficultés de mise en œuvre, et des choix stratégiques qui en découlent.

<sup>3</sup> Christophe Séfrin , *CES Las Vegas 2019: 8K, OLED enroulable, écran XXXL: Les téléviseurs allument le salon*, 20 minutes article du 9 janvier 2019

<sup>4</sup> Q-LED, voir glossaire technique en annexe

<sup>5</sup> Source Phonandroid article de Florian Bayard du 18/04/2019 qui cite Dieter Bohn, journaliste chez The Verge et Mark Gurman, testeur chez Bloomberg

## 2) L'OLED icône de l'électronique imprimée : repères historiques et techniques générales de l'électronique imprimée

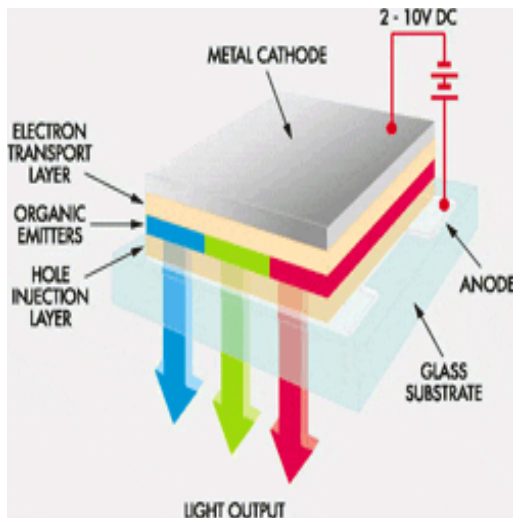


Schéma d'une OLED, Image Admatec

On parle d'OLED, d'électronique organique, d'électronique imprimée, mais que signifient ces différents termes ?

*Organic Light Emission Diode*, une diode électroluminescente qui utilise une matière carbonée issue de la chimie de synthèse comme source lumineuse. L'OLED est en ce sens une variante de la LED qui bénéficie de la technologie de l'électronique imprimée et qui sous une forme assez plate présente une conception analogue. De façon très schématique, l'OLED est un dipôle avec une structure multicouche dont chacune tient un rôle particulier dans la circulation à double sens de charges électriques opposées. La recombinaison de ces charges sous forme d'exciton<sup>6</sup> (paire électron-trou) dans la couche centrale provoque l'émission de photons, c'est-à-dire de lumière.

L'histoire de l'OLED commence avec la découverte du phénomène d'électroluminescence dont la première description nous fut donnée par Henry Joseph Round<sup>7</sup> en 1907 lorsqu'il appliqua une tension de 10 volts sur du carbure de silicium. Une quarantaine d'années plus tard, André Bernanose et al.<sup>8</sup> produisent de la lumière à base de matériaux organiques, l'acridine et la quinacrine, mais qui nécessitait une tension élevée. En 1955, Rubin Braunstein<sup>9</sup> découvre l'émission infrarouge de l'arséniure de gallium, semi-conducteur qui sera ensuite utilisé en 1962 par Nick Holonyak Jr. et S. Bevacqua<sup>10</sup> pour créer la première LED. La mise à disposition d'autres couleurs, jaune vert et bleu, au cours des dix années suivantes induira l'usage massif des LEDs en électronique. En 1963, Martin Pope et al.<sup>11</sup> décrivent l'électroluminescence de l'antracène, composé organique dont les intensités lumineuses nécessitent encore des tensions importantes. Il faut attendre 1977 et la publication par Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid, and Hideki Shirakawa<sup>12</sup> sur la haute conductivité du polyacétylène oxydé et dopé à l'iode pour voir un progrès majeur quant au développement de polymères organiques conducteurs. Ceci leur vaudra le prix Nobel de chimie en 2000. En repartant de l'antracène mais en utilisant le même système de dépôt sous vide que Holonyak pour former une couche mince (technique aujourd'hui requise), P.S. Vincett et al.<sup>13</sup> rapportèrent en 1982 une émission efficace dans le bleu avec des tensions de 12 à 30 volts proche du voltage standard des LEDs. La première OLED en tant que telle n'apparut qu'en 1987 avec une structure simple à 4 couches identique à celle d'une LED. Nous la devons à Ching W. Tang et Steven Van

<sup>6</sup> Exciton, voir glossaire technique en annexe

<sup>7</sup> Henry Joseph Round (1881-1966), ingénieur anglais, il fut l'un des pionniers de la radio et travailla pour la société Marconi.

<sup>8</sup> André Bernanose (1912-2002), physicien, chimiste et pharmacologue français, découvreur de l'électroluminescence.

<sup>9</sup> Rubin Braunstein (1922-2018), physicien américain spécialiste des émissions de lumière dans les semi-conducteurs.

<sup>10</sup> Nick Holonyak Jr. et S. Bevacqua, physiciens américains, créateurs de la diode à spectre visible.

<sup>11</sup> Martin Pope, physicien et chimiste américain spécialiste des semi-conducteurs organiques.

<sup>12</sup> Alan J. Heeger, physicien et chimiste américain. Alan G. MacDiarmid (1927-2007), chimiste néo-zélandais. Hideki Shirakawa, chimiste japonais. Tous trois prix Nobel de chimie en 2000 pour leur découverte des polymères conducteurs.

<sup>13</sup> Paul.S. Vincett. Physicien canadien, chercheur au Xerox Research Centre of Canada.

Slyke<sup>14</sup> du centre de recherche de Kodak. En 1990 la première couche purement émissive, composée d'un polymère PPV<sup>15</sup>, fut proposée par J. Burroughes et al.<sup>16</sup>. En 1998, Forrest et Thompson<sup>17</sup> adoptèrent l'usage d'un émetteur organique-métal phosphorescent ce qui est aujourd'hui la base des systèmes OLED. Enfin, d'autres développements pour la recherche d'émetteurs plus efficaces conduisirent en 2011 à la présentation de l'effet *Thermally Activated Delayed Fluorescence*<sup>18</sup> (TADF) des émetteurs organiques par Chihaya Adachi et al.<sup>19</sup> et des émetteurs à base cuivre par Harmut Yersin<sup>20</sup>.

Le temps de la recherche et de son financement n'aura permis d'aboutir au démarrage de la commercialisation grand public qu'à la toute fin du vingtième siècle. Par souci d'efficacité de la diffusion de cette nouvelle technologie, cette première commercialisation resta naturellement orientée vers une substitution aux techniques d'affichage employées jusque-là. Ainsi en 1997 Tohoku Pioneer équipa un modèle d'autoradio avec le premier afficheur OLED. Kodak présenta sa technologie en 2003 via un écran OLED de 2,2 pouces (5,5 cm) intégré à un appareil photographique numérique (Easyshare). Les téléviseurs OLED commencèrent à apparaître à partir de 2004 chez Philips suivi en 2007 par Sony. Quant à la firme Samsung elle équipa son smartphone i9000 Galaxy S d'un écran AMOLED (Matrice Active OLED)<sup>21</sup> en 2010.

Isabelle Chartier, responsable des programmes électroniques organiques imprimés au LITEN<sup>22</sup> nous donne une définition de l'électronique organique :

« Au cours des dernières décennies, les chimistes ont synthétisé des matériaux organiques – polymères ou constitués de petites molécules – permettant le déplacement de charges électriques, créant ainsi des matériaux organiques conducteurs ou semiconducteurs. Ces matériaux ont été utilisés entre autres pour la réalisation de composants électroniques actifs : transistors, diodes émettrices de lumières, mémoires, capteurs, etc. C'est l'émergence d'une électronique organique, une nouvelle branche de l'électronique qui est venue au cours des dernières années prendre place à côté de l'électronique traditionnelle basée sur des matériaux inorganiques dont le principal est le silicium<sup>23</sup>»

Les caractéristiques de ces matériaux sont d'assurer une mobilité électrique certes plus faible que le silicium mais toutefois suffisante pour de nombreuses applications, d'être flexibles déformables et robustes, d'être légères, d'être déployables sur de grandes surfaces, d'être parfois transparentes. Mais surtout, ces matériaux sont utilisables à basse température ce qui permet l'application sur des substrats souples et bon marché ainsi que l'emploi de la plupart des techniques d'impression industrielles. On peut noter un axe de recherche et d'amélioration des substrats qui pour l'instant met en avant la polyvalence du polytéréphtalate d'éthylène<sup>24</sup> (PET) et, avec quelques restrictions, celle des supports cellulose et

---

<sup>14</sup> Ching W. tang, chimiste et physicien américano-hong kongais spécialiste de l'OLED et du photovoltaïque organique. Steven Van Slyke, chimiste américain spécialiste de l'OLED et des méthodes de production industrielles pour les écrans OLED.

<sup>15</sup> PPV, PolyPhenylene Vinylene. c'est un polymère conducteur d'électricité que l'on peut produire en films fins.

<sup>16</sup> Jeremy Henley Burroughes, physicien britannique spécialiste des polymères semi-conducteurs et des OLEDs.

<sup>17</sup> Stephen Forrest, physicien américain vice-président pour la recherche à l'université du Michigan et spécialiste des OLEDs.

Mark E Thompson, chimiste américain chercheur à l'Université de Californie du Sud spécialiste des OLEDs et du photovoltaïque organique.

<sup>18</sup> Effet TADF, voir glossaire technique en annexe.

<sup>19</sup> Chihaya Adachi, physicien japonais spécialiste de la photonique organique.

<sup>20</sup> Harmut Yersin, physicien et chimiste de l'université de Regensburg (Allemagne) spécialiste des OLEDs.

<sup>21</sup> AMOLED, voir glossaire technique en annexe.

<sup>22</sup> LITEN, Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies nouvelles et les Nanomatériaux, institut de recherche consacré aux nouvelles technologies de l'énergie et rattaché au [Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives \(CEA\)](#).

<sup>23</sup> Source Isabelle Chartier, colloque du 6 novembre 2013, Fondation de la Maison de la chimie.

<sup>24</sup> PET, voir glossaire technique en annexe.

des supports en polynaphtalate d'éthylène<sup>25</sup> (PEN); les supports en polycarbonate<sup>26</sup> (PC) étant réservés à des applications particulières. La limite actuelle tient surtout à la sensibilité à l'oxygène et à l'eau de la majorité de ces matériaux ce qui nécessite une protection par encapsulation<sup>27</sup>. La recherche est particulièrement active pour améliorer ce point et pour un usage macroscopique, l'ultra miniaturisation restant pour l'instant l'apanage du silicium<sup>28</sup>. L'extrême diversité des arrangements atomiques et moléculaires et la capacité de la chimie moderne à synthétiser nombre de ces possibilités ouvrent toutefois un champ immense pour l'électronique. On distingue quatre familles de composés disponibles sous forme d'encre : les encres conductrices, les encres semi-conductrices, les encres isolantes, et les encres électroactives<sup>29</sup>.

L'électronique imprimée est quant à elle un terme lié aux processus de fabrications additives industriels et semi-industriels qui utilisent des matériaux avec des propriétés électriques développées en chimie organique et inorganique. La notion de processus industriel est clef car elle pose d'entrée l'objectif économique comme premier et pourrait même s'orienter vers une recherche de disruption par le coût. Nous verrons par la suite que cette vision mérite d'être élargie. Dans ce cas de figure, le terme d'impression remplace plus commodément celui de fabrication additive avec cette définition : « *The reproduction of patterns by transfer of matter to a surface by mechanical force, hydrodynamic stress, electric fields or radiation*<sup>30</sup> ».

Les techniques d'impression industrielles aujourd'hui retenues pour des applications macro électroniques et peu sensibles à la qualité de l'air lors de leurs fabrications sont la sérigraphie, la flexographie, l'héliogravure, le jet d'encre, l'offset, la dorure à chaud ou à froid. Les machines disponibles permettent l'application sur une grande variété de supports souples qu'ils soient en feuilles ou en bobines. Les différentes techniques d'impression permettent un choix adapté aux caractéristiques rhéologiques<sup>31</sup> des matériaux fonctionnels, aux épaisseurs de couches désirées, aux niveaux de résolution requis (jusqu'à 10 µm). Des dispositifs additionnels de prétraitement des supports (Corona, plasma<sup>32</sup>), de préparation des matériaux sous forme d'encre (stabilité du mélange avec le solvant et viscosité), de post traitement (séchage, durcissement, frittage) sont facilement incorporables dans les chaînes de production. Bien que ces encres fonctionnelles nécessitent des réglages, des mises en œuvre, et des contrôles qualité spécifiques et différents des encres standard utilisées dans cette industrie, les compétences et savoir-faire des imprimeurs sont facilement mobilisables. Pour l'obtention de grandes surfaces homogènes de matériaux fonctionnels, on peut aussi utiliser les techniques industrielles d'enduction des supports comme le *slot-die coating* ou le *blade coating*. Enfin pour des applications très précises et à haute valeur mais dans des conditions d'exploitation proches de celles de l'électronique traditionnelle, il existe de nombreuses autres techniques complémentaires comme le dépôt sous vide, le jet d'encre aérosol, le *spin coating*, la photolithographie, et l'ablation laser<sup>33</sup>. Cette diversité de techniques

---

<sup>25</sup> PEN, voir glossaire technique en annexe.

<sup>26</sup> PC, voir glossaire technique en annexe.

<sup>27</sup> Encapsulation, ensemble des techniques de protection des composants électroniques imprimés qui permet de les isoler totalement des molécules de dioxygène et d'eau.

<sup>28</sup> Électronique silicium, voir glossaire technique en annexe

<sup>29</sup> Polymères électroactifs, classe de polymères dont la forme ou la taille changent lorsqu'ils sont stimulés par un champ électrique. Ils sont particulièrement intéressants pour la fabrication d'actionneurs et de capteurs.

<sup>30</sup> Simone Ganz, Hans Martin Sauer, Simon Weissenseel, Julian Zembron, Robert Tone, Edgard Dörsam, Moritz Schaefer, Malte Schultz-Ruthenberg « Printing and process techniques » cités dans « Organic and Printed Electronics » pages 47-116.

<sup>31</sup> Caractéristiques rhéologiques, voir glossaire technique en annexe.

<sup>32</sup> Traitement corona ou plasma, décharges électriques à haute fréquence à la surface d'un support qui modifient sa structure moléculaire et facilite l'adhésion des encres.

<sup>33</sup> Pour les techniques d'impression, voir le glossaire technique en annexe.



d'impression induit une grande richesse d'applications mais nécessite pour chacune d'entre elles une phase de mise au point des processus de production.

Si les chimistes ont un rôle de premier plan dans le développement de cette technologie, elle requiert aussi des équipementiers, des spécialistes des procédés d'impression, des électroniciens. À capacité équivalente l'électronique imprimée impose des investissements industriels quinze à trente fois moins importants que pour le silicium et permet un démarrage beaucoup plus rapide<sup>34</sup>. Si nous avons du mal à cerner la technologie de l'électronique imprimée c'est aussi parce qu'elle se trouve à la croisée des chemins et qu'elle est loin d'être stabilisée. Croisement avec les nanotechnologies, comme par exemple l'utilisation du graphène pour ses propriétés de conduction. Croisement avec les bio technologies, ainsi le partenariat entre le CEA-LITEN et le CEA-Leti<sup>35</sup> qui a permis de lancer plusieurs projets de biocapteurs : capteur de lactate (activité musculaire), capteur de gaz carbonique (apnée du sommeil), capteur de glucose pour le diabète. Les avancées et sollicitations des unes influent sur les autres technologies et les font évoluer. Les nombreuses recherches dans les domaines cités devraient encore faire bouger les lignes.

### **3) Marché mondial et écosystème européen de l'électronique imprimée**

Le marché mondial de l'électronique imprimée était de 32 milliards de dollars en 2018 et devrait atteindre les 78 milliards de dollars en 2019<sup>36</sup>. La zone Asie Pacifique tirée par le marché de l'OLED sur base verre et films souples utilisée pour les écrans de télévision et les téléphones mobiles devrait se tailler la part du Lion avec 56 %. Les deux autres zones géographiques concernées, l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord, devraient toutefois dégager des marges de manœuvre intéressantes avec respectivement 28% et 16% de part de marché. Si pour l'instant ce marché reste essentiellement tiré par les écrans OLED (80%), les applications utilisant capteurs et encres conductrices présentent des progressions intéressantes.

#### **Une croissance encore lente**

La première publication sur l'OLED date de 1981 (professeur Chin Tang de la firme Kodak), mais la barre symbolique des 10 milliards de dollars pour le marché mondial n'a été franchie qu'en 2013. Pourquoi l'euphorie des années 2000 a-t-elle tardé à se concrétiser ? Les analystes<sup>37</sup> rappellent les nombreuses difficultés techniques qu'il a fallu surmonter, une durée de vie initialement réduite à quelques minutes ainsi qu'un manque d'efficacité dans la reproduction de la couleur, vingt années de recherches et beaucoup de ressources consacrées à la résolution de ces problèmes comme par exemple celui du *thin film transistor backplane* pour les écrans OLED<sup>38</sup>, des processus de fabrication à créer et de nombreuses difficultés d'interfaçage et de jonctions à résoudre.

---

<sup>34</sup> Charles Collet, Stéphane Roy : « L'électronique organique en Allemagne : Un domaine émergent et stratégique », Rapport d'octobre 2012 à l'ambassade de France en Allemagne service pour la science et la technologie.

<sup>35</sup> Source Liten : <http://liten.cea.fr/ceatech/liten/Pages/technos%20Nanotech%20composants/Composantsimprimes.aspx>.  
Léti, Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information. C'est une division du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et l'un des principaux centres de recherche appliquée en microélectronique et nanotechnologies dans le monde.

<sup>36</sup> Source IdTechX

<sup>37</sup> Ambarin Khan, Silvia Massini, Chris Rider « Innovation Management » cité dans « Organic and Printed Electronics » page 476.

<sup>38</sup> Thin film transistor backplane, voir glossaire technique en annexe.

Par ailleurs l'électronique silicium évolue elle aussi. La différence initiale entre les deux types d'électronique peut être comblée assez rapidement et ceci d'autant plus facilement que la technologie en place bénéficie d'une organisation industrielle. Souvent, les acteurs majeurs travaillent sur l'ensemble des technologies et peuvent choisir de promouvoir l'une ou l'autre selon leurs intérêts. La mise à l'échelle industrielle d'une technologie émergente induit des coûts qui sont rarement décrits au démarrage et sont autant de freins à son déploiement. Dans le cas présent, il y a une double complexité :

- Une complexité de processus qui nécessite une maîtrise de la chimie, de l'ingénierie mécanique, de la transformation, de la connaissance de marchés très variés allant du Bâtiment et Travaux Publics (BTP), aux biens de consommation courants.
- Une complexité des produits et services associés en tant que systèmes multifonctionnels qui nécessitent la présence d'intégrateurs dans l'écosystème.

De par le monde, on recense aujourd'hui plus de 3000 organisations actives dans le domaine de l'électronique imprimée<sup>39</sup>. Elles sont majoritairement orientées *technology push*<sup>40</sup> avec 97% d'acteurs techniques et seulement 3% d'intégrateurs. L'évolution lente des applications en électronique imprimée peut aussi s'expliquer par une dispersion des points de vue des différentes niches, et une dispersion des techniques et de leurs contraintes d'investissement qui ne produisent pas d'effet d'ensemble et donc un effet de masse sur les coûts de production. Enfin, il n'y a pas encore eu de *killer application*<sup>41</sup> identifiée et susceptible d'engager des investissements industriels massifs.

### ***L'exemple de l'écosystème européen***

Au niveau Européen, l'Allemagne, la France, l'Angleterre, la Hollande, les pays scandinaves sont particulièrement actifs vis-à-vis de l'électronique imprimée. C'est un enjeu stratégique, l'Union Européenne y consacre d'ailleurs un financement important depuis dix huit ans. 100 millions d'euros en recherche et développement investis par l'Union Européenne dans le programme FP6 (2002-2006), et 51 projets financés à hauteur de 220 millions d'euros dans le programme FP7 (2007-2013) avec un prolongement dans le Programme Horizon 2020<sup>42</sup>. Chaque état dispose également de son Système National d'Innovation (SNI) avec ses relais régionaux ou locaux qui permettent la mise en relation et le partage des connaissances ainsi qu'un certain soutien financier. On retrouve ici les trois éléments du SNI défini par Christopher Freeman<sup>43</sup> à savoir : un fondement institutionnel de la décision économique, l'avantage compétitif des économies nationales et européennes résultant de la variété et de la spécialisation des productions, la connaissance technologique engendrée par un apprentissage interactif qui donne naissance à une « base de connaissances » qui conditionne les possibilités d'innovation<sup>44</sup>. La création de clusters et de pôles de compétitivité locaux définissent également une géographie économique particulière. La typologie des membres d'une association professionnelle comme

---

<sup>39</sup> Ambarin Khan, Silvia Massini, Chris Rider « Innovation Management » cité dans « Organic and Printed Electronics » page 475.

<sup>40</sup> Technology push ou poussée technologique. L'innovation répond surtout à un problème technique et il n'existe pas de demandes clairement exprimées ou identifiées par le marché.

<sup>41</sup> Killer application, voir glossaire technique en annexe.

<sup>42</sup> Sources [https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/fp6\\_fr](https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/fp6_fr)

[https://ec.europa.eu/research/fp7/index\\_en.cfm](https://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm)

<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid73300/comprendre-horizon-2020.htmlci>

<sup>43</sup> Christopher Freeman (1921-2010), économiste britannique qui a développé les concepts de SNI, d'innovations incrémentales et radicales, de changements de trajectoires technologiques et de paradigmes technoéconomiques.

<sup>44</sup> Sophie Boutillier et Blandine Laperche dans « Cristopher Freeman la systémique de l'innovation » Les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité pages 37-57.

l'Association Française de l'Électronique Imprimée (AFELIM) nous donne quelques informations sur le niveau de maturité de l'électronique imprimée en Europe ainsi que des marchés envisagés.



## En France, toute la chaîne de valeur



Il y a un pourcentage élevé de structures de R&D et d'enseignement. La partie industrielle, certes majoritaire, est en réalité surtout concentrée sur la formulation chimique et les équipements et celle-ci présente une part importante de Start-ups et TPE technologiques. Les industriels capables de sortir un produit fini sont de fait très peu nombreux. Ceci caractérise plutôt une phase de démarrage d'une technologie où on doit à la fois, poursuivre de nombreux efforts en recherche et développement et obtenir les financements nécessaires, former les acteurs et futurs acteurs de la chaîne de valeurs, structurer cette chaîne de valeurs pour amorcer les premiers *business cases* significatifs et capables de soutenir et dynamiser l'ensemble. L'afelim s'est d'ailleurs donnée pour mission, l'animation et le développement de ses adhérents au niveau national et international, la mise en relation avec des marchés et des industriels concernés par la technologie de l'électronique imprimée, l'intégration des adhérents dans les projets internationaux ainsi que la représentation de l'électronique imprimée française lors des salons internationaux<sup>45</sup>.

En Europe, l'Allemagne a une position de leader qui n'est pas étrangère à son fort potentiel industriel. De par son expertise dans la chimie des polymères mais également son intérêt et ses efforts de longue date dans le développement des biomatériaux et des technologies solaires, elle s'est intéressée assez tôt au domaine de l'électronique organique. Au niveau de la recherche et de l'enseignement, l'Allemagne possède plusieurs universités classées parmi les meilleures mondiales dans ce domaine. Par exemple, l'Université technique de Chemnitz (Saxe) avec son Institut pour les Technologies de l'imprimerie et des Medias, l'Université technique de Dresde et son département de photovoltaïque organique, l'Université technique de Darmstadt avec son département d'électronique imprimée. Une

<sup>45</sup> Charles Collet, Stéphane Roy : « L'électronique organique en Allemagne : Un domaine émergent et stratégique », Rapport d'octobre 2012 à l'ambassade de France en Allemagne service pour la science et la technologie.

attention qui n'est pas seulement portée à la recherche fondamentale mais qui s'est également appliquée à favoriser le travail collaboratif entre les universités, les centres de recherche et les industriels et à favoriser le transfert de technologies vers l'industrie. La présence sur le territoire d'industriels de la chimie appliquée, des semi-conducteurs et des matériaux, la présence d'équipementiers dans la plupart des techniques d'impression, notamment à Heidelberg, et des acteurs visibles de la microélectronique à Dresde, ont abouti à la constitution de deux clusters particulièrement dynamiques (« Spitzencluster » ou cluster de pointe) celui d'Heidelberg-Darmstadt et celui de Dresde-Chemnitz.

À titre d'exemple la société allemande Heliatek GmbH inaugura en mars 2012 le premier site de production pour la fabrication de panneaux solaires organiques flexibles avec 82 employés, dont près de la moitié au service R&D, et 14 millions d'euros investis dans une ligne de production pilote avec un processus de dépose sous vide de petites molécules ("Smolecules", à base d'oligomères et de fullerènes) à basse température. Elle fait partie du Cluster de Dresde-Chemnitz dont d'autres membres actifs dans ce projet sont les instituts de recherche Fraunhofer et l'Institute for Print and Media Technology. Les premiers investisseurs furent de grandes entreprises allemandes via leur branche financière, comprenant BASF Venture Capital, Bosch Venture Capital, Innogy Venture Capital (RWE) et Wellington Partners. Dès ce démarrage, Heliatek bénéficia d'un soutien large à travers toute la chaîne de valeur allant de la recherche chimique et la conception technique aux processus de distribution dans les marchés de l'énergie. Après plusieurs levées de fonds, l'entreprise a passé le cap industriel et revendique aujourd'hui plusieurs installations de par le monde<sup>46</sup>.

Avec la plateforme collaborative de recherche et industrie Organic and printed Electronic Association (OE-A) basée à Messe, le réseau des clusters industriels européens Commercialisation Clusters for Organic and Large Area Electronics (COLAE) basé à Dresden, l'European Technology Platform Photonics 21 basée à Düsseldorf et qui porte l'électronique organique<sup>47</sup> pour l'éclairage au niveau européen, l'Allemagne entend rester un acteur majeur et structurant dans le domaine de l'électronique imprimée au sein de l'Europe et compte se rendre visible à l'échelle mondiale.

### ***Défis, marchés et perspectives***

Si l'objectif de l'électronique imprimée est de remplacer à terme l'électronique traditionnelle<sup>48</sup> il doit au moins atteindre les mêmes performances et présenter des avantages de prix et d'impact environnemental. Mais comme nous l'avons vu, cette technologie est encore en devenir. Les matériaux fonctionnels, les substrats, et les processus de fabrication ne sont pas encore stabilisés, et pour chaque composante les recherches sont actives dans plusieurs directions. Globalement, et vis-à-vis du référentiel dynamique que représente l'électronique traditionnelle, l'électronique imprimée doit relever plusieurs défis. Les utilisateurs attendent des systèmes, une densité d'intégration importante et une diversité des fonctions proposées, des vitesses de commutation équivalentes, une fiabilité, une stabilité et une durée de vie significative, une compatibilité d'alimentation avec les systèmes existants, une efficacité et un rendement correct, et enfin un prix et un impact environnemental cohérent.

---

<sup>46</sup> Source <https://www.heliatek.com/news/>

<sup>47</sup> Source <https://oe-a.org/>  
<https://oes-net.de/projekt/colae/>  
<https://www.photonics21.org/>

<sup>48</sup> Pour ce paragraphe source essentielle article de Donald Lupo, Wolfgang Clemens, Sven Breitung, Klaus Hecker « Market Perspectives and Road Map for Organic Electronics », Organic and Printed Electronics Fundamentals and Applications pages 509-536.



Les matériaux fonctionnels font donc l'objet d'une recherche d'amélioration de leurs propriétés électriques, de leurs mises en œuvre et de leurs stabilités. Certains de ces matériaux comme le PEDOT:PSS<sup>49</sup> ont une mobilité équivalente à celle du silicium amorphe mais qui n'atteint pas encore celle du silicium polycristallin. Mais le graphène<sup>50</sup>, de par ses excellentes propriétés de mobilité électronique, de conductivité et de transparence, est un candidat prometteur. Les processus de fabrication industrielle devront également améliorer la résolution, l'uniformité des dépôts et le repérage entre couches. Les systèmes de caractérisation en ligne seront également nécessaires pour assurer le contrôle qualité et améliorer les rendements de production. L'étape d'encapsulation qui permet de protéger la majorité des molécules organiques sensibles aux molécules d'eau et d'oxygène est encore un facteur critique car ces couches doivent posséder un haut degré de performance et des capacités de déformation, être transparentes et sans défaut, et être produites à un coût raisonnable.

Enfin, un standard relatif à l'électronique imprimée devra probablement être défini. Dans les faits, on peut observer de rapides progrès dans les propriétés électriques des matériaux, une résolution de plus en plus fine dans les processus d'impression mais qui pourrait constituer le paramètre clef de la loi de Moore<sup>51</sup> appliquée à l'électronique imprimée, et un choix orienté vers l'hybridation de l'électronique imprimée avec des composants électroniques silicium complexes.

Dans un contexte où les matières premières et les processus de production envisagés sont encore assez mouvants on peut comprendre les réticences des industriels qui ne sont pas des acteurs majeurs de l'électronique à s'engager dans l'aventure. Pourtant, l'électronique imprimée est susceptible de s'appliquer à un large panel de marchés et de dévoiler des niches à forte valeur ajoutée. Des applications commerciales sont apparues depuis déjà quelques années dont par exemple : les tickets d'entrée et les titres de transport, les antennes des tags Radio Frequency Identification<sup>52</sup> (RFID), les batteries flexibles, les patches test de glucose, des petits modules photovoltaïques, des capteurs de pression grande surface, des éclairages OLED, des écrans souples, et d'autres commencent à émerger.

L'OE-A propose une approche par cluster et distingue cinq macro-marchés, le photovoltaïque organique, les écrans souples, l'éclairage, les composants électroniques, les systèmes intégrés intelligents.



Schéma OE-A

<sup>49</sup> PEDOT:PSS, mélange de poly(3,4-éthylènedioxythiophène) et de polystyrène sulfonate de sodium : composé polymère organique utilisé dans la fabrication de cellules photovoltaïques grâce à ses capacités d'émettre d'électrons sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique.

<sup>50</sup> Graphène, forme cristalline plane du carbone, conducteur à la grande résistance chimique et mécanique il est envisagé dans de nombreuses applications technologiques liées aux matériaux et au stockage d'énergie.

<sup>51</sup> Loi de Moore, ici la conjecture la plus connue qui pour l'électronique silicium estime un doublement de la densité des transistors dans les microprocesseurs tous les deux ans.

<sup>52</sup> RFID, voir notes sur l'électromagnétisme dans le glossaire technique.

## ***Écrans souples OLED***

Il s'agit de la suite logique des écrans plats avec une évolution vers la légèreté la flexibilité la transparence sans perdre les attributs déjà acquis (conformité, contraste, résolution, rendu des couleurs, taux de renouvellement de l'image). Un exemple type d'innovation incrémentale dans un marché déjà constitué et mature où la compétition est vive et reste maîtrisée par les acteurs majeurs asiatiques. Les plus gros défis semblent être l'encapsulation à un coût acceptable et le passage à l'échelle pour assurer une production industrielle et l'effet de masse sur les coûts de production. Depuis quelques années un marché de niche s'est constitué autour des affichages dynamiques monochromatiques pour les liseuses (*e-readers*), les étiquettes de prix pour magasins et les cartes de crédit.

## ***Éclairage OLED***

Dans un souci de moindre consommation d'énergie, l'axe de développement est essentiellement porté par l'éclairage blanc vers la recherche de grande surface homogène avec une émission de lumière diffuse et puissante, et l'atteinte d'une flexibilité suffisante pour s'adapter à tout type de formes. La technique annoncée comme la plus prometteuse est celle des « small-molecule OLED », versus les OLED polymères.

La couleur ajustable est également à l'étude, ainsi que les composants associés pilotes et logiciels. Les sociétés européennes comme Novald, Philips, Osram, BASF sont bien représentées, l'UE ayant initié assez tôt les programmes OLLA en 2004 puis de 2008 à 2011 le programme OLED100.eu, dont l'objectif était de mettre en place les bases technologiques nécessaires à des applications OLED efficaces pour l'industrie générale de l'éclairage en Europe. Il y a un vaste champ d'investigation ouvert depuis une dizaine d'années pour le design et l'intégration de cette technologie dans des produits finis. Là aussi les défis résident dans l'encapsulation, mais aussi un niveau d'émission lumineuse, la standardisation, la maîtrise des investissements et la baisse des coûts de production.

À court terme, les éléments de grandes surfaces (0,5 m<sup>2</sup>) devraient être produits en masse, suivis à moyen terme par les éclairages OLED flexibles, en 3D et transparents.

## ***Photovoltaïque organique (OPV)***

Si la compétition reste forte avec le photovoltaïque silicium sur film fin, l'OPV développe des avantages de légèreté, de design flexible avec des options de couleurs et d'effets de semi transparence, des formats personnalisables, de bonnes performances aux faibles éclairages et éclairages diffus, et un moindre impact environnemental. Les premières expérimentations sur des bâtiments techniques ont eu lieu et on pourrait voir un déploiement assez rapide dans le BTP au travers de constructions au standard Haute Qualité Environnementale. L'Europe est assez bien avancée en ce domaine avec quelques fabricants ou intégrateurs de pointe comme les allemands Héliatek et Opvius, le français Armor Group. Les biens de grande consommation et la demande d'appareils portables et de vêtements techniques autonomes pourraient également accélérer la demande.

## ***Composants électroniques***

C'est la boîte à outils indispensable pour assurer la construction des systèmes complexes en électronique imprimée. Comme il n'y a pas de matériaux leaders dans les propriétés de conduction ou de semi-conduction, c'est plutôt le processus d'impression qui détermine la composition du matériau déposé sur le substrat pour la production des éléments passifs ou électro-actifs. Leurs maîtrises sont dès lors renvoyées aux OEMs<sup>53</sup> et intégrateurs. Les batteries flexibles sont en usage depuis quelques années au travers de patches médicaux, de tags RFID et de cartes à puces, et sont apparues récemment dans l'emballage intelligent, les objets nomades, les textiles intelligents et l'internet des objets. Le développement de ces batteries dépendra de la dynamique de ces marchés, mais il y a beaucoup d'acteurs. Si les batteries non rechargeables Zinc-carbone sont courantes, il y a une recherche active sur les batteries à base de Lithium et les super capacités imprimées.

Les premières mémoires imprimées sont apparues il y a quelques années sur les marchés du jeu ou de la protection des marques. Mais depuis que ThinFilm a vendu sa filiale spécialisée à Xerox et intégrée depuis au Palo Alto Research Center, Xerox<sup>54</sup> est une des rares compagnies à proposer une mémoire imprimée de 36 bits réinscriptible. Il reste aussi plusieurs obstacles techniques à lever sur l'élaboration d'une architecture spécifique aux mémoires imprimées et compatibles avec les standards de l'électronique avant de s'engager dans une perspective industrielle.

Les composants actifs regroupant les diodes, les transistors, les circuits logiques, les oscillateurs, les circuits intégrés ont déjà fait l'objet de prototypes de laboratoires mais pour l'instant aucun développement commercial à court ou moyen terme n'est envisagé. Ces composants ont généralement une progression en mode production en tant que système seul et commercialisable ainsi, avant d'envisager une intégration dans des ensembles plus complexes. Le défi semble tenir à l'alignement sur les standards de l'électronique ainsi qu'aux problèmes d'encapsulation et d'industrialisation.

## ***Systèmes intelligents intégrés***

Résultant d'un assemblage d'éléments en électronique imprimée ou non, c'est paradoxalement le domaine qui offre aujourd'hui le plus d'ouvertures possibles et finalement de potentiel pour un nouvel acteur. Il s'agit surtout d'un métier d'intégrateur qui est plus à dominance industrielle et s'adresse à une grande diversité de besoins. Outre quelques grands noms de l'électricité et de l'électronique générale comme Schneider Electric qui incorpore déjà cette technologie dans ses produits, on pourrait assister à l'apparition d'une diversité de fournisseurs de solutions intégrées sur les marchés du transport, de l'aéronautique, de la santé, des vêtements techniques, de l'emballage intelligent, des capteurs complexes, de la RFID entièrement imprimée, de la domotique, de l'internet des objets. On reste toutefois dans une évolution lente dépendant à la fois d'une mise à disposition par les acteurs amont de sous-ensembles fiables, industrialisés et compétitifs ainsi que de la demande et des attentes des consommateurs.

---

<sup>53</sup> Original Equipment Manufacturer, entreprise qui fabrique des sous-ensembles pour d'autres entreprises dites intégrateurs ou assembleurs et qui vont produire soit des sous-ensembles plus complexes soit des produits finis.

<sup>54</sup> Source <https://www.xerox.com/en-us/insights/digital-labels>

#### 4) Innovations en électronique imprimée, évolution des organisations.

L'univers de l'électronique imprimée est essentiellement composé de petites sociétés technologiques. En raison de l'aspect disruptif et du potentiel de cette technologie, ces petites sociétés sont parfois absorbées par les leaders du marché de l'électronique et se soumettent à une logique globale. Celles qui restent indépendantes choisissent d'affronter un futur inconnu qui sera complexe à gérer, entre autres du fait de l'hétérogénéité des acteurs et des connaissances distribuées<sup>55</sup>.

Si nous devons nous référer à une position dans le modèle Abernathy-Utterback<sup>56</sup>, nous serions typiquement dans la phase amont fluide et pré-paradigmatique où aucune matière première, processus ou standard ne domine<sup>57</sup>. Pour les innovations technologiques, elle est caractérisée par un fort déploiement des innovations de produits dont les succès et les difficultés de mises en œuvre vont venir conditionner et sélectionner ultérieurement les meilleures combinaisons dans chacun de ces domaines. C'est clairement une phase aventureuse avec des prises de risques élevées dès lors que les investissements industriels s'avèrent dédiés à un marché concurrentiel. Les liens entre services sont souvent présents dans les entreprises, ils permettent de distribuer et de partager les projets d'innovation en interne ainsi que de faire jouer les réseaux externes initiés par chacun. Si ces liens s'avèrent importants, ils sont cependant insuffisants pour gérer les projets dans le cas présent. L'organisation devrait alors aller au-delà de l'entreprise et nécessiterait la mise en place d'un écosystème incluant clients, fournisseurs, partenaires, et tout autre partie prenante. Les marchés visés sont eux aussi mouvants. On parle alors d'action d'hybridation de l'entreprise par la technologie<sup>58</sup> lorsque les innovations initiées pour une première application trouvent des applications dans des domaines très différents de ceux habituellement abordés par l'entreprise. Dans le cas de l'électronique imprimée on pourrait très facilement se trouver dans des cas d'applications similaires entre l'emballage intelligent, les vêtements intelligents et l'internet des objets.

L'électronique imprimée peut s'avérer être une technologie envahissante pour beaucoup d'industries et sur des marchés très divers en termes de maturité ce qui conditionnera la nature de la démarche, à savoir : un remplacement de l'existant, l'introduction de nouvelles fonctionnalités dans un marché existant ou la création d'un nouveau marché.

Les acteurs historiques positionnés sur des marchés matures faisant appel à une technologie électronique classique, s'ils ne sont pas déjà investis dans le domaine de l'électronique imprimée, ont par leur maîtrise du marché les moyens de contrer facilement l'arrivée d'un nouvel entrant. Le modèle invoqué pour illustrer l'effet disruptif est principalement l'offre de services où une innovation technologique stabilisée et maîtrisée sert de levier principal pour structurer et déployer cette offre. Dans le cas présent, on ne peut pas encore compter sur une complète maîtrise technologique. Certaines sociétés continuent toutefois à viser une disruption par le bas avec une mise sur le marché de produits de moindre qualité, mais plus simples et avec des coûts de production réduits grâce à l'électronique

---

<sup>55</sup> Ambarin Khan, Silvia Massini, Chris Rider, « Organic and Printed Electronics, Fundamentals and Application » page 474

<sup>56</sup> William J. Abernathy (1833-1883) et James M. Utterback (1940-) chercheurs américains qui montrèrent à la fin des années 1970 que la plupart des innovations de produit dans une industrie surviennent dans l'étape initiale de leur développement, jusqu'à l'émergence d'un design dominant.

<sup>57</sup> William J. Abernathy et James Utterback cités par Fabrice Roth dans « les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité » pages 103-120.

<sup>58</sup> Ambarin Khan, Silvia Massini, Chris Rider, « Organic and Printed Electronics, Fundamentals and Application » page 483.



imprimée. Cette entrée sur le marché peut néanmoins être ultérieurement suivie d'une amélioration des performances et d'une montée en gamme à condition que le modèle d'affaires ne soit pas modifié<sup>59</sup>.

En 2001, l'entreprise américaine Konarka fut créée pour alimenter le marché du photovoltaïque en technologie imprimée à bas coût. Les débuts furent prometteurs et près de 170 millions de dollars furent levés pour la construction d'une usine capable de produire par an des panneaux pour une puissance totale de 1 GW. Mais la technologie insuffisamment maîtrisée notamment en ce qui concerne l'efficacité et la durée de vie des cellules, et surtout la chute d'un facteur trois du prix des modules silicium pendant la période 2007-2011, réduisit à néant l'avantage financier de l'offre Konarka et précipita sa faillite.

Les TPE, PME et même les ETI peuvent difficilement avancer seules sur un terrain en devenir technologique, et une substitution de certains produits électroniques par des solutions imprimées à bas coût n'apparaît pas forcément comme une stratégie adéquate. Reste alors à investiguer le potentiel des attributs spécifiques de l'électronique imprimée (souplesse, légèreté, grandes dimensions, applications 3D, transparence, etc.) sur les marchés existants de l'électronique, ainsi que d'imaginer et de proposer des applications pour des marchés qui n'y font pas encore appel.

On comprend bien que si dans le premier cas un travail collaboratif classique entre points de vue technique et marketing peut être satisfaisant, le deuxième axe bien que très prometteur s'avère plus complexe et convoque d'autres compétences. Il faut alors reprendre les questions élémentaires. Pourquoi innover dans ce domaine ? Quels produits et services et pour qui ? Quels modèles d'affaires ? Avec qui s'associer et sur combien de temps ? Comment organiser cette collaboration et partager les charges et les bénéfices ? Là aussi une forte complexité à gérer entre la définition et la maîtrise industrielle de nouveaux marchés ou de nouvelles niches et la constitution d'un écosystème qui requiert réciprocité, confiance mutuelle, responsabilité, financement et avenir partagés dans la durée.

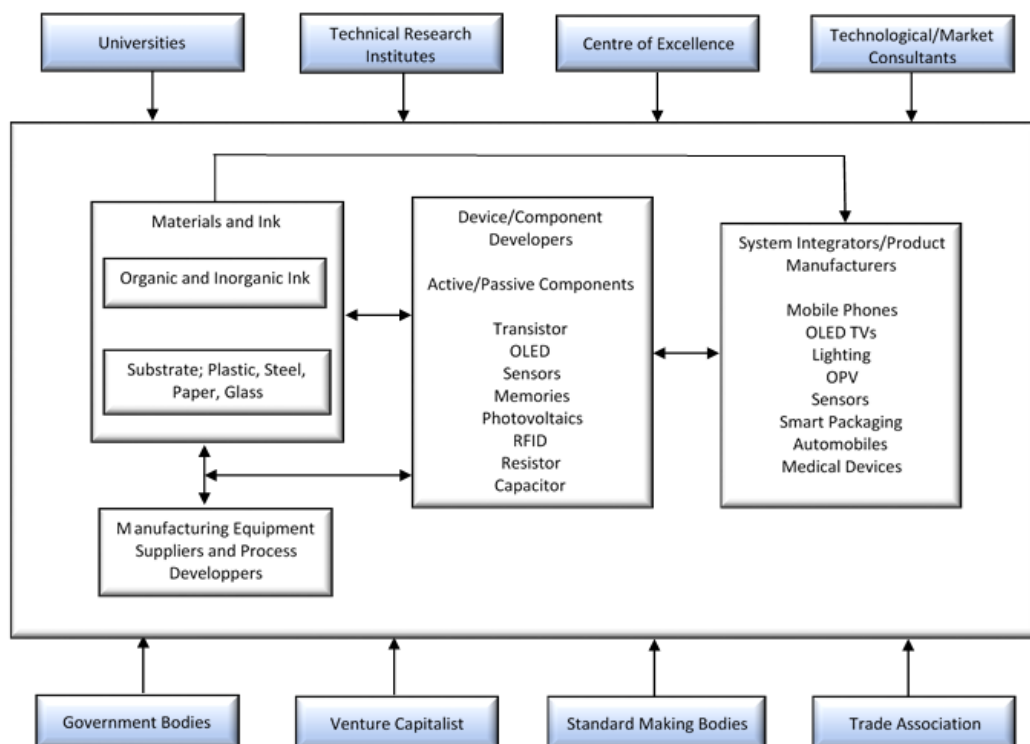


Schéma de la chaîne de valeur, Organic and Printed Electronics, Fundamentals and Applications page 481

<sup>59</sup> Concept de Clayton M. Christensen cité par Sihem Ben Mahmoud-Jouini et Philippe Silberzahn dans « les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité » pages 283-296.

Un modèle de chaîne de valeurs des différents acteurs d'un écosystème de l'électronique imprimée est proposé par Ambarin Khan, Silvia Massini, Chris Rider<sup>60</sup>. Celui-ci répond bien à une stratégie de substitution, d'amélioration ou de complément d'un produit existant de l'électronique et une maîtrise de la R&D, de la communication et de l'exploitation, mais la démarche de conception chez l'intégrateur n'y est pas vraiment explicite. Il serait alors utile de préciser le schéma de cette phase initiale et de voir dans quelle mesure d'autres acteurs pourraient la rejoindre.

## **5) Transition écologique, santé et nouvelles approches de l'innovation, des contraintes et des opportunités pour l'électronique imprimée.**

L'étude de l'impact sur l'environnement et la santé d'une activité fait aujourd'hui l'objet d'une attention particulière et peut dans certains cas modifier les projets envisagés. Une technologie émergente est alors évaluée sur sa capacité à améliorer l'existant mais également sur la charge environnementale supplémentaire qu'elle pourrait engendrer au travers de nouvelles fonctionnalités. Dans l'absolu, il faudrait prendre en compte l'ensemble des interactions directes et indirectes, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au recyclage des produits en fin de vie et ceci dès les phases de conception de produits et services. L'étude est complexe. Elle met en jeu l'irréversibilité de l'utilisation de certaines matières premières et leurs contextes géopolitiques, les consommations d'énergies nécessaires pour toutes les phases de production et d'usage des produits et services, les rejets et déchets produits lors de ces phases et leurs interactions possibles et niveaux de réactivités avec d'autres éléments, la récupération des produits en fin de vie et leurs traitements.

L'étude devrait porter sur l'ensemble des activités mobilisées durant l'existence des produits et services et de leurs modes de production. Dans la réalité, on est souvent amené à mutualiser les contributions, par exemple à ne pas différencier l'énergie électrique produite par une éolienne de celle produite par une centrale nucléaire renvoyant de fait cette problématique à la gestion globale de l'énergie utilisée pour les activités humaines. L'exercice est toutefois faisable avec une précision acceptable dès lors que les contributions principales sont situées dans des zones géographiques où démocratie et transparence sont effectives, ce qui met l'accent sur les limites d'un marché mondialisé où les pratiques ne sont pas toutes contrôlées ni respectueuses. Dans certains cas, les produits et services vont générer des effets bénéfiques sur l'environnement et la santé, comme par exemple un meilleur contrôle de la chaîne du froid avec des emballages intelligents ou la conversion d'énergie solaire en électricité, et qui pourront alors être déduits de leurs charges.

Dans le cas le plus simple d'une substitution à l'existant, une amélioration des impacts s'avère un allié précieux à un argumentaire initialement réduit au coût de fabrication. Dans les faits, l'électronique imprimée vise à supprimer l'utilisation des terres rares<sup>61</sup> et des métaux lourds<sup>62</sup>, à réduire celle des matériaux rares ou géographiquement mal répartis (exemple indium<sup>63</sup>), à réduire la consommation d'énergie ainsi que les déchets et rejets pour la fabrication des produits, à améliorer le recyclage des déchets électroniques.

L'usage des substances organiques et les modes de mise en œuvre devraient permettre d'atteindre ces objectifs. Les études des interactions devront toutefois être complétées et suivies avant

---

<sup>60</sup> Ambarin Khan, Silvia Massini, University of Manchester, Chris Rider, Electrical Division, Engineering Department, University of Cambridge.

<sup>61</sup> Terres rares, voir glossaire technique en annexe.

<sup>62</sup> Métaux lourds, voir glossaire technique en annexe.

<sup>63</sup> Indium, élément chimique métallique rare sur terre et ne se trouvant qu'à certains endroits de la planète. Son utilisation répandue dans l'électronique en fait un produit stratégique.

de favoriser une diffusion plus importante. Dans certains cas de figures, l'électronique imprimée n'est pas exempte de l'usage de solvants et donc d'émission de composés organiques volatils lors de la fabrication des encres fonctionnelles et des phases d'impression.

L'argent reste encore un composé essentiel et sa neutralisation est liée à la maîtrise du circuit de recyclage. D'autres solutions sont en cours d'étude afin de réduire cette problématique. Le faible tonnage de ces composants, même en cas de production de masse, conduirait probablement à une simple revalorisation énergétique des produits en fin de vie ; la récupération des composants ne pouvant économiquement se justifier. L'électronique imprimée s'intéresse aussi aux nanoparticules (argent, nanotubes de carbone<sup>64</sup>) et à leurs propriétés mais le manque de recul vis-à-vis de leurs toxicités et des modes de recyclage les cantonne pour l'instant au domaine de la recherche.

Toute comparaison doit également se faire à niveau de service et durée de vie équivalente et s'il y a quelques années les résultats ne plaçaient pas forcément l'électronique imprimée comme la technologie la plus écologique, elle a néanmoins progressé beaucoup plus rapidement que l'électronique standard. Ceci est particulièrement flagrant pour les panneaux photovoltaïques organiques dont le rendement a atteint celui des cellules au tellure de cadmium, les plaçant largement en tête du classement et creusant d'avantage l'écart avec les cellules au silicium dont le rendement est pourtant le plus intéressant<sup>65</sup>.

Si l'électronique imprimée venait à satisfaire de nouveaux besoins, il faudrait alors évaluer l'impact de manière absolue ce qui pourrait s'avérer moins aisé à faire mais pas impossible. Dans une approche de conception innovante où la question première du pourquoi englobe également le sens et la pérennité de l'activité, ne devrait-on pas commencer par établir les niveaux d'utilités des besoins couverts ? Tout du moins leur attribuer une position qualitative relative entre nécessaire et accessoire ? Hormis le domaine médical, l'argumentaire avancé il y a quelques années pour le développement de l'électronique jetable grâce à l'électronique imprimée n'est plus vraiment audible aujourd'hui.



Serres maraîchères équipées en 2019 avec le film photovoltaïque organique souple semi-transparent ASCA®, partenariat Armor Groupe, Eiffage Energie Systèmes, les Maraîchers Nantais, Groupe Olivier.

Certaines sociétés ont commencé à prospecter de nouveaux marchés avec une approche plus centrée sur les usages et les attentes des consommateurs et une définition des produits issue d'un procédé itératif.

<sup>64</sup> Famille des fullerènes et nano tubes de carbone, voir glossaire technique en annexe.

<sup>65</sup> Dirk Hengevoss, Yannick-Serge Zimmermann, Nadja Brun, Christoph Hugi, Markus Lenz, Philippe F.-X. Corvini, Karl Frent « Environmental Aspects of Printable and Organic Electronics » cités dans « Organic and Printed Electronics » pages 429-472.

Polyphotonics a testé une alternative à l'intervention laser pour la rétinopathie diabétique au travers d'un masque de stimulation nocturne sans trouble du sommeil équipé d'OLED (Noctura 400). Les tests successifs ont permis d'établir un bénéfice pour les deux tiers des patients avec une stabilisation de la vue et éviter ainsi une intervention chirurgicale délicate. Le boîtier connecté Lysbox créé par le département du Loiret assure quant à lui un suivi exact des heures de service à la personne âgée dépendante réellement effectuées, informe les familles en temps réel sur ce qui se passe chez leurs parents, et prévient les structures d'aide si une prestation n'a pas pu être réalisée. Il s'agit d'une opération significative ayant valeur de test grandeur nature avec près de 10 000 boîtiers ainsi déployés dans ce département. Un exemple inspirant pour d'autres applications d'emballages intelligents<sup>66</sup>.



Magic Pad, image Dauphiné Libérée

Certains acteurs de l'électronique imprimée ont également fait appel à d'autres disciplines pour la conception de leurs produits. Ainsi ISORG, le spécialiste français de la photo détection en électronique imprimée a sollicité en 2011 Innosens, le pôle design du groupe Ixiade, pour son démonstrateur preuve de concept « Magic Pad » mettant ainsi en avant le croisement entre design et usages innovants.

En 2016 la société Genes'ink spécialisée dans les matériaux fonctionnels et les encres fonctionnelles a lancé un appel à projets "Art to IoT" adressé aux étudiants en fin de cycle de l'École nationale supérieure des arts décoratifs ainsi qu'à l'École supérieure d'art et à l'École supérieure de design et d'arts appliqués d'Aix-en-Provence. Ce projet visait à unir designers, artistes et le monde de l'internet des objets. Selon les mots de Corine Versini sa fondatrice et dirigeante « une clé pour populariser les produits de demain et les inscrire dans les nouveaux usages liés à l'*Internet of Things* (IoT). À l'époque plusieurs industriels européens ainsi que l'observatoire de l'art contemporain à Paris soutenaient la démarche. Elle ne semble cependant pas avoir eu un retentissement médiatique, preuve si l'en est du chemin qu'il reste à parcourir.



Image National Geographic

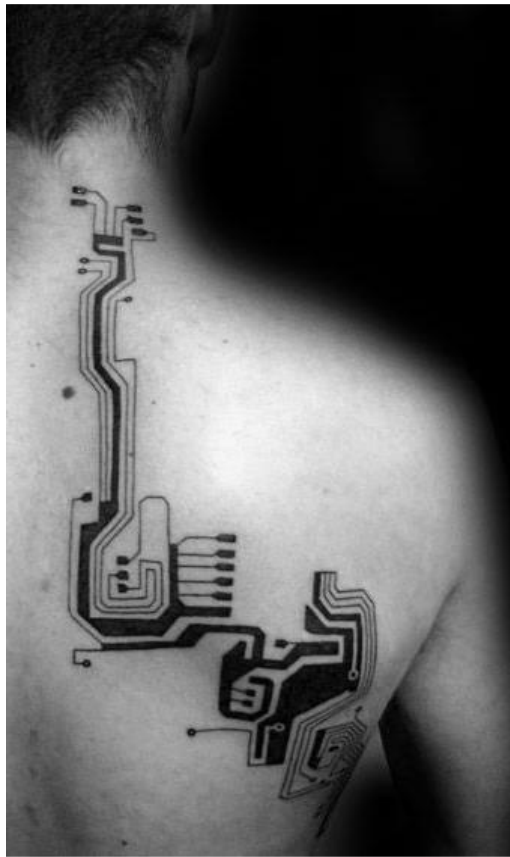
Si je devais donner une seule image de cet état des lieux ce serait celle d'une nébuleuse, une pouponnière d'étoiles. Quelques-unes supportées par des éléments solides se détachent nettement, d'autres plus nombreuses mais plus modestes commencent à peine à briller, la majorité est en devenir. Les potentiels de développement sont nombreux mais les facteurs qui influent sur leurs naissances le sont également et il serait sans doute hasardeux de considérer qu'ils répondent à une logique mécanique. L'électronique imprimée ne peut faire l'économie des contraintes du moment que sont la recherche permanente de réduction des coûts, la transition écologique, les interrogations sociétales et celles-ci débordent du cadre d'une approche exclusivement technique, méthodique et réglée.

<sup>66</sup> Source magazine Acteurs de la filière graphique n°114 2<sup>ème</sup> trimestre 2016 pages 19-20.

Alors comment les entreprises de taille modeste peuvent elles s'organiser pour agir dans cette phase initiale et éviter le poids et les effets de concurrents plus forts et mieux disposés ? Une idée est l'exploration de concepts innovants ou l'originalité peut permettre une navigation dans des eaux plus calmes au moins pendant quelques temps, mais encore faut-il que ces concepts fassent sens auprès des futurs utilisateurs. Quittons pour l'instant ce monde des affaires et rentrons dans le quartier alternatif des philosophes, des sociologues, des designers, dans l'underground et la pensée critique, ce qui nous permettra de questionner le sens de l'objet technique et peut-être définir des pistes et des organisations complémentaires utiles à la suite du parcours.



## **CHAPITRE 2**



Sources Images : [dammmagazine.net](http://dammmagazine.net), [pinterest.com](http://pinterest.com), [laboiteverte.fr](http://laboiteverte.fr)

# **EN QUÊTE DE SENS : DÉTOUR PAR LE QUARTIER UNDERGROUND DES SCIENCES HUMAINES ET DE LA CRÉATION**

L'état des lieux de l'électronique imprimée dans le monde révèle une orientation vers l'innovation qui est essentiellement définie par l'ingénierie. En effet, cette approche purement technicienne tient pour l'instant une place dominante en raison d'une pression économique et financière qui encourage l'amélioration de la technologie existante et empêche toute remise en question de la finalité de ce qu'elle produit. Elle est en ce sens non perturbante voire transparente pour l'utilisateur. En fait la science n'a pas encore généré d'inconnu radical et profité de sa position favorable dans la société pour en assurer l'introduction. Les marchés de l'électronique traditionnels ne présentent pour l'instant pas de situations telles que l'électronique imprimée constituerait dès aujourd'hui un appel d'air. Les offres et les marchés sont donc peu modifiés ou très lentement et souvent avec une recherche de fonctionnalités complémentaires.

Dans ce contexte, à l'originalité réduite on peut toutefois imaginer l'intervention d'agents créatifs. Ainsi le téléviseur OLED65R9 de LG ne ressemble pas à un téléviseur, c'est un parallépipède rectangle duquel s'extrait une structure fine souple et plane qui fait office d'écran. L'identité de l'objet n'est pas évidente à priori, le visiteur est surpris. Cette approche design se sert d'un attribut spécifique de l'électronique imprimée, ici la souplesse, pour créer de l'inconnu comme si l'objet véhiculait un nouveau sens.

Le design peut-il faire plus ? Selon Armand Hatchuel :

« Le design peut s'aventurer dans des univers beaucoup plus vastes, voire explorer des objets techniques inédits. En revanche il est soumis à des contraintes de réception qui vont être déterminantes... Le designer doit à la fois chercher l'originalité de son travail et être immédiatement compris de ses clients potentiels... Le designer doit donc surprendre ou séduire mais sans le secours de l'explication ou de l'apprentissage.... En revanche, le designer qui recherche le surgissement du sens doit malgré tout élaborer un raisonnement rigoureux et partageable<sup>67</sup> »

De son côté, Roberto Verganti<sup>68</sup> insiste sur la notion de changement de l'identité des objets et se veut plus radical et orienté stratégie au travers de son concept d'innovation de sens dans lequel il souligne les valeurs émotionnelles et symboliques des objets. Dans cette approche, les entreprises devraient constituer et renouveler un réseau de passeurs et de médiateurs aptes à capter les tendances et mouvements dans la société et à faciliter les échanges, une veille comme introduction à une démarche de recherche pluridisciplinaire. Particulièrement complémentaires des experts, les designers y tiendraient un rôle pertinent dans leurs capacités à naviguer entre de nombreux secteurs et à faire circuler des connaissances sur les langages des produits. Roberto Verganti, définit un processus en trois étapes ; une démarche d'exploration d'un contexte avec des interprétations multiples, une exposition de la perception de chaque contributeur à l'axe de recherche puis une construction collective, enfin la création d'une vision et sa communication au marché<sup>69</sup>.

Ici débute notre second voyage vers le quartier alternatif des philosophes et des designers, en quête de sens et la nécessité de retourner aux sources des problématiques de la conception. Comment les philosophes et les sociologues conçoivent l'innovation dans nos sociétés modernes et d'après eux

---

<sup>67</sup> Armand Hatchuel, professeur au sein de la Chaire théorie et méthodes de la conception innovante de Mines ParisTech-PSL Research University. Quelle analytique de la conception ? Parure et pointe en Design pages 4-5.

<sup>68</sup> Roberto Verganti, enseignant chercheur italien dont les travaux en management de l'innovation se situent à l'intersection des problématiques de stratégie et de management du design et des technologies.

<sup>69</sup> Roberto Verganti cité par Valérie Chanal et Apolline Le Gall dans « Le design au service de l'innovation de sens », Les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité pages 521-537.

quels rôles y joue l'objet technique ? Avec cette autre perspective peut-on étoffer le potentiel de l'électronique imprimée et comment le design et les designers pourraient-ils s'y insérer ? Peut-on dès lors imaginer un enrichissement des profils parmi les équipes constituées pour des projets d'innovation ayant une efficacité particulière pour générer de nouveaux concepts, des nouveaux marchés, des réponses à des besoins émergents, tout en y apportant du sens ? C'est de loin l'exercice de créativité le plus difficile mais c'est aussi celui qui génère le plus de changements et d'opportunités.

## 1) Innovation et objets techniques : points de vue philosophique et sociologique

Le modernisme s'appuie sur l'idée centrale de la dynamique de la connaissance technique et scientifique pour améliorer les conditions d'existences des individus. Aujourd'hui qu'en est-il ? Incertaine et volatile, notre société est affectée, en peine de résilience, frappée d'inégalités sociales, elle voit son modèle économique dominant remis en cause. Notre société peut-elle être qualifiée de postmoderniste ?

Dans nos sociétés modernes la science s'est imposée vis-à-vis de la religion et la croyance s'est portée sur la notion de progrès. La situation de la planète et de nos sociétés pose clairement le débat sur cette croyance dans le progrès sensé résoudre le moindre de nos problèmes, de nos désirs, de nos paradoxes et c'est une posture aujourd'hui remise en question. Mais serions-nous capables de revoir totalement notre modèle ? Ou comme le dit Etienne Klein ; « Nous prétendons ne plus croire au progrès, mais nous tenons encore à lui farouchement, même si ce n'est plus que de façon négative, c'est-à-dire en proportion de l'effroi que nous inspire l'idée qu'il puisse s'interrompre<sup>70</sup> ».

Le concept d'innovation en tant que rencontre d'une invention technique avec un marché est venu en soutien à la notion de progrès. Mais il est centré sur des dimensions technologique et rationaliste, et l'injonction d'innovation ressemble à un ultime et exclusif appel au secours à l'intention des sciences. Si le progrès avait donné une vision générale et suscité un espoir dans le devenir de l'humanité au travers de l'évolution de la connaissance, l'innovation propose une vision plus fragmentaire au travers de la pluralité des acteurs, une orientation marché, des évolutions précises et ciblées du point de vue technique et social. Nous manquons pour le moins d'une certaine profondeur de champ, ce qui peut contribuer à renforcer un sentiment d'angoisse collective à l'idée de ne plus maîtriser notre avenir.

Toutefois, des voix se font entendre, et loin d'être technophobes elles encouragent à considérer l'innovation dans une perspective plus large, et pour tous à s'en emparer. Par exemple, Bernard Stiegler<sup>71</sup> remet en cause non pas les changements technologiques mais leurs orientations et leurs rythmes. Nos sociétés subiraient des visées prédatrices au travers de propositions de « disruption par le bas » uniquement portées par l'aspect financier, et ne seraient plus en capacité à les assimiler et à se réorganiser. En ce sens, la notion même de « destruction créatrice » pourrait être mise en défaut, les effets de résilience et de remplacement n'ayant plus le temps d'opérer.

À travers son concept d'entropie négative (néguentropie<sup>72</sup>), emprunté au physicien Erwin Shrödinger, il propose de mettre la notion de changement et de transformation au sein même du débat

---

<sup>70</sup> Etienne Klein, physicien et philosophe des sciences, Galilée et les Indiens, Allons-nous liquider la science ?, Paris, Flammarion, 2008, p. 93

<sup>71</sup> Bernard Stiegler, philosophe français dont les travaux portent sur l'impact des développements technologiques sur l'économie, l'organisation de la société, le comportement humain.

<sup>72</sup> Néguentropie, voir glossaire technique en annexe.

collectif, la technologie au service du plus grand nombre et de la plus grande diversité. C'est une position marquée et assez militante qui nécessite un état démocratique et une implication importante de la part de ses citoyens. Elle ouvre sur une transformation majeure de notre société et sur la remise en question de certains de ses éléments constitutifs, ainsi l'emploi et sa rémunération. Elle ne donne pas la primauté au standard industrialiste et réintroduit les dimensions sociales et environnementales dans la démarche d'innovation, la notion de communauté y est particulièrement prégnante.

Pierre Damien Huyghe<sup>73</sup> engage également à contrebalancer la poussée technique qui est « une avancée d'un monde sans politique ou en dehors du contrôle politique » mais une politique qui permettrait d'engager une dynamique positive entre deux écueils, le conservatisme et l'anarchie du changement. Il reprend volontiers la position d'Aristote sur le sujet ; « soumettre chaque poussée technique à deux critères d'évaluation ou d'autorisation, l'utilité de son produit et la justice de son mode de production ». Les réactions sont fortes et le politique est sollicité pour engager des actions en faveur de l'innovation dans une perspective plus large tout en restant un garant de la cohésion sociale. Il l'est également pour donner accès aux connaissances et à l'information, permettant ainsi aux citoyens de faire des choix plus conscients.

Thierry Ménissier<sup>74</sup> précise ce point :

« Comprendre l'emploi des nouvelles technologies dans le cadre de la culture démocratique constitue un enjeu majeur pour notre époque, ainsi que l'on comprit des auteurs issus de divers champs tels que la sociologie et la science politique. Il est possible d'affirmer que le développement de la compétence tout à la fois civique et technologique des citoyens va de pair avec une société démocratique<sup>75</sup> »

Quelles sont les conditions d'apparition des innovations et de leurs diversités ? Pour Gilbert Simondon<sup>76</sup>, les objets techniques sont une façon pour l'homme de se mettre en rapport avec le monde, de retrouver une forme d'unité globale. Or notre pensée est fragmentaire, souvent mise en tension et divergente. Nous avons ainsi séparé le fond de la forme, donnant au premier une dimension universelle et au second un rôle de médiateur entre l'homme et le monde. Si pensée technique et formes sont liées, l'alliance avec la pensée esthétique permet de renouer avec le fond et d'insérer la pensée technique dans le monde. On retrouve ici la notion d'honnêteté de la forme, du rythme de la forme. Mais c'est une notion que l'on doit apprécier dans le temps présent. « La relation de participation qui relie les formes au fond est une relation qui enjambe le présent et diffuse une influence de l'avenir sur le présent, du virtuel sur l'actuel. Car le fond est le système des virtualités, des potentiels, des forces qui cheminent, tandis que les formes sont le système de l'actualité<sup>77</sup> ».

La pensée technique n'est pas réticulée. Lorsque l'action échoue, c'est-à-dire lorsqu'elle forme avec le monde qui l'entoure un système incompatible alors elle se dédouble en théorie et pratique. Le monde possède des « contre-structures » qui s'opposent à nos conceptions incomplètes et saturent le modèle. Cette tension induit une évolution de la théorie afin de renouer avec l'homogénéité et la cohérence. Nous sommes les organisateurs de nos objets techniques, « leurs consciences responsables et

---

<sup>73</sup> Pierre-Damien Huyghe, philosophe français qui s'est en particulier interrogé sur les liens entre arts, sciences et industrie.

<sup>74</sup> Thierry Ménissier, philosophe français dont les travaux portent notamment sur la politique et l'histoire des idées.

<sup>75</sup> Source Thierry Ménissier « Philosophie et innovation, ou philosophie de l'innovation ? », Klesis – Revue philosophique – 2011 : 18 – Varia, page 24 .

<sup>76</sup> Gilbert Simondon (1924-1989), philosophe français spécialiste de la théorie de l'information, de philosophie de la technique, de psychologie et d'épistémologie.

<sup>77</sup> Gilbert Simondon « du mode d'existence des objets techniques » chapitre II « évolution de la réalité technique ; élément, individu, ensemble page 72.

inventives »<sup>78</sup>. À l'origine, prolongement de notre corps, les outils étaient des éléments alliés de l'amélioration continue de notre existence. Puis nous les avons fait évoluer vers des objets individualisés capables de remplacer la force des êtres vivants. Nous voici maintenant à l'ère des ensembles complexes où l'objet est une œuvre d'organisation et d'information, un tissu d'ensembles techniques en relation d'interconnexion, une société dans la société humaine. Il y a là un schéma de concrétisation, de convergence fonctionnelle et d'organisation de sous-ensembles complexes pour assurer la cohérence fonctionnelle d'un ensemble encore plus complexe. Renforcer la compréhension et la maîtrise des objets techniques par les individus pour faire un choix conscient et non pas subir la situation, tel serait l'enjeu aujourd'hui.

Pierre Damien Huyghe insiste sur la nature mimétique des premières formes d'une innovation. La poussée technologique s'applique d'entrée dans des situations existantes. Il y a exploitation de la poussée plus que de leur épanouissement, et la forme prise par la nouvelle technologie copie l'ancienne. C'est seulement dans un deuxième temps que se déploient la créativité et la pluralité. Celles-ci s'inscrivent dans une durée incompatible avec un rythme trop soutenu d'innovations et d'urgences permanentes.

L'intervention du design dans cette activité créatrice introduit la divergence vis-à-vis du modèle et de l'attendu et ouvre à la potentialité des objets techniques. Le résultat de cette opération sont des propositions de formes plurielles vis-à-vis d'une fonctionnalité libérant le champ des possibles. Cette idée pose le rôle du design comme une dynamique de tension s'opposant à l'uniformité et faisant jouer toutes les possibilités de formes à partir de la matrice d'une poussée technologique. Une forme dominante, la manifestation d'un effet d'optimisation dans le contexte du moment, viendra par la suite clôturer le cycle dans l'attente de la perturbation suivante. Là où il y a tension, là où le choix est possible alors le design peut opérer. Il n'est alors pas étonnant de le voir investi dans nos défis environnementaux et sociétaux. Accepter ce schéma c'est renouer les liens avec les acteurs, refuser le cloisonnement et l'exclusion, et accorder du temps à une construction collective.

À son époque, Le Bauhaus<sup>79</sup> a contesté la séparation de l'esthétique et de la production, de l'art et de l'industrie, du travail et de la machine. Ne devrait-on pas aujourd'hui se pencher sur les défis auxquels nous devons faire face avec le même esprit ? L'homme se trouve de plus en plus en plus « délogé de la fonction technique par la construction d'individus techniques »<sup>80</sup>. Pour que la machine ne soit plus vue comme un substitut à l'homme, il faut une culture technique ou plus exactement une capacité pour juger de la finalité de l'organisation. Il y a là un véritable enjeu sociétal autour de cette capacité à dépasser le niveau initiatique et à accéder à celui mature de la compréhension des objets techniques. Pour Simondon<sup>81</sup>, « cette maturité d'ailleurs ne peut être pleinement atteinte que dans la mesure où la société est stable et non trop rapidement évolutive, sans quoi une société en train de se transformer, qui privilégie l'ordre du successif, communique à ses membres adultes un dynamisme qui fait d'eux des adolescents ».

Objet de désir, objet sacré, objet utile, objet de curiosité, objet mystérieux, objet imposé, objet de déception, objet de dégoût où ce qui est ob jet (« placé devant ») perçu et pensé finit par être rejeté. Nous pourrions ainsi allonger la liste des qualificatifs pour les objets. Si cette façon d'en parler ressemble

---

<sup>78</sup> Gilbert Simondon « du mode d'existence des objets techniques » 1<sup>ère</sup> partie « genèse et évolution des objets techniques » page 72.

<sup>79</sup> Bauhaus, école d'architecture et d'arts appliqués, fondée en 1919 à Weimar (Allemagne) par Walter Gropius. Ce nom désigne aussi un courant artistique qui allie arts et technique au service de l'industrie pour les bienfaits des individus, courant qui posera les bases de l'architecture moderne et du design contemporain.

<sup>80</sup> Gilbert Simondon « du mode d'existence des objets techniques » 1<sup>ère</sup> partie « genèse et évolution des objets techniques » page 101.

<sup>81</sup> Gilbert Simondon « du mode d'existence des objets techniques » 2<sup>ème</sup> partie « l'homme et l'objet technique » page 157.



étrangement au registre utilisé pour décrire nos contemporains est-ce que cela ne signifie pas tout simplement que les objets sont notre reflet et notre perception du monde ? Une sorte d'image miroir de l'humanité, d'un instantané où l'analyse des objets seuls permettrait d'établir une cartographie des mœurs et des cultures. Si tel est le cas alors qu'en est-il de leurs implications dans notre construction personnelle et collective ?

Parmi les modes de symbolisation qui nous permettent de lier nos expériences éprouvées et notre psychisme, Serge Tisseron<sup>82</sup> perçoit l'objet comme un mode intermédiaire entre le verbal distancié et l'ensemble sens, affect, motricité qui est instancié. Le statut réversible de l'objet nous permettrait alors de s'y attacher ou de s'en détacher ce qui est psychologiquement plus facile à vivre. Mais les objets n'ont pas qu'un rôle psychique ils nous relient également aux autres, ainsi :

« l'être humain s'approprie le monde dans un processus de symbolisation continue qui utilise à la fois des mots, des images et des gestes. Par ce processus, il construit la technique, modifie son monde psychique, intellectuel et émotionnel, et crée en même temps diverses formes de liens sociaux. Le monde social, le monde psychique et le monde technique se développent ainsi en même temps, au fur et à mesure que l'être humain symbolise ses expériences du monde, comme trois brins étroitement enlacés d'un même fil<sup>83</sup> »

Ce modèle de construction de la relation à l'objet est à la fois physique et psychique. Serge Tisseron le nomme cadres qu'il sépare en trois domaines ; la découverte, l'usage conventionnel et l'invention. Il définit un cadre comme : « il n'est pas ce qui environne mais d'abord ce qui contient, et ses effets de contenance sont inséparables des pouvoirs de transformation qu'il permet et suscite<sup>84</sup> ». Le mode découverte correspond simplement à celui de l'expérimentation et de l'apprentissage. Avec l'usage conventionnel le collectif joue un rôle majeur car l'objet est dans une manipulation établie et considérée comme normale par le groupe, l'objet peut même devenir dans certains cas un marqueur social. Pour le cadre invention il y a un usage subjectif et l'objet est détourné des finalités pour lesquelles il a été conçu avec toute la richesse que peuvent apporter la créativité et les imaginaires individuels. Nous sommes à même de jouer sur l'un ou l'autre de ses cadres voire sur plusieurs en même temps ; ainsi la dernière version de smartphone à la mode inséré dans une ceinture dorsale et qui diffuse des vibrations apaisantes à chaque message entrant. Les actes de créations et d'appropriation des objets sont donc autant une intériorisation structurante pour chacun d'entre nous qu'un processus de construction sociale et culturelle. Sur ce dernier point, on perçoit bien l'importance de certains objets dans la constitution et le maintien de communautés de pratique.

Anthony Dunne et Fiona Raby<sup>85</sup> sont deux universitaires du design, résolument animés par une posture critique et ouverte au débat. A propos de leurs expérimentations sur les objets électroniques, ils précisent « *The idea is not to be negative, but to stimulate discussion and debate amongst designers, industry and the public about electronic technology and everyday life* »<sup>86</sup> et mettent en avant le « critical design » en contre poids à « l'affirmative design » qu'ils jugent trop conforme aux standards policés de la société, trop allié au sentiment de désir et à la logique de consommation. Ils vont de fait se positionner sur un terrain ordinairement investi par les arts plastiques dans le but de stimuler la discussion sur le sujet

---

<sup>82</sup> Serge Tisseron, psychiatre, psychanalyste et chercheur français. Ses travaux portent sur les rapports que nous entretenons avec les images, les objets, les technologies ou les secrets de familles.

<sup>83</sup> Serge Tisseron « nos objets quotidiens », revue HERMÈS 25, 1999, page 64.

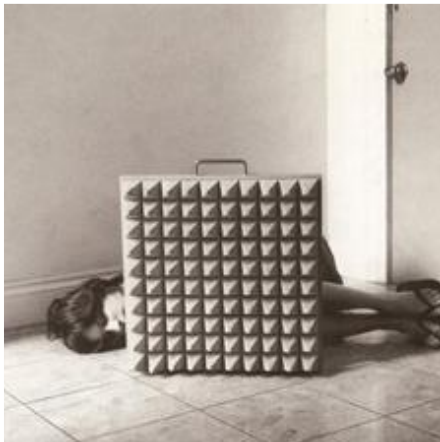
<sup>84</sup> Serge Tisseron « nos objets quotidiens », revue HERMÈS 25, 1999, page 58.

<sup>85</sup> Anthony Dunne et Fiona Raby, sont deux designers anglais qui ont popularisé le critical design une approche non commerciale du design qui favorise le débat public autour d'un concept. Ils furent tout deux enseignant au Royal College of Art.

<sup>86</sup> Anthony Dunne et Fiona Raby, « Design Noir, the Secret Life of electronic Objects »

à l'instar de ce qui se passe dans l'architecture. Si la finalité n'est pas industrielle elle contribue néanmoins à enrichir la vision, les perspectives et le sens de nos objets et peut faire preuve d'anticipation. A la fin du siècle dernier, leur concept de « design noir » évoquait des objets électroniques comme parties intégrantes de la vie des utilisateurs, une fusion entre les réalités extérieures et le psychisme individuel. Ils y développaient l'idée d'un monde technologique où les machines et l'intelligence artificielle viendraient s'insinuer au milieu des interactions et échanges humains, où les objets connectés combleraient les vides. Visionnaires ?

En 2001, ils initièrent le projet « placebo » dont le principe était de mettre en évidence notre attitude vis-à-vis d'objets électroniques, leurs usages et les interactions avec le champ électromagnétique. C'était une approche plutôt psychologique et anthropologique car les effets n'étaient pas physiquement réels mais supposés par les volontaires de cette expérience et tendait à comprendre la façon dont nous percevons la vie privée des objets, celle qui est cachée à nos yeux.



Electro-draught excluder (A. Dunne, F. Raby)

Une série d'expériences mettait en scène la présence de champs et d'ondes électromagnétiques en les rendant visibles ou tangibles via des lumières, des indicateurs mécaniques ou des vibreurs. Et d'autres expériences étaient liées à la détection satellitaire automatique et à notre volonté d'accepter ce traçage, à notre capacité à résister à l'effet intrusif du téléphone, à l'électrosensibilité. Dans ce dernier cas, un bouclier carré d'environ soixante centimètres de côté et recouvert d'un matériau faisant référence à celui de la structure d'une chambre anéchoïque<sup>87</sup> était mis à disposition des cobayes. Les premiers ressentis font état d'un sentiment d'insécurité par la prise de conscience de l'omniprésence des objets électroniques et des

ondes électromagnétiques (utilisation permanente du dispositif), la petite taille du dispositif ne permet pas de se sentir intégralement protégé. L'expérience s'est avérée en définitive angoissante pour la volontaire, « *I think I found it quite emotionally and intellectually tiring and wearing to use it after a while* ». <sup>88</sup>

Depuis cette époque nous avons beaucoup évolué dans notre niveau d'interactions et d'acceptations vis-à-vis des objets électroniques et ceux-ci ont fortement contribué à modifier les organisations de nos sociétés ainsi que la structure de nos liens sociaux. Si on se réfère aux schémas de diffusion des innovations dans la société (voir par exemple les travaux de Everett Mitchell Rogers<sup>89</sup>), on peut supposer que par la promotion des innovations et la mise en avant de leurs aspects pertinents, les agents du changement et les leaders d'opinion ont été particulièrement efficaces pour connecter deux mondes assez différents ; « les aventuriers et visionnaires » d'un côté et les « majorités pragmatique et sceptique » de l'autre. Le point de bascule dans ce schéma est la capacité à convaincre une majorité pragmatique (en règle générale un tiers de la population) socialement plus homogène qui par effet de volume peut entraîner la majorité sceptique. Il serait alors tentant de qualifier la dernière part, les réfractaires à certaines innovations, comme hermétiques à toute forme de changement. Mais parmi eux se cachent de réels opposants aux valeurs introduites par des innovations particulières. Avec la volonté

<sup>87</sup> Chambre anéchoïque, voir glossaire technique en annexe.

<sup>88</sup> Anthony Dunne et Fiona Raby « Design Noir, the Secret Life of electronic Objects » Annexe page 124.

<sup>89</sup> Everett Mitchell Rogers (1931-2004), sociologue et statisticien américain dont les recherches sont volontiers éclectiques. Il est principalement connu pour son ouvrage « Diffusion of Innovations » publiés en 1962.

de proposer un modèle alternatif, ils deviennent alors les aventuriers d'une nouvelle forme d'innovation. On pourrait songer aux tendances *low-tech*, aux modèles de frugalité et d'objets réparables qui sont autant de sources de fortes créativité et une construction collective en opposition à un modèle basé sur la technologie et l'obsolescence programmée.

Voyons dans la suite la façon dont certains designers se sont emparés du sujet de l'électronique et parfois de l'électronique imprimée et plus particulièrement leurs apports à la construction ou la déconstruction de l'identité des objets, l'ouverture de la potentialité des objets techniques, la compréhension des objets par les utilisateurs.

## 2) Les formes cachées de l'électronique, construction d'une identité visuelle

L'électricité comme phénomène physique de mouvement de charges électriques possède deux dimensions : une dimension énergie par sa capacité à entraîner, chauffer, rayonner et une dimension informationnelle dite électronique dans sa capacité à transmettre et stocker de l'information au travers de fluctuations de charges. La première semble être bien conscientisée par les utilisateurs. À travers divers éléments architecturaux, centrales, éoliennes, pylônes, production et transport d'énergie sont matérialisables si ce n'est en détail au moins symboliquement.

Nos lieux et modes de vie sont également un rappel permanent à cette consommation tant nos objets du quotidien en sont dépendants. Demain peut être que notre mobilité sera essentiellement conditionnée par notre capacité à créer cette forme d'énergie et que, au regard des quantités disponibles, nous devons peut être faire des choix d'usage pour nos objets. Mais encore aujourd'hui à l'instar de l'eau qui coule du robinet, nous attendons qu'il en soit de même pour le flux d'électrons provenant de la prise électrique. En revanche, la part informationnelle des objets électroniques apporte des réponses à demi révélées car l'utilisateur se retrouve surtout à interagir avec une interface plutôt qu'à manipuler des composants électroniques. Quelques sous-ensembles (ex microprocesseurs) bénéficient d'une attention particulière auprès du grand public mais toujours vis-à-vis de leurs caractéristiques techniques, la plupart d'entre nous ne sachant même pas à quoi ils ressemblent. Alors que l'électronique et ces développements connexes ne cessent de croître autour de nous, pourquoi ne percevons-nous pas leurs réalités physiques ? Mais au fait, les avons-nous déjà perçues ?

Prenons l'exemple de la radio. Convergence du télégraphe et de la découverte des ondes électromagnétiques<sup>90</sup> au 19<sup>ème</sup> siècle, les premières applications sont essentiellement limitées aux communications maritimes et militaires. L'invention du poste à galène<sup>91</sup> en 1906 et de la lampe amplificatrice à cathode chaude<sup>92</sup> (triode) en 1907 annoncèrent le développement des postes récepteurs de radio diffusion et de l'industrie de la radio-électronique, et s'accéléra au moment de la première guerre mondiale.

---

<sup>90</sup> Ondes électromagnétiques, voir glossaire technique en annexe.

<sup>91</sup> Poste à galène, voir glossaire technique en annexe.

<sup>92</sup> Triode, voir glossaire technique en annexe.



Récepteur à galène type « Oudin »

Dans la première partie des années 1920, c'est avec les radios amateur et le poste à galène que commença l'usage chez les particuliers. Avec son allure de prototype, il se montra tel qu'il était. Sur l'illustration on aperçoit nettement la bobine d'induction variable et son curseur de réglage, un élément du circuit de résonance qui permet d'isoler la bande d'émission du signal. Ce dispositif était autonome en énergie, celle-ci étant récupérée au travers du signal via l'antenne. Les lampes amplificatrices triodes et les éléments de diffusion sonores vinrent rapidement modifier les caractéristiques des postes radio. Dès lors, les parties les plus sensibles furent protégées de la poussière et de l'humidité et disparurent sous un habillage qui protégea également l'utilisateur.

Ceci amorça le processus de dissimulation de l'électronique qui allait devenir la nouvelle norme de conception des postes de radio. Sur le modèle présenté (Poste Péricaud), seuls les éléments à changer fréquemment apparaissent (lampes et bobines d'accord). L'esthétisme développé par le tube électronique et sa symbolique relative à l'énergie sont aujourd'hui encore présents et clairement mis en avant pour certains amplificateurs Hifi haut de gamme. C'est essentiellement la pratique amateur qui prévalu à l'époque, et les postes de réception furent souvent fabriqués ou améliorés par leurs utilisateurs.



Poste Péricaud 1922 (Image tsf36.fr)



Amplificateur Welleman 2018

Dans la seconde moitié des années 20, les lampes et récepteurs évoluèrent. Le système "à réaction" disparut progressivement pour être remplacé par le montage superhétérodyne<sup>93</sup>, plus performant et plus simple à utiliser. Ce fut le démarrage de la radio grand public pour un usage réduit à celui de simple auditeur et une offre servie par l'industrie de l'électricité (exemple Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft en Allemagne).

<sup>93</sup> Montage superhétérodyne, voir glossaire technique en annexe.



Radio Telefunken (All)  
type 340WL de 1931



Radio Ekco AD-65 de 1933 (UK) en bakélite préfigurant les multiples possibilités des matériaux plastiques.

Le design des appareils changea également. Les ébénisteries elles-mêmes furent soignées, parfois en bois précieux, les tubes électroniques et leurs réalités techniques furent à leur tour enfermées dans l'écran. La qualité sonore, la facilité d'usage et l'aspect extérieur furent les enjeux de ce nouveau marché de la communication. Mobilisé pour dissimuler la partie technique de l'appareil, les designers allaient ainsi constituer la première identité visuelle pour le public, une parure en adéquation avec le mobilier de l'époque.

Apparu au milieu des années 30, l'indicateur d'accord plus communément nommé « œil magique », était un voyant vert qui se fermait telle une paupière lorsque le poste était accordé à une station. Cet œil a progressivement disparu au cours des années 60, supprimant ainsi le dernier témoin visuel d'un des phénomènes électroniques présents dans le poste de radio.



Lampe à 9 broches EM80

Sauf à s'avérer particulièrement bricoleur, l'utilisateur ne pouvait constater l'extraordinaire développement de l'électronique et des performances des composants qui s'amorça avec le transistor à partir de la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle qu'au travers des qualités sonores et d'usage des appareils.





La miniaturisation continue fut aussi difficile à percevoir. Les dimensions de l'appareil furent essentiellement maintenues par la taille de l'interface de recherche des stations dans les gammes d'ondes et par celle des hauts parleurs. Le curieux aura toutefois vu la plupart des composants se réduire, s'aplatir presque, et pour certains se rassembler et disparaître derrière la carapace de circuits intégrés. Cette trajectoire suivie par les composants électroniques et mue par le besoin continu de concentrer toujours plus de capacités et de fonctionnalités dans un espace toujours plus réduit, a conduit à l'ultra miniaturisation. Poursuivie jusqu'aux limites de taille des matériaux semi-conducteurs elle s'oriente maintenant vers la nano-électronique et l'électronique moléculaire et est devenu l'apanage des industries de pointe renvoyant de fait sa conception, sa compréhension et sa mise en œuvre vers des spécialistes hautement qualifiés.



Aujourd'hui la réception des stations hertziennes ne se fait pratiquement plus avec un poste dédié à cet usage, car l'ultra miniaturisation a permis d'intégrer cette fonctionnalité dans les amplificateurs et les téléphones portables, le câble des écouteurs jouant dans ce dernier cas le rôle d'antenne. Depuis quelques années le DAB+<sup>94</sup> (Digital Audio Broadcasting) ou radio numérique est venu compléter la bande FM déjà disponible et saturée obligeant de fait les constructeurs à adapter leurs modèles mais il n'y a pas eu d'impacts visibles pour l'utilisateur. Le web a également investi ce domaine et si toutes les stations radios proposent des possibilités de podcast, des plateformes radios entièrement hébergées en ligne commencent à apparaître. Cette option ne semble d'ailleurs être pénalisante que pour les appareils soumis à des contraintes de forfaits et/ou de débits et vient compléter l'offre hertzienne. L'aspect tangible de la radio n'apparaît désormais plus qu'au travers d'une simple interface. Ce destin est comparable à celui de nombreux appareils dont les fonctionnalités ont progressivement été intégrées au smartphone (photographie, enregistrement audio, boussole, etc.).

Une sorte de boîte magique dont la structure micro-électronique est illisible pour la plupart d'entre nous, et qui ne laisse comme champ de créativité et d'étonnement pour les designers que l'animation et le mode d'utilisation d'un écran tactile aux dimensions réduites. Pour une audition collective de la radio, il faudra plutôt compter sur « Alexa » (Amazon), « Siri » (Apple), et autres assistants vocaux des enceintes connectées. L'intelligence artificielle fait tomber l'interface. Serait-ce une contrainte débouchant sur de nouvelles formes d'interactions et une meilleure compréhension des fonctions, ou bien l'ultime simplification opaque d'un dispositif jugé banal et qui se concentre sur l'essentiel c'est à dire

<sup>94</sup> DAB+, voir glossaire technique en annexe

le contenu des émissions ? De récentes interrogations sur la sûreté liée à l'enregistrement et au stockage des conversations avec ces dispositifs ainsi que les mises en garde de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) seraient de nature à relancer aujourd'hui une étude analogue à celle d'Anthony Dunne et Fiona Raby.

Nous pourrions nous arrêter à une lecture linéaire de l'histoire de la radio et des formes qu'elle a pu prendre car finalement elle s'applique à la grande majorité des modèles. Cependant, des démarches visionnaires ou singulières furent entreprises sur ce produit, et cela alors même qu'il était rentré dans une sorte de standardisation.



Radio in the bag (image Artnet)

Pour « Radio in the bag », conçue en 1981 et commercialisée en 1983, Daniel Weil<sup>95</sup> prend le parti de révéler les organes électroniques au travers d'une enveloppe souple et transparente, de désigner comme radio ce qui est avant tout capable de capter et traduire un signal. On peut y voir une critique du « black box aesthetic<sup>96</sup> », le design dominant des boîtiers de l'époque, ou l'intuition de la disparition du corps de l'objet électronique au profit de l'interface. Ironiquement, elle n'est pas sans rappeler la forme des premiers récepteurs des radio-amateurs. Les 10 000 exemplaires fabriqués par la société Apex furent essentiellement vendus au Japon. Pour un produit grand public cet exemple est plutôt à classer dans le design d'édition et expérimental mais l'aspect actuel des récepteurs réduit à un boîtier, un fil, et deux écouteurs, souligne la pertinence de son approche.

Dans cette perspective où les formes des objets électroniques disparaissent au profit de l'interaction et de l'expérience utilisateur, quelle serait sa nouvelle proposition si le sujet était remis sur la table ? Un implant multimédia connecté au cerveau ?



Freeplay Radio (image rei.com)

C'est dans la catégorie design pour le tiers monde que Trevor Bayliss s'illustra en 1994 avec sa « Freeplay radio<sup>97</sup> », un poste de réception dont l'énergie est assurée par l'intermédiaire d'un système de ressorts multiples mu par une manivelle. Le but était de fournir aux habitants du tiers monde un vecteur d'information transportable et autonome. Au début du 21<sup>ème</sup> siècle deux usines du Cap employant des handicapés fabriquaient 100 000 radios ou lampes par an sous la marque Freeplay<sup>98</sup>. Depuis la marque a été vendue au groupe Euro Suisse et commercialise dans le monde entier des appareils autonome

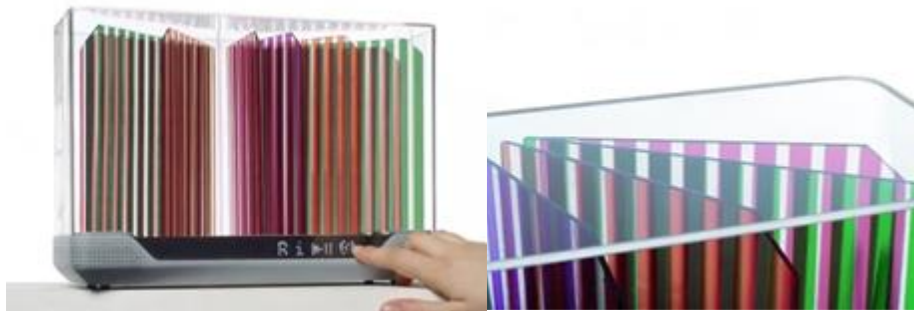
<sup>95</sup> Daniel Weil est un designer né en Argentine. Il collabora avec le mouvement italien Memphis ainsi qu'avec de nombreuses maisons de design d'édition et de nombreux industriels. Il fut professeur de design industriel au Royal College of Art.

<sup>96</sup> Black box aesthetic, concept d'aménagement conscient de conditions de création intégrant un abandon partiel de l'auteur permettant l'initialisation d'un système autonome.

<sup>97</sup> Trevor Bayliss (1937-2018), inventeur anglais qui s'est intéressé aux solutions de communication pratiques dans les zones défavorisées du globe.

<sup>98</sup> <http://www.freeplayenergy.com/>

pour les loisirs et les populations en détresse relevant des actions humanitaires. Dans le cas présent c'est la fonction de l'appareil ainsi que la dimension énergie électrique produite mécaniquement qui sont mises en avant. La robustesse prévaut sur la taille et l'aspect. La pertinence du concept et son application à l'échelle de la planète conduit alors à l'élaboration d'un projet entrepreneurial puis d'une mise à l'échelle industrielle.



Radio Hélio (image blog.retrofutur)

L'idée d'autonomie énergétique est reprise par Léa Longis en 2009 au travers de sa radio « hélios<sup>99</sup> », un poste à la norme DAB dont la plus grosse partie laisse apparaître un paravent multicolore formé de cellules photovoltaïques de Grätzel<sup>100</sup> qui ont la particularité d'être particulièrement efficaces avec un éclairage d'intérieur. Le code esthétique rappelle celui adopté pour les amplificateurs à tubes. Même si dans le cas présent il s'agit plus d'illustrer un concept autour d'un développement conduit par l'École Polytechnique Féminine de Lausanne, celui-ci remet en perspective les nouvelles solutions technologiques et formes associées pour produire cette énergie dont notre civilisation est si gourmande. Il y a là un vaste champ d'investigation pour l'électronique imprimée dont les formes d'organisations pourraient s'avérer très variées.

Alors que nous avons identifié des formes alternatives au phénomène de dissimulation de l'électronique au travers de projets de designers qui révèlent l'invisible, explorons à présent les formes que peut prendre cet invisible.

### 3) Du filaire aux ondes, la voix des objets électroniques comme une présence invisible.



« Wireless », traduction sans fil, mobile, hertziens suivant que l'on désigne un objet électrique ou électronique dépourvu de câble et par conséquent totalement mobile, un téléphone portable, ou le système de communication régissant un certain nombre de ces objets. L'électromagnétisme<sup>101</sup> en tant que théorie unifiée naît en 1864 suite aux travaux de James Clerk Maxwell<sup>102</sup>.

<sup>99</sup> Léa Longis, designer française et chercheuse chez EDF.

<sup>100</sup> Cellules photovoltaïques de Grätzel, voir glossaire technique en annexe.

<sup>101</sup> Électromagnétisme voir glossaire technique en annexe.

<sup>102</sup> James Clerk Maxwell (1831-1879), mathématicien et physicien anglais, scientifique majeur du 19<sup>ème</sup> siècle et père du modèle unifié de l'électromagnétisme.

A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle les premières expérimentations de communication par voie hertzienne (ondes électromagnétiques ou perturbations des champs électriques et magnétiques inférieures à 300 GHz) seront dues à Heinrich Rudolf Hertz et Nikola Tesla<sup>103</sup>. Si le principe est très rapidement investi dans les systèmes de communication, il a fallu attendre l'expansion des réseaux internet et en particulier les réseaux sans fils au début du 21<sup>ème</sup> siècle pour voir les premiers objets connectés apparaître (« lampe Dal» en 2004 et « Nabaztag » en 2005, éditeur Violet). Parmi les définitions prenons celle-ci :

« L'Internet des Objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant<sup>104</sup> »

À partir du moment où ces objets peuvent bénéficier d'une source d'énergie, éventuellement elle-même induite, ils peuvent communiquer entre eux via les différents protocoles de communication qui représentent autant de langages qui leurs sont propres. Une société d'objets individualisés, bientôt intelligents voire sensibles, formant un réseau au sein de notre société humaine, connaissant peut-être certaines de nos caractéristiques mieux que nous et communiquant avec des langues inaudibles. Un élément de plus qui nous éloigne de la compréhension de ces dispositifs et de la perception de cette quantité phénoménale de données qui transitent. Rares indices matériels de ces champs électromagnétiques, les antennes noyées dans le paysage urbain, juchées sur quelques châteaux d'eau, ou plus facilement détectables lorsqu'elles sont plantées au milieu d'un champ.

La seule perception qui semble alors présente est liée à l'électrosensibilité avec de nouvelles expressions comme « electrosmog » c'est-à-dire pollution électromagnétique, ou l'électrogéographie une cartographie de la position spatiale des ondes<sup>105</sup>. De fait, on voit cette affection prise au sérieux et un marché apparaître dans ce domaine. Si les effets devaient s'étendre à une part significative de la population, on pourrait s'attendre à de nouvelles contraintes réglementaires et de nouvelles propositions de signalisation de limitation ou de protection à établir. Un autre champ d'investigation qui mérite un regard croisé et interdisciplinaire entre sciences, ingénierie, économie, mœurs, usages et créativité.



Caisson d'isolation, concept « Faraday Chair » (Dunne & Raby 1998)



Large Size Shown

BoDefense™ Shelter commercialisé chez [Less EMF](#)

<sup>103</sup> Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) et Nikola Tesla (1856-1943), physiciens de premier plan dont les travaux ont porté sur l'électromagnétisme et les ondes électromagnétiques.

<sup>104</sup> Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau et Françoise Massit-Folléa « L'Internet des objets » (Edition MSH).

<sup>105</sup> Référence « Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale Idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques » rapport de mars 2018 de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire.



Même si l'électronique devient de plus en plus évanescence, ces exemples montrent des possibilités d'extensions et de surprises au-delà des modèles standards ; extensions souvent initiées par les préoccupations du moment. Sur l'exemple du travail d'un designer sur cette thématique de l'électronique imprimée ou non voyons comment des concepts sont générés et comment ils évoluent avec l'expérience

#### **4) Exemple des créations de Clémentine Chambon, un travail collaboratif s'inspirant de la technologie et la nourrissant en retour.**

Clémentine Chambon est designer, diplômée de l'école Boule et de l'ENSCI-Les Ateliers. En 2004 le projet « rideau lumière », appel à projet du VIA (Valorisation de l'Innovation dans l'Ameublement) fut l'occasion de sa rencontre avec Françoise Mamert, designer textile mode.



Rideau Lumière (image pinterest)

Produire une surface de plusieurs mètres carrés en fibre optique et fil de soie tissés est très complexe à l'époque, et c'est grâce à un travail associant technique et intuition ainsi qu'à la dextérité de Maité Tanguy, tisserande, qu'elles parvinrent au prototype fonctionnel. Il révéla une nouvelle esthétique dans le domaine du textile. Pour la première fois voile et luminaire se confondent ; texture de la lumière, texture et aspérités du tissage, chacun jouant avec le caractère et les propriétés de l'autre. Peut-être une étape intermédiaire vis-à-vis de ce que pourrait être un voile intelligent et autonome, capable de capter la lumière extérieure et de la restituer à la nuit tombée.

Clémentine Chambon et Françoise Mamert s'associèrent en 2008 et fondèrent Design Percept. En 2011, le studio conçut huit voiles éclairant « eight-part fugue » pour l'ambassade de France à Pékin avec l'entreprise Brochier Technologies (émanation d'une ancienne soierie Lyonnaise). Le tissage fut réalisé industriellement, donnant une nouvelle matérialité à cette association de technologies, une armure homogène et un traitement des fibres contrôlé, passage d'un savoir artisanal à un savoir industriel. La société Brochier Technologies est aujourd'hui spécialisée dans la fabrication de tissage de la fibre optique ainsi que de l'ingénierie de l'éclairage LED associé, et investit les marchés de technologie de pointe, tels le médical, l'automobile, la sécurité, la dépollution, la communication et l'architecture.

En 2012, l'obtention d'une bourse de recherche appliquée, la bourse OSEO soutenue par le Lieu du Design, leur donna l'opportunité de collaborer avec Declercq Passementiers sur un savoir-faire d'exception et de faire évoluer ces recherches de textiles lumineux d'une structure plane à une structure en volume. L'introduction de la passementerie éclairante ouvra de nouvelles perspectives de mise en forme et la commande de création d'un élément décoratif « artwork LiLi » pour l'Hôtel the Peninsula Paris en 2013, leur permit un changement d'échelle. Cette installation de textiles et passementeries lumineuses est un hommage à la chanteuse d'opéra chinoise des années 1920, LiLi dont le portrait sur voile éclairé est agrémenté d'une pluie de passementerie lumineuse composée de câbles lumineux et de perles de



bois recouvertes de fils. Un ensemble qui joue cette fois-ci avec des émissions lumineuses sur plusieurs plans et une image imprimée qui laisse passer ou absorbe cette lumière.

Considérant la problématique de la production d'énergie connexe à celle des textiles intelligents, le duo de designers s'impliqua également dans le projet collaboratif « Vitruvian Energy Project » initié en 2015 par EDF, Dassault System et l'Agence pour la Promotion de la Création Industrielle (APCI) au travers du concours « sharing energy in the city 2030 ». Quatre jeunes designers en Master au George Brown College de Toronto, Luliia et Antonina Kostiuk, Svetlana Lagodina et Becky Long accompagnées de leur professeur Xavier Massé, proposèrent un concept de vêtement capable de capter, distribuer et partager l'énergie.

EDF décida d'accompagner l'idée dans son développement, sollicitant un grand nombre d'acteurs complémentaires, notamment l'Institut Français du Textile et de l'Habillement, le centre de recherche Materia Nova. Clémentine Chambon avait alors déjà travaillé en 2009 sur un concept de lustre autonome en énergie, Lulu 01. Ce luminaire, qui avait nécessité six mois de recherche de partenaires techniques afin de parvenir à un ensemble fonctionnel, était composé de 204 ensembles de panneaux photovoltaïques et LEDs.



(Lulu01, clichés Clémentine Chambon)

Pour le Vitruvian project, la mise en synergie de ces nouveaux acteurs avec leurs expériences et leurs sensibilités donna corps à une robe et une veste aux parti pris très graphiques dessinées par Françoise Mamert, qui cependant ne cachent rien des plaques photovoltaïques qu'elles incorporent. De nombreux concepts et prototypes sont venus également enrichir cette étude depuis. Aujourd'hui, Clémentine Chambon s'interroge sur l'usage et la pérennité d'un vêtement connecté :

« La question est surtout : veut-on porter de la technologie ? Il y a une dimension de l'intime du contact avec la peau, une problématique de recyclabilité également, qui nous questionne particulièrement lorsque l'on considère les cycles de vie relativement courts des vêtements (...) Je ne sais même pas si aujourd'hui en 2019, c'est encore désirable. Je pense que malgré notre appétence des nouvelles technologies, nos aspirations pour notre environnement domestique, nos choix de matières pour nos vêtements sont en contradictions avec nos modes de vie ultra connectés. Au fond on observe de plus en plus une demande de matériaux naturels, des textiles sourcés et transformés durablement, du coton bio, etc. C'est peut-être un rééquilibrage par rapport à la technologie omniprésente<sup>106</sup> »

---

<sup>106</sup> Source interview de Clémentine Chambon, voir annexe.



Vitruvian Project ©Design Percept

Malgré une Étoile de l'Observateur du Design, le Vitruvian project a été un projet d'image, une prouesse technologique un peu éclipsée par la veste connectée « Jacquard » de Google et Levis, mais pour cette dernière les éléments techniques sont cachés et seuls les gestes du porteur pour contrôler le dispositif trahissent leurs présences et donnent sa singularité au vêtement. Avec un prix deux fois supérieur à une veste en jeans normale et un achat seulement possible à partir du site USA le public visé est pour l'instant celui d'utilisateurs pionniers très attirés par la technologie.

2018 marqua le début d'une aventure en solo pour Clémentine Chambon qui, accueillie en résidence de recherche par l'ENSCI-Les Ateliers, initia le projet "Paperwork, exploration lumière OLED papier". Une piste d'exploration sur la symbolique de la lumière, de l'interaction des OLEDs avec le support papier, du *Do It Yourself*<sup>107</sup>, du nomadisme, de la relation ombre et lumière, de l'évolution de l'éclairage. Il s'agissait d'expérimenter les possibilités de création de lumière sur un support cellulosique via l'électronique imprimée et dans l'état actuel de l'art.



« Paperwork, exploration lumière OLED papier », cahier de projets et prototypes, (clichés Clémentine Chambon)

<sup>107</sup> Do It Yourself, voir glossaire technique en annexe.

Travail original dans le sens où il est pris très en amont, c'est à dire à un niveau de recherche appliquée où la maturité technologique est encore faible, mais un niveau qui peut également s'inspirer du point de vue du design pour avancer. Pour la designer, aborder le support papier, c'est l'occasion de s'orienter vers un projet plus grand public, un vaste champ d'investigation, une facilité de prototypage offert par ce matériau et les technologies de l'électronique imprimée. Une possibilité de remodeler le rôle du designer, entre recherche de composants, bricolage électronique et démarche esthétique. En définitive, les limites de stabilité et de fragilité des OLEDs n'ont pu permettre de dépasser le stade de concept. Pour autant, la designer choisit de réorienter la recherche vers une technologie plus mature, de se focaliser sur le champ du luminaire avec des micro LEDs, en jouant cette fois avec la structure du support papier et le contraste des couleurs.



Clichés Clémentine Chambon

Cycle de divergence et de convergence, la recherche avance ainsi au rythme des nouveaux apports, de leurs nouvelles contraintes, des résolutions de problèmes ou des réorientations. Dans le passage d'un design d'édition à un design plus épuré, moins technologique, plus écologique et plus accessible, on voit ici que le choix peut devenir un engagement sociétal ou du moins répondre à certaines attentes des citoyens. Mais il y a aussi dans la démarche de Clémentine Chambon la volonté de « rentrer dans l'intimité des technologies au travers du faire soi-même et du bricolage, d'aller au bout de la compréhension à une petite échelle afin de mieux appréhender toute la logique de la technologie »<sup>108</sup>. Son travail sur l'électronique imprimée a été l'occasion de constater « qu'il y aurait beaucoup de champs dans lesquels il pourrait y avoir du design. Notamment sur des problématiques avec des entrées centrées sur l'usage et non sur la technologie »<sup>109</sup>. Et à propos des entreprises impliquées dans le domaine de l'électronique imprimée.

*« Il y a une interrogation sur ce que les designers pourraient leur apporter. Pourtant de leur côté il y a un réel besoin de vulgarisation. Peu de personnes connaissent ce qu'est l'électronique imprimée, ses filières, et les acteurs de cette industrie ont parfois des difficultés à faire comprendre leur domaine qui relève souvent de la chimie, pour lever des fonds par exemple. D'autre part, c'est une industrie qui est très présente dans les produits semi-finis donc souvent cachée. Malgré un marché en croissance, toute entreprise a besoin de plus de visibilité, pour continuer à décoller. Donc ils y réfléchissent...un petit peu. »<sup>110</sup>*

Considérons maintenant les objets comme vecteur de construction socioculturelle, et dans le cas particulier du marché du kit, voyons comment les designers peuvent s'emparer du thème et contribuer à l'apport de connaissances ainsi que de donner un nouveau sens aux objets.

<sup>108</sup> Clémentine Chambon, voir interview en annexe.

<sup>109</sup> Clémentine Chambon, voir interview en annexe.

<sup>110</sup> Clémentine Chambon, voir interview en annexe.

## 5) L'esprit des « *Makers* », entre désir de connaissances, création et souci d'autonomie. Un potentiel socio-culturel et une autre expression esthétique ?



Sources Images : [artnet.com](http://artnet.com), [ideatthegoodhub.com](http://ideatthegoodhub.com), [improvisedlife.com](http://improvisedlife.com)

En 1974 Enzo Mari initiait le projet « *Autoprogettazione*<sup>111</sup> ». Ici le design a pour rôle de communiquer de la connaissance. Enzo Mari y définit la recherche de la forme comme la recherche de la nature propre, du sens et de l'âme de l'objet et rejette ainsi l'idée d'embellissement. Là où la nature aboutit à un équilibre métastable, l'homme doit à l'inverse conceptualiser et construire la forme en s'attachant à trouver l'équilibre, la forme qui n'a pas d'alternative (pour un ensemble de contraintes données), au travers d'une démarche à la fois technologique et artistique.

Par le faire soi-même, par l'acquisition de connaissances et l'usage d'outils adaptés, l'utilisateur pourrait comprendre l'objet et donc atteindre la forme. La valeur revendiquée par ce projet fut essentiellement éducative. Elle s'inspira peut-être des constructions à ossature croisée dite « *ballon frame*<sup>112</sup> » en vogue aux USA au 19<sup>ème</sup>, et proposa une série de plans côtés pour la construction de meubles en bois à partir d'une seule taille de planche et de fixations par cloutage. A l'époque la société Simon International à Bologne finança ce projet et y trouva son compte dans la fourniture de planches de longueur standard ou en version kit prédécoupé. L'ouvrage eut un certain succès en Italie et les réactions furent nombreuses, qu'elles fussent un support (« combattre le goût dominant, une ambition irréaliste mais nécessaire pour le designer »), ou un appel à la controverse (« n'est pas une réponse aux soucis d'accès aux biens d'équipement pour la classe ouvrière »)<sup>113</sup>.

La démarche de Enzo Mari n'est pas vraiment du *Do It Yourself*, au moins dans le sens hobby du terme, il ne rejette pas non plus l'industrie « *industry should be kept busy, be managed, made its own, tools should not be rejected*<sup>114</sup> ». Il ne se pose pas comme une alternative à l'industrie, c'est un exercice critique du design qui vise à comprendre les rythmes de la forme. Celui qui réalise cet exercice devient conscient du raisonnement structurel qui se cache derrière l'objet et peut dès lors jeter un œil critique et connaisseur sur les objets disponibles par ailleurs. Mais est-ce que les gens sont prêts à favoriser l'utilité au détriment de l'image et des valeurs idéologiques qu'elle véhicule, à affronter le jugement d'autrui, à se positionner à contre-courant de la société de consommation ? De l'aveu de l'auteur, à peine 1 ou 2% des gens ont compris sa démarche. En définitive, l'utilisation de ses plans fut motivée par trois attentes différentes : une posture idéologique de retour à la nature et de fabrication d'objets minimalistes, le souci financier de se meubler à moindre frais, la décoration de résidences secondaires au style *cottage*. Ceci

<sup>111</sup> Enzo Mari, designer, architecte et illustrateur italien, il est particulièrement connu pour son manifeste « *Autoprogettazione* », une approche du design anti-consumériste.

<sup>112</sup> Ballon frame, voir glossaire technique en annexe.

<sup>113</sup> Source *Autoprogettazione*, éditions Corraini 1974.

<sup>114</sup> Enzo Mari, « *Autoprogettazione* », éditions Corraini 1974 page 45.

souligne la capacité de chacun à trouver ses propres motivations dans l'adoption d'une pratique, de l'adapter, de la faire évoluer voire de la détourner surtout lorsque cette pratique incite à la créativité.



Image Internationalnews

Qu'en est-il aujourd'hui de la pratique de l'électronique en tant que hobby, à l'heure où la plupart des composants à courants faibles sont à peine manipulables ? Elle existe toujours au travers d'une communauté active et de quelques revendeurs. Elle reste essentiellement concentrée sur la pédagogie et l'enseignement (électronique et robotique), la pratique musicale, l'audition et l'animation, la domotique,

la sécurité, l'alimentation électrique et la régulation des appareils domestiques. Elle s'est également renouvelée ces dernières années autour de l'impression 3D et la fabrication de drones. Même si cette activité met en œuvre des composants souvent désuets elle n'en est pas moins dynamique et animée d'une appétence pour la connaissance, l'apprentissage par la pratique, la mise en œuvre d'astuces, la création de dispositifs, la personnalisation vis-à-vis de ses propres besoins, l'autonomie, la production d'énergie, l'économie circulaire et le partage avec la communauté. En ce sens elle répond aussi à une préoccupation bien actuelle.

Souvent d'une nature plus orientée vers le logiciel et contrainte sur sa partie hardware par l'ultra miniaturisation, la standardisation, le renouvellement et les augmentations de capacité incessantes, la pratique électronique autour de l'objet informatique se concentre essentiellement sur l'association de cartes. Du composant, on monte au niveau de l'ensemble, sans toutefois perdre l'esprit du kit, reste à l'amateur la responsabilité de comprendre plus en détails la composition des cartes électroniques.

Le projet « Papier Machine » des designers Marion Pinaffo et Raphael Pluinage<sup>115</sup> explore les mystères de l'électricité et nous révèle la beauté cachée derrière ce monde invisible et parfois virtuel. Né du constat que notre civilisation se complexifie toujours plus au travers de technologies de moins en moins compréhensibles par le public, ce duo de designers a mis au point un dispositif sur support papier qui permet à tout un chacun de reprendre contact avec l'électricité et ses propriétés.

Les étranges cités présentes sur les cartes électroniques ne nous permettent pas de visualiser les charges électriques, ces étranges habitants microscopiques. Du moins, nous pouvons tenter de comprendre leurs mœurs au travers des voies de circulations et des structures des composants qui constituent ainsi des bâtiments dédiés à chaque activité de transformation de l'énergie électrique. Pour révéler alors les détails, il nous faudrait nous réduire à l'échelle de ces cités et les parcourir tels des touristes dans une lointaine contrée. Marion et Raphaël nous proposent à l'inverse d'agrandir la cité, de rentrer à l'intérieur des composants, afin de les rendre plus tangibles. Constituée d'un cahier de jouets à confectionner, la découverte est laissée libre, les instructions sont réduites à l'essentiel et permettent une expérimentation et une déduction personnelle dans l'esprit du fait main. Le choix du support papier nous rapproche de l'esprit de maquettage et du prototype, le matériau est facilement accessible et tactile, il se prête à toutes les manipulations. Le choix technologique se porte de fait sur l'électronique imprimée pour les pistes conductrices et l'interfaçage par contact avec quelques composants traditionnels dont une pile bouton pour la source d'énergie, un élément sonore pour l'animation, et deux éléments mobiles et

---

<sup>115</sup> Marion Pinaffo et Raphael Pluinage, jeune duo de designers qui mélangent design et technologie pour créer des expériences éducatives singulières.



conducteurs constitués d'une bille d'acier et d'une mine graphite. Le kit électronique est ainsi revisité dans une forme ludique, particulièrement simple à mettre en œuvre, à une taille permettant de visualiser les effets, et sans dangers pour le manipulateur et l'objet.

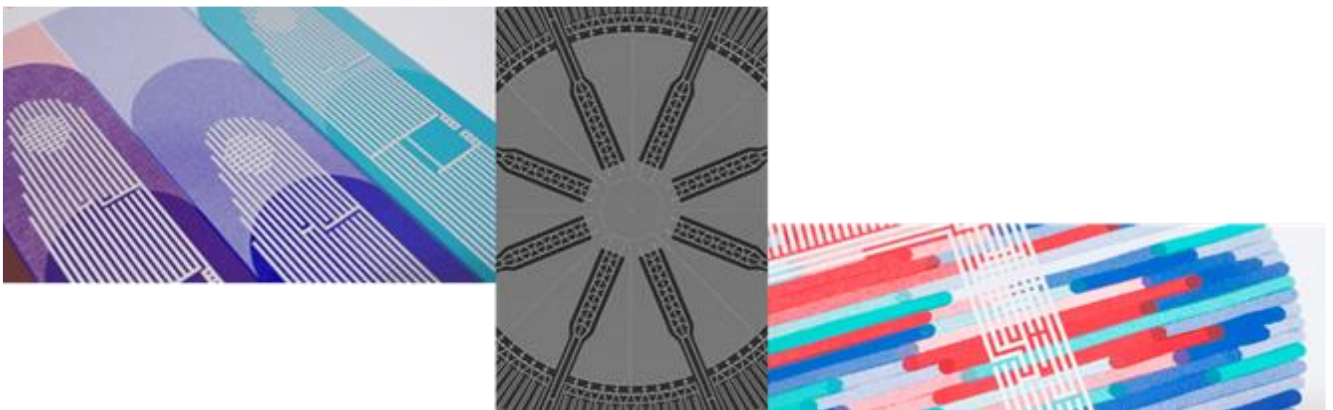


[Image pinaffo-pluvinage.com](http://Image.pinaffo-pluvinage.com)

[Image panoplie.co](http://Image.panoplie.co)

Ceci rappelle aussi le grand potentiel narratif de l'électronique qui est à même de développer des enchaînements, des événements et donc des histoires singulières propres aux structures et aux comportements des charges électriques.

Ce que révèle également « Papier Machine » au travers de cet électronique macroscopique imprimé en deux dimensions, ce sont ses possibilités esthétiques propres. Remis à l'échelle de notre vision humaine, nous en percevons enfin la grande diversité. Un nouveau territoire d'expression statique et dynamique nous est offert. Il est totalement intégrable dans la palette graphique traditionnelle. Le choix va donc plus se porter sur la volonté de révéler en tout ou partie une structure mettant en œuvre un phénomène électrique, d'en donner une texture. C'est un attribut supplémentaire.



[Images papier machine et gyroscope de smartphone](#)

Dans cette approche kit et créativité simple qui s'éloigne des standards industriels on peut alors imaginer une réappropriation de l'électronique par les utilisateurs ou du moins un positionnement choisi entre *makers* et consommateurs.



## 6) Bilan de la traversée

L'état des lieux présenté dans la première partie montre une organisation de l'innovation autour de l'électronique imprimée essentiellement inspirée par la poussée technologique avec une prédominance de la R&D et de l'ingénierie. Dans ce contexte, les acteurs se focalisent sur des produits déjà acceptés par le marché et cherchent à y incorporer les nouveaux potentiels de l'électronique imprimée, graduellement et en fonction de leurs maturités. Les sources de motivation sont le potentiel de réduction de coût de fabrication, l'impact environnemental réduit, la mise à profit des attributs spécifiques de l'électronique imprimée. Si notre considération restait limitée à cette poussée technologique, il n'y a que ces nouveaux attributs qui permettraient de créer de l'inconnu ou un changement d'identité.

Dans cette seconde partie, ouverte aux sciences sociales et à la création, nous entrevoyons à travers les exemples présentés, les contributions majeures que peuvent apporter les designers face à l'émergence d'une nouvelle technologie. Les possibilités sont importantes car le design revendique à la fois une filiation technique et une dimension créative. La première a étendu la notion de pratique à la formalisation et à l'approche système. La deuxième révèle une capacité à détecter les signaux faibles et à imaginer les possibles. Dans ce vaste champ qu'ouvre l'électronique imprimée, le design peut alors agir en tant qu'outil d'expérimentation (design fiction, design expérimental, design critique) ou en support à une meilleure prise en compte des usages (design industriel, design d'expérience).

Les objets et les services sont au cœur des constructions individuelles et collectives. Ils constituent à ce titre un moyen et un lieu d'influence des pouvoirs et contre-pouvoirs ainsi qu'un enjeu démocratique lorsque les citoyens peuvent juger de leurs fonctionnements et de leurs actions. On les souhaiterait idéalement au service de la société, durables et cohérents avec notre environnement mais ils restent façonnés à l'image de leurs concepteurs et de leurs utilisateurs. Adopter des points de vue différents et prendre de la hauteur renvoie à la notion de responsabilité et de choix conscient pour saisir les tendances ou en prendre le contre-pied. Du reste, ces positions ne sont pas incompatibles pour les compagnies qui se présenteraient avec une posture amoralisée. Des éléments de régulation qu'ils soient induits par les points de vue politiques et philosophiques ou par les événements viendront inmanquablement contraindre les projets et leurs veilles devient primordiales pour la survie des entreprises. Ils seront à la fois obstacles et opportunités pour se démarquer.

Dans le traitement de l'information, l'électronique laisse peu de place à la construction d'une identité et l'enveloppe qui contient l'ensemble des composants devient presque exclusivement son lieu d'expression. L'électronique imprimée dans son application macroscopique montre une esthétique graphique propre. Pourrait-elle être mise en valeur dans la construction de l'identité des objets ? De la même façon, l'hybridation de l'électronique imprimée avec d'autres techniques pourrait conduire à de nouveaux attributs et de nouvelles identités. De part ces possibilités et en raison du coût et de la simplicité de manipulation, l'électronique imprimée peut dès lors offrir une panoplie large de fonctionnalités pour des usages allant d'une simple consommation à un assemblage libre privilégié par les « makers » et les entreprises utilisatrices de sous-ensembles électroniques.

Le projet de conception innovante dans le milieu industriel se construit par rapport aux objectifs et il est défini par sa démarche stratégique. Dans un contexte complexe et mouvant, les approches centrées sur la technologie ou sur les études de marchés s'avèrent souvent insuffisantes et l'anticipation des besoins représente peut-être le nouveau graal des entreprises. Pour capter des pratiques émergentes qui par nature sont peu visibles, la stratégie se doit d'être construite autrement, de faire place au collectif.

Pour les PME et ETI cela peut signifier la nécessité de constituer une équipe projet autour d'un ensemble de partenaires, de fournisseurs, et de prestataires de services, voire de rentrer dans une logique d'open innovation afin de mutualiser les importants moyens financiers, matériels et humains à mettre en œuvre dans la phase d'exploration.

Avec qui constituer cette association, cette grappe économique ? Peut-être tout simplement avec ceux qui sont en mesure de bien poser la problématique de départ, le « pourquoi », de répondre aux questions suivantes (quoi, comment, etc.) et qui ont des intérêts dans cette association. À l'organisation définie dans la première partie et adaptée à la grappe viendrait alors s'insérer une structure de projet d'exploration qui inscrit la créativité comme partie intégrante de la stratégie et l'acceptation que ce cheminement puisse faire évoluer l'objectif initial. Certains des acteurs continueront d'être présents au-delà de cette phase initiale et s'engageront également dans la phase de diffusion et la phase d'exploitation. Leurs relations seront donc à construire dans la durée. Le pourquoi est aussi une démarche de construction de sens et une forme de liant des acteurs de la grappe qui contribue à créer des valeurs communes ainsi que le caractère propre de cette association facilement identifiable par le marché.

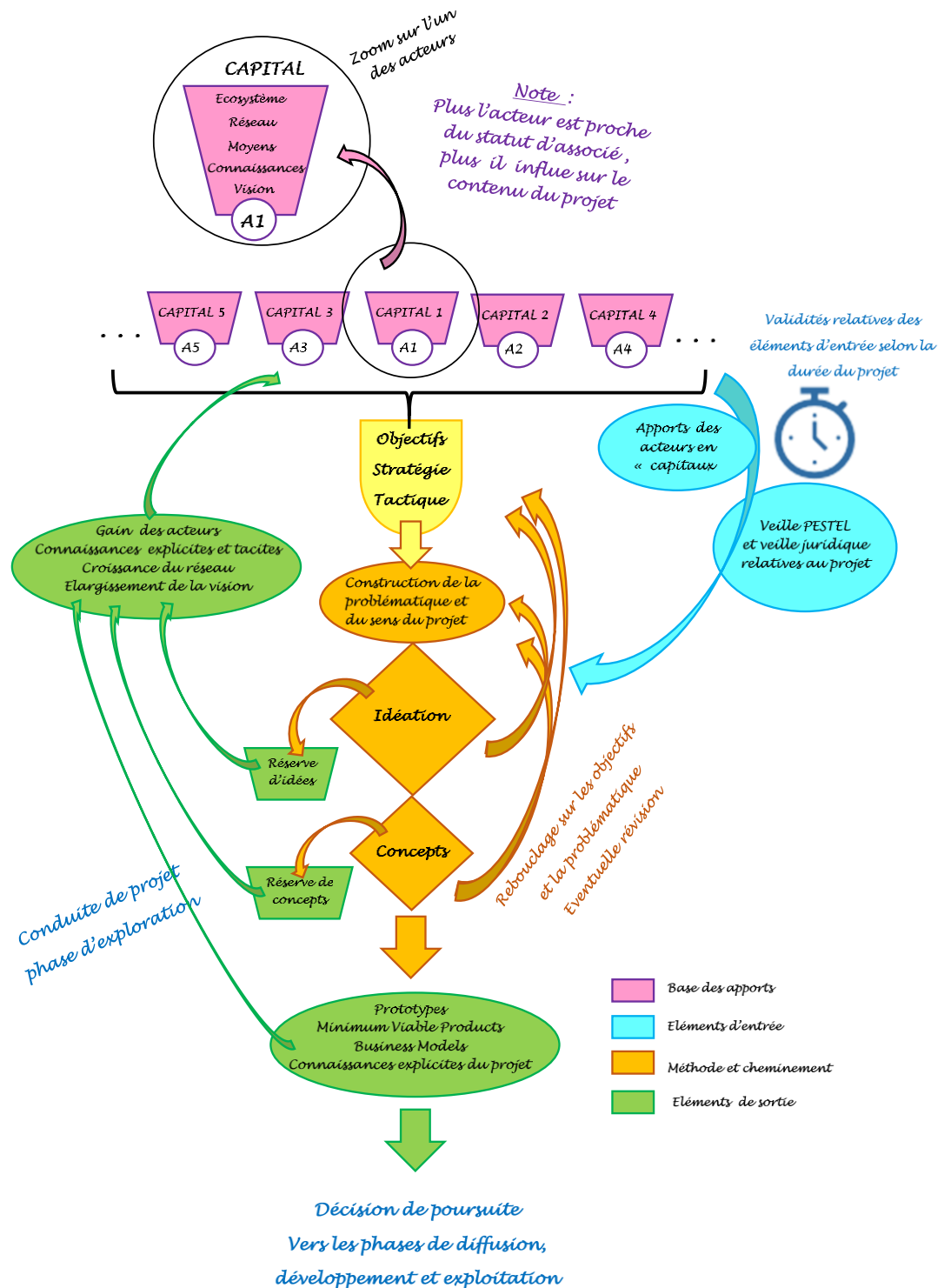
La posture du design peut s'avérer particulièrement intéressante dès lors que l'électronique imprimée est envisagée non pas pour remplacer discrètement l'électronique silicium mais bien pour proposer d'autres applications, d'autres identités pour les objets, résoudre une problématique en tension et déployer la pluralité. Entre d'une part observation et imagination, et d'autre part expérimentation et approche système, comment le designer peut s'insérer dans ce schéma ? La dimension économique de l'objectif induira probablement une recherche rapide de résultats avec un accent mis sur les observations de terrain et la mise à l'épreuve d'idées et de concepts auprès d'utilisateurs tests. Pour autant, une prise en compte d'intentions ainsi que la modélisation de situations plus complexes pourraient se révéler payantes. La propension du design à requestionner l'objectif du projet et des solutions existantes, à réintroduire de l'humain et du sens, forme également un lien entre les différents points de vue et contribue aussi à l'expansion d'une base commune de connaissances et d'expériences. Et pour reprendre les mots de James March<sup>116</sup>, « pour garder les organisations ouvertes à l'exploration, il faut compléter leur fonctionnement ordonné et rationnel par une dose de désordre et/ou de poésie ». Le rôle du designer peut dès lors s'exercer au moment de la constitution de cette grappe, à la fois dans une contribution au sens du projet mais également dans la capacité et la méthodologie d'exploration.

On peut imaginer une ou deux entreprises initiatrices du projet dont les stratégies constituent le point d'entrée et la définition d'une thématique. Les autres acteurs en fonction de leur statut de partenaire ou de fournisseur contribuent au façonnage de l'identité du projet et de son mode de gestion. La base des connaissances peut se constituer à partir de ce noyau et de ses réseaux associés. Elle se renouvelle en particulier grâce aux cycles des veilles relatives à l'écosystème de l'entreprise et du cluster ; Politique, Economie, Social, Technologie, Environnement, Législation. Il convient d'y rajouter une veille juridique relative aux brevets qui permettra de cibler ceux qui devront être contournés et ceux qui pourraient faire l'objet d'un accord de licence, et éventuellement de détecter des applications encore peu sujettes au dépôt de brevet. Le système va également créer des connaissances issues de l'exploration ; une valeur ajoutée de plus dans cette opération. La cohésion dépendra sans doute d'un équilibre entre les connaissances partagées et celles qui sécurisent les savoir-faire de chacune des parties prenantes. Un engagement contractuel pourra toutefois permettre d'ajuster ce curseur.

---

<sup>116</sup> James March (1928-2018), économiste, sociologue et universitaire américain, pionnier de la théorie des organisations il a en particulier travaillé sur les préalables organisationnels en matière de créativité.

La donnée de sortie de cette phase sera un ou plusieurs concepts produits et/ou services matérialisés par des prototypes fonctionnels et des modèles d'affaires associés. La durée du projet est une donnée particulièrement importante, car elle doit être compatible avec un rythme de remise en question de plus en plus soutenu aujourd'hui. C'est un système flexible auquel il est fait référence, tout autant capable d'intégrer un processus de renouvellement convenu que de faire face à des obstacles imprévus. Notons alors ces quelques principes sur le papier afin de constituer l'organisation autour d'un projet de conception innovante, et voyons ce que cela donne sur le terrain.



# CHAPITRE 3



Sources Images : [allocine.fr](http://allocine.fr), [dvdfr.com](http://dvdfr.com), [pinterest.fr](http://pinterest.fr), [afrique.lalibre.be](http://afrique.lalibre.be)

***Expédition vers l'innovation***





Un caravansérai à Trébizonde (Fabius Brest)

Après ces deux premières traversées sur le territoire de l'électronique imprimée, me voici reparti, tel un aventurier, à la recherche d'autres aventuriers, qui comme moi, seraient prêts à explorer l'inconnu. J'espère rencontrer sur ma route des intégrateurs industriels capables de supporter les frais et la logistique de telles expéditions. J'emportais alors avec moi un journal de bord. L'image d'un lieu où s'agite une foule bigarrée et où se croisent marchands et voyageurs s'impose presque à mon esprit.

## *Janvier 2018, amorçage avec le projet EIPIT<sup>117</sup>*

*Je commence par une rencontre à l'antenne de Douai du Centre Technique du Papier (CTP). Jusque-là, j'avais suivi les quelques annonces faites par voie de presse sur les avancées de l'électronique imprimée en Europe, car le domaine de l'électronique imprimée est à l'heure actuelle essentiellement positionné sur des activités de recherche et développement. Seules quelques entreprises ou de jeunes entreprises innovantes issues de l'industrie de l'électronique proposent des concepts assez avancés.*

*ISORG, la « pépite » poitevine spécialiste des photodiodes et capteurs d'images sur supports souples, progresse continuellement et fait souvent parler d'elle<sup>118</sup>. De rares échos avaient souligné le savoir-faire et la capacité industrielle des imprimeurs pour cette nouvelle activité ; les projecteurs étant plutôt braqués sur les avancées scientifiques et les métiers de l'électronique. À travers le projet EIPIT, le CTP propose une nouvelle approche liée au développement d'un écosystème d'acteurs pour la fabrication et la transformation des supports en cellulose.*

*Pour les industriels n'appartenant pas aux métiers de l'électronique, mais qui possèdent les outils aux plus grosses capacités volumiques, cette nouvelle approche présente l'intérêt de mettre à disposition quelques briques fonctionnelles simples et industrialisables. Il est déjà possible d'en tirer de nombreuses combinaisons qui peuvent répondre à des besoins grand public sur leurs marchés. Ils en sont venus à cette orientation au fur et à mesure de la constitution des briques fonctionnelles et des collaborations avec d'autres centres de recherche. Pendant plusieurs dizaines d'années le CTP a*

<sup>117</sup> Electronique Imprimés Pour les Imprimeurs et Transformateurs.

<sup>118</sup> Laurent Rousselle, « Isorg rend le plastique intelligent », L'Usine Nouvelle magazine en ligne du 20 mai 2017.



*suivi une approche en matière de recherche en électronique imprimée avant tout opérationnelle. Une approche qui s'est heurtée à un décalage avec celles des laboratoires de recherche appliquée. Décalage de temps dans les cycles de mise au point des éléments avec une réelle difficulté de synchronisme, et décalage d'échelle dans les quantités d'encre fonctionnelle mise à disposition. Le CTP a identifié un manque de collaboration entre les laboratoires de l'électronique imprimée et l'industrie. Une industrie qui repose sur la nécessité de différencier les approches selon le degré de complexité des solutions, leurs maturités technologiques (indice TRL<sup>119</sup>), et selon les volumes des éléments de base accessibles aux intégrateurs.*

*Suite à ce constat, le CTP a renouvelé sa politique et cherche davantage à « Connecter les Imprimeurs-Transformateurs à leurs clients et prescripteurs en décloisonnant<sup>120</sup> » et leur présenter des prototypes et produits fonctionnels. Bien qu'initié par la technologie il y a là une approche orientée marché qui met déjà en relief la pertinence du partage des idées et du travail collaboratif. C'est un point de contact pour l'accès à des pôles de compétitivité (EURAMATERIALS, MATIKEM, Minalogic, Techtera, Fibres, PICOM), à des agences d'état (DGE, ANR, BPI), à des plateformes de tests, ainsi qu'à d'autres contacts nationaux et internationaux propres au CTP et la possibilité de faire converger et mettre en pratique les avancées faites par des laboratoires de recherche très spécialisés et dispersés. Il y a également l'idée de constituer à l'initiative des entrepreneurs du secteur des grappes régionales de PME plus aptes à apporter des réponses de masse à des problématiques complexes.*

## *Mars 2018 prospection auprès de l'AFELIM*

*Je profite également de quelques contacts noués au sein de l'AFELIM<sup>121</sup> pour mieux appréhender les missions de cette association et voir si je peux également aborder ce sujet sur la conception innovante avec des entreprises investies sur d'autres marchés. Je participe aux deux rencontres organisées par l'association. L'une est orientée marchés et l'autre aux technologies dédiées à une thématique produit. Elles permettent une fois l'an d'avoir un bilan sur les avancés dans ce domaine.*

---

<sup>119</sup> Technical Readiness Level, échelle de mesure à 9 degrés employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie.

<sup>120</sup> Source CTP présentation formation EIPIT.

<sup>121</sup> Association Française de l'Electronique Imprimée. C'est une association professionnelle dont la mission principale est de faire connaître les activités des entreprises impliquées dans l'électronique imprimée. Voir le premier chapitre.

*Après une brillante et dynamique introduction sur les découvertes, les inventions et les innovations assurée par Didier Roux<sup>122</sup> du Collège de France, les orateurs se succèdent pour présenter les différents secteurs concernés par l'électronique imprimée. Les termes: potentiel, projet, perspective d'avenir, veille, financement de l'innovation reviennent et décrivent surtout des actions réduites à la R&D. Seul Jean Yves Gomez, le fondateur et directeur général d'ISORG, vient annoncer le démarrage de la nouvelle usine de production de Limoges, et présenter les dernières affaires conclues aux États-Unis et en Chine. Le lendemain, la session technologique consacrée aux capteurs est l'occasion de montrer les croisements possibles avec d'autres technologies, en particulier pour la réalisation de biocapteurs. Le débat s'ouvre également sur les différentes possibilités d'expérimentation à réaliser pour aider la recherche de fonctionnalités des capteurs. Je sors de ces deux jours avec l'image d'une technologie au début de son histoire industrielle...*

## *Juin-Juillet 2018, formation EIPIT et séances de travail*

*Je saute sur l'occasion pour engager l'entreprise dont je suis salarié dans l'étape initiale de formation du projet EIPIT et ceci d'autant plus facilement que l'action est aidée par un OPCA<sup>123</sup>, l'AGEFOS PME-CGM. Les réunions sur la stratégie et la technique ainsi que les séances de créativité s'enchaînent et cinq PME du secteur de l'imprimerie y participent. Nous sommes tous à moins de deux cent cinquante kilomètres les uns des autres, avons des outils de productions complémentaires, et à une exception près, nous ne partageons pas de concurrences sur nos marchés respectifs.*

*Si tout est mis en place pour que chacun puisse appréhender les potentiels de cette nouvelle technologie, visualiser et comprendre l'efficacité et le bénéfice des efforts mutualisés, le réflexe culturel du repli sur soi est palpable. Nos discussions de groupe, ou en aparté, n'abordent pas l'idée de partenariat mais plutôt d'une mutualisation d'outils de tests et du support de la recherche et développement associé. Au-delà de la volonté de partager, il y a également une réelle difficulté à imaginer des produits et services innovants pour une industrie jusque-là orientée vers la recherche de*

---

<sup>122</sup> Didier Roux, chimiste et physicien français, dont les travaux en physico-chimie fondamentale ont surtout porté sur la matière condensée (matière dont les atomes ou molécules sont suffisamment proches de leurs voisins pour que leurs cortèges électroniques interagissent en permanence).

<sup>123</sup> Organisme Paritaire Collecteur Agréé, dans l'exemple cité l'Agefos PME collecte les fonds de formations des entreprises n'ayant pas d'obligation de verser à un OPCA de branche ou dont les branches professionnelles les ont désignés.

*solutions techniques répondant à des problématiques définies par ses clients et qui assoit son modèle économique sur sa maîtrise du comment. Deux options apparaissent :*

- *rejoindre un pôle de compétitivité ou une grappe sur une thématique produit pour laquelle l'entreprise jouera un rôle essentiellement technique et probablement selon une orientation de développement et d'optimisation d'un concept défini au sein de la grappe.*
- *trouver des partenaires et des fournisseurs tentés par une démarche de cocréation pour faire émerger des concepts innovants porteurs de sens et industrialisables.*

## *Octobre 2018, coup de vent au caravansérail et changement de résidence*

*Mon employeur est racheté par son concurrent direct alors que j'entame ma formation « innovation by design » à l'ENSCI-Les Ateliers avec ce sujet sur l'électronique imprimée comme projet de mémoire. Le nouvel actionnaire n'est pas intéressé par cette démarche, mais je décide de suivre ma piste et je quitte la société pour mieux poursuivre mon aventure. Nicolas et Pimprenelle<sup>124</sup>, deux entreprises avec lesquelles j'avais lié quelques contacts prennent le relais dans cette expérimentation. Ces deux entreprises qui sont pilotes dans mon investigation, sont toutes les deux ouvertes à une démarche orientée innovation qui favoriserait l'exploration de futurs objets et services dans lesquels ils devront investir. Elles sont classées au rang de PME, mais l'une d'entre elles est intégrée à un ensemble d'une vingtaine de sociétés issues du même secteur industriel qui confère à ce regroupement un statut d'ETI. Pimprenelle, la plus petite, compte des ressources limitées et les besoins de ses clients restent flous, néanmoins, quelques contacts sont noués avec des pôles de compétitivité. Nicolas en revanche, outre ses relations avec des pôles de compétitivité, dispose de moyens en interne plus conséquents et une forme d'attente exprimée de la part de ces clients quant à la proposition de solutions innovantes, sans que cela ait pour autant conduit à une expression du besoin. L'expression « faites-moi rêver » pourrait très bien*

---

<sup>124</sup> Noms d'emprunt les entreprises désirant rester anonymes.

*s'employer de façon humoristique dans le cas présent. Les marchés ciblés ne se recoupent que partiellement ce qui donne finalement une différence notable dans la manière d'aborder cette problématique d'organisation de conception.*

## *Mars-Avril 2019, tentative de contact avec les acteurs de l'électronique imprimée déjà en place en France*

*En faisant des recherches sur les membres de l'AFELIM, je note toutefois qu'il y a une poignée d'entreprises déjà actives sur le sujet et j'essaye de rentrer en contact avec elles afin de leur soumettre mon projet de mémoire. La démarche n'est pas vraiment couronnée de succès.*

*Quelques-unes veulent bien me répondre et m'indiquent une stratégie d'OEM<sup>125</sup> basée sur l'ingénierie où la question du comment faire est principale. Par exemple l'entreprise SERIBASE se présente comme un sous-traitant capable d'offrir à ses clients une solution d'un domaine de l'électronique imprimée adaptée aux problèmes posés. Comme SERIBASE fait partie d'une grappe, elle utilise son réseau de centre de recherche, d'universités, de fournisseurs d'encre fonctionnelles et de supports alliés à son savoir-faire de transformateur pour produire un objet sur mesure, à la demande de ses clients. Dans un contexte de conception réglée ma proposition rencontre peu d'échos.*

*La réaction du président directeur général d'ARMOR s'avère plus ouverte. Groupe industriel français spécialisé dans la production et la commercialisation de consommables pour l'impression, cet ETI s'est différenciée dans le domaine de l'énergie renouvelable en développant un film souple photovoltaïque organique imprimé commercialisé sous le nom d'ASCA®. Le président directeur général se montre intéressé sur le principe et me recommande au service Recherche et Développement du Groupe. L'entreprise est clairement dans une démarche industrielle. Elle a démarré une unité de fabrication capable de produire un million de mètres carrés par an et prospecte les marchés sur lesquels exploiter cette capacité. Les premiers résultats sont là avec de gros potentiels de volumes dans le secteur de l'immobilier, du transport, de la ville intelligente, de l'énergie mobile,*

---

<sup>125</sup> Original Equipment Manufacturer, voir chapitre 1.

des capteurs. Un sixième pôle divers est nommé sous le nom d'ASCA® Explorer et laisse le champ libre à toute exploration autour de ce produit. Quelques prototypes originaux sont venus illustrés les possibilités variées de leur produit. On peut noter celui d'une voile de dériveur solaire conçue en collaboration avec l'IUT de Nantes et qui alimente aussi un système de gouverne, ou bien Pian'OPV un mini orgue actionné par les variations de luminosité.

On me propose alors de réfléchir pour le pôle « divers » mais le contact en charge de ce pôle se trouve absorbé par d'autres tâches et je vois s'éloigner les perspectives d'aborder le sujet dans le temps du mémoire. Même les services dédiés à l'exploration ont des activités d'exploitation qui sont prioritaires. En mai 2019, ARMOR et OPVIUS annoncent une intention de rapprochement. Cette dernière est une jeune entreprise allemande spécialisée dans l'intégration de films voltaïques souples dans divers matériaux. Elle a déjà à son actif une centaine de projets dans une quinzaine de pays dans le monde. Ce serait là une alliance très complémentaire, car à l'orientation industrielle d'ARMOR viendrait s'associer une ouverture vers l'architecture et des possibilités multiples de matériaux, de formes et de couleurs dont OPVIUS assure aujourd'hui la maîtrise. Quelque part, ce choix stratégique semble montrer que pour certains industriels il y a une prise de conscience de l'importance du point de vue créatif, d'une activité design, pour développer les potentiels des objets techniques.



OPVIUS OPV Solartree® of German Pavilion EXPO2015



OPVIUS OPV Solartree®



## *Juin 2019, échanges avec l'entreprise Pimprenelle*

*Une première réunion avec le directeur général de l'entreprise nous oriente vers l'identification de contacts potentiels au sein d'un pôle de compétitivité. Ces contacts peuvent constituer soit des clients dont les besoins en produits intégrant de l'électronique imprimée sont directement pris en charge par Pimprenelle, soit des partenaires ayant déjà identifié un produit cible et en recherche de savoir-faire d'impression. À ce stade, une approche créative mêlant technologie, marché et usages est tout à fait envisageable. C'est auprès de la plateforme d'accompagnement du pôle de compétitivité que se continue la prospection. Service gratuit et financé par la BPI ; encore un exemple des aides accordées par l'état français en ce domaine.*

*Je conseille alors de faire une présentation plutôt orientée technique en insistant sur la capacité à imprimer des composants électroniques passifs et éventuellement à les assembler avec des microcircuits intégrés ce qui permet déjà des applications de traçabilité, de personnalisation, d'authentification, d'objets connectés. La plateforme d'accompagnement est structurée pour répondre à des sollicitations y compris lorsque l'organisme est une jeune entreprise innovante. Ici les choses sont moins compliquées car la société fonctionne avec son portfolio depuis des années. Elle souhaite maintenant l'étendre. L'étape consiste alors à convaincre les interlocuteurs de la maîtrise technologique en partenariat avec le centre technique, de sa capacité d'investissement et de son implication dans une démarche d'innovation. Pour Pimprenelle, la flexibilité culturelle de l'imprimerie autorise la revendication d'une posture plus agile et inspirée du lean start up ; à savoir de consacrer du temps à la bonne compréhension des besoins clients et des marchés envisagés afin de définir les produits et services nécessitant le recours à l'impression électronisée au travers d'un processus itératif de tests (tri sur les idées puis tri sur les premiers prototypes issus des idées retenues, etc.). De plus la structure projet envisagée mettrait en œuvre une petite équipe dédiée en fortes interactions, une première approche fonctionnelle sur les produits et services, une collaboration avec les clients ou les partenaires, une feuille de route simplifiée mais avec la redéfinition régulière des priorités. L'accueil réservé à la présentation est plutôt favorable, et le comité propose une mise en relation avec des partenaires quatre mois plus tard à l'occasion d'un salon international de l'innovation pour le marché visé.*

## *Mars-Mai 2019, démarrage du projet avec l'entreprise Nicolas.*

L'entreprise Nicolas a déjà pris contact avec quelques-uns de ses clients et présenté quelques concepts techniques comme solutions à des problématiques bien ciblées. Les marques d'intérêt vis-à-vis des propositions de valeur exposées furent assez réduites, mais en revanche, il y eut des réticences concernant la présence d'éléments dont la recyclabilité restait à démontrer. De fait, le souci environnemental est aujourd'hui très prégnant, en particulier dans le cas de produits dont les durées de vie chez l'utilisateur final sont assez courtes.

Leurs clients les identifient comme fournisseur de référence, spécialiste de leur métier dans le secteur de l'emballage avec un excellent savoir-faire pour adapter techniquement les demandes émanant des services marketing. Jusque-là, les attentes se sont essentiellement exprimées vis-à-vis de la capacité à maîtriser des matières et des processus plus écologiques. Paradoxalement, ces mêmes clients reprochent parfois à cette entreprise un manque d'innovation, alors qu'eux-mêmes ne sont pas attentifs à des propositions qu'elle pourrait faire car appartenant à un domaine technique où ils n'ont pas l'habitude de situer l'entreprise.

À tout bien considérer, les champs d'investigations de l'électronique imprimée vont, dans ce cas de figure, au-delà des utilisateurs finaux. Plus exactement en ce qui concerne le produit et du point de vue du client, il y a une étape de conditionnement et de logistique, une étape de vente, une étape d'usage chez le particulier et enfin une étape de recyclage. Chacune de ces étapes déploient ses propres problématiques. On peut tout à fait choisir de ne répondre qu'à quelques-unes d'entre elles et peut-être même de ne pas se positionner sur une « nouvelle expérience utilisateur », car le marché envisagé présente des cycles de tendances parfois courts qui induisent alors des temps de déploiement et d'amortissement rapides.

Je propose alors au responsable de projet de travailler sur deux axes :

- Le premier consiste à rester sur leurs marchés et d'analyser la situation pour chaque étape afin d'identifier des points de faiblesse, des opportunités d'amélioration, des usages émergents, etc. Analyse de terrain et veille fournissent les éléments d'entrée du cycle d'idéation et permettent également de jauger de la pertinence d'objets intelligents pour les cas étudiés. Il semble important d'ouvrir

*cette phase à un maximum de compétences externes à l'entreprise. Un exercice toutefois difficile à mener pour certaines étapes sans une collaboration avec des clients cibles.*

- *Le deuxième consiste à mobiliser les savoir-faire du groupe et de l'écosystème de l'entreprise pour engager une réflexion sur les produits et services faisant appel à l'électronique imprimée que la grappe serait à même de produire et commercialiser. Une démarche beaucoup plus ouverte et potentiellement plus riche en concepts mais également plus complexe.*

*Quelques jours plus tard, j'ai le président de l'entreprise au téléphone et je lui parle de la différence entre conception réglée et exploration de l'inconnu plus apte à générer des innovations marquées mais surtout à porter une attention particulière aux utilisateurs dans un domaine où l'aspect marketing et la recherche d'expériences novatrices sont primordiales. J'insiste sur la capacité à trouver chez le client les relais aptes à percevoir une proposition de valeur compatible avec le prix de la solution proposée.*

*Une dernière réunion avec le CTP à la Gare du Nord fixe le premier axe comme seul sujet d'étude avec éventuellement le concours d'un ou deux clients. Nous discutons également de la constitution de l'équipe qui aura pour mission de détecter les thématiques et d'explorer les concepts dans le périmètre envisagé. Or, nous nous trouvons dans un cas typique d'absence de cahier des charges, d'une expression de besoins à peine esquissée, de champs d'investigation en partie inconnus, d'une analyse de pertinence d'une nouvelle technologie dans un marché existant ainsi que du sens et des formes que cette technologie pourrait prendre.*

*Le couplage entre l'entreprise et le centre technique présente un bon potentiel en ingénierie mais également des lacunes quant à la conception de produits et services innovants. C'est dans cette direction qu'il nous faudra chercher les éléments manquants de la grappe. L'univers du design n'est pas complètement inconnu pour l'entreprise puisqu'elle a déjà eu l'occasion de travailler avec une agence mais en tant que fournisseur sur une opération de dépannage. Pour autant, elle n'a jamais intégré une démarche design dans des activités de développement. L'écriture d'un brief design nous semble alors le moyen à la fois de percevoir le projet d'un point de vue créatif mais aussi d'attirer un partenaire apte à compléter la structure.*

## *Juin -Juillet 2019, une accroche par le brief design pour l'entreprise Nicolas*

La présentation initiale faite par le CTP mettait bien en relief les aspects techniques du projet ainsi que l'expertise du centre sur toutes les fonctionnalités industrialisables par l'entreprise. L'aspect environnemental était bien abordé et notamment du point de vue toxicologique, mais l'approche scientifique n'avait pas vraiment rencontrée beaucoup d'échos lors de deux présentations tests à des clients. Je suggère de conserver ce document en complément utile pour légitimer la maîtrise technologique et d'axer plutôt le brief design sur une proposition de problématique à partir du questionnement sur le « pourquoi » et le « quoi ».

Il nous faut plusieurs réunions pour structurer ce brief. Les termes de la collaboration, le planning et le budget ne sont pas abordés. Nous considérons qu'ils le seront à l'issue du choix du partenaire. Ce à quoi le projet ne doit pas ressembler, on pourrait penser ici à une fonction gadget, est simplement évoqué oralement. Nous conservons quelques points clés dont les mises en forme varient entre textes synthétiques, schémas, dessins et photographies. En premier une présentation de la société et du groupe, quelques chiffres et une vidéo institutionnelle de deux minutes. Pour les objectifs et le but de la collaboration nous ne posons pas encore la problématique mais précisons les attentes pour tester et mettre en œuvre un processus de conception innovante sur la durée, et bien sûr le marché qui est initialement visé dans cette démarche. Public cible et périmètre sont rassemblés dans une diapositive qui reprend des fonctionnalités déjà plus ou moins présentes mais qui incitent surtout à explorer d'autres champs. A la suite, nous choisissons d'évoquer le défi environnemental et ses composantes écoconception et recyclage et résumons en une phrase :

*« Les produits et services proposés devront présenter un impact environnemental amélioré, ou au moins une proposition de valeur cohérente avec cet impact »*

*Quelques photographies choisies permettent d'illustrer le chapitre inspirations sur la base de solutions existantes avec ou sans électronique, provenant d'autres marchés comme celui de l'industrie textile, et des capacités graphiques de l'électronique imprimée.*



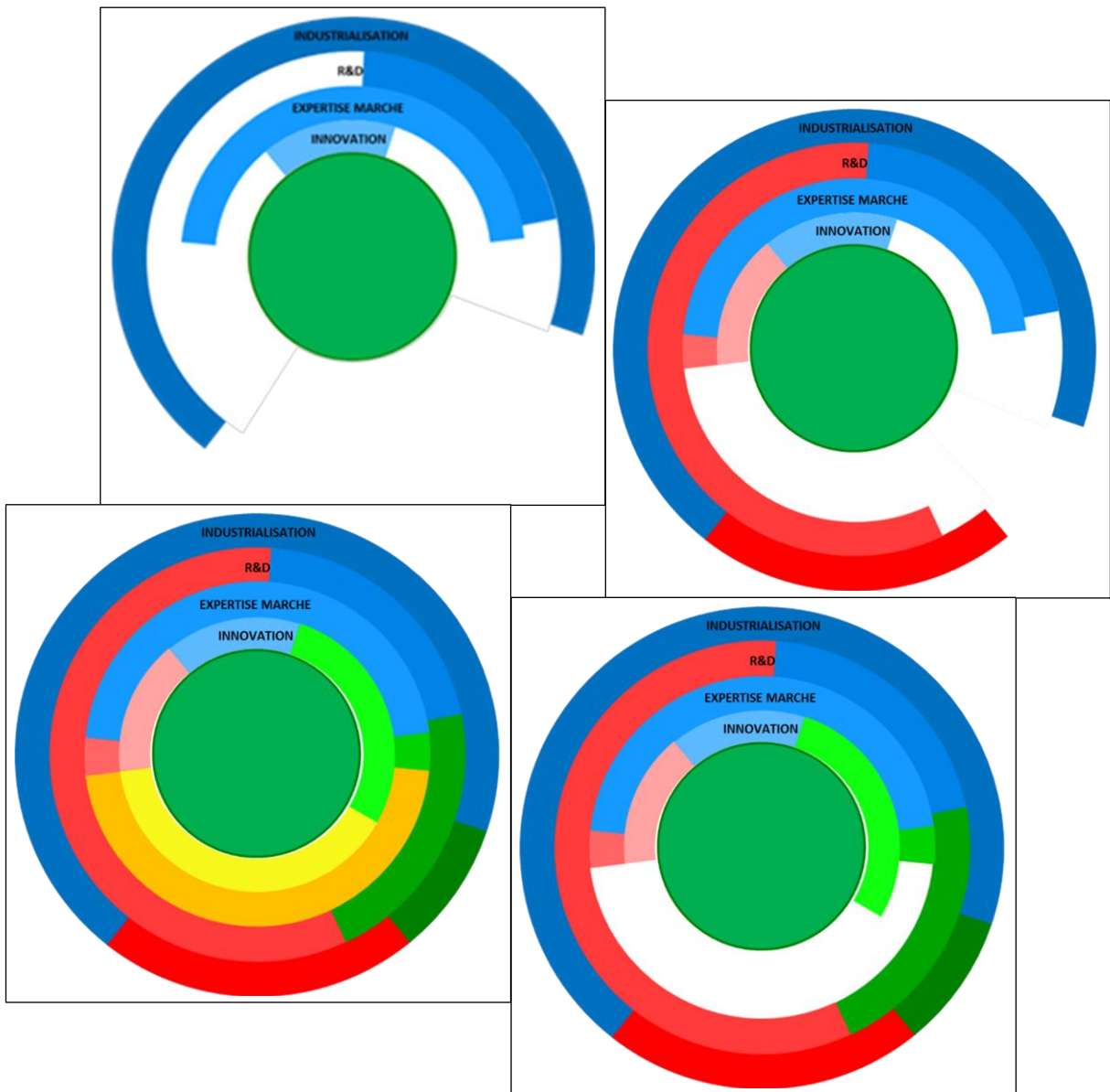
Tatouage DuoSkin (Microsoft Research, MIT) image [bulletindescommunes.net](http://bulletindescommunes.net)

(NO)WHERE (NOW)HERE, Ying Gao robes équipées d'eye tracking qui change d'apparence selon le regard des spectateurs

*Forces et faiblesses sont déclinées selon quatre thématiques, expertise innovation, expertise marché, recherche et développement, industrialisation. En schéma, un puzzle fait apparaître les compétences couvertes ou non au fur et à mesure de la croissance de la grappe et précise ainsi en couleur jaune ce qui est attendu de la part de l'agence.*



## *Schéma de couverture des quatre compétences*



*Le nombre et les caractéristiques des livrables ainsi que les critères d'évaluation du projet sont réduits à un macro-processus avec des étapes classiques de *proof of insight*, *proof of concept*, *business model*, *minimum viable product*, pour un temps estimé à six mois. Enfin, pour la dernière diapositive la problématique est posée mais laisse également apparaître une ouverture possible de l'étude sur un plan plus stratégique dans la mesure où elle requestionne l'avenir de ce qui représente aujourd'hui l'activité de l'entreprise. La problématique devra probablement faire l'objet de précisions voire d'un fractionnement selon les quatre étapes du cycle de vie du produit.*

## *Juillet 2019, réaction des agences de design*

*Le brief design est bien accueilli par les différentes agences sollicitées. En une heure de temps, la présentation suivie des échanges apportent suffisamment d'éléments pour établir une proposition détaillée. La problématique ainsi formulée n'est pas remise en question même si tout le monde est conscient qu'elle devra être affinée. En revanche, les agences sont assez unanimes dans leurs interrogations quant au budget, à la maîtrise technique de l'électronique imprimée et à l'existence de freins chez le commanditaire. Points sur lesquels il est assez facile de les rassurer. Les réponses sont en définitive très similaires et ne diffèrent que par les moyens mis en œuvre ce qui donne le choix selon l'ambition que l'on souhaite donner au projet, entre renvoyer simplement l'image d'une entreprise innovante aux clients et revoir son business model à moyen terme. De façon schématique on peut décrire la démarche de cocréation ainsi :*

- *Une phase initiale pour cadrer la problématique, comprendre l'état de l'art et les possibilités de l'électronique imprimée, préciser la capacité industrielle de la grappe, exploiter une veille PESTEL<sup>126</sup> relative au sujet, trouver des inspirations dans des domaines connexes, partir en immersion sur le ou les étapes d'usage retenues ; ceci afin de définir une problématique précise et de bien maîtriser son contexte. Elle conditionnera toute la suite de la démarche car les étapes suivantes s'y référeront systématiquement.*
- *Préparation d'outils ad hoc et choix des participants. Un atelier d'idéation visant à développer quatre à cinq pistes avec par exemple pour chacune d'entre elles un storyboard, une proposition de valeur, et quelques éléments financiers. Trois idées de concepts avec leurs matrices d'affaires devraient pouvoir être extraites.*
- *Scénarisation et avants projets pour cerner le concept le plus pertinent pour chacune des idées et préparer le protocole des tests.*
- *Une préparation technique et logistique des preuves de concept puis une série de tests sur le terrain avec des corrections itératives pour*

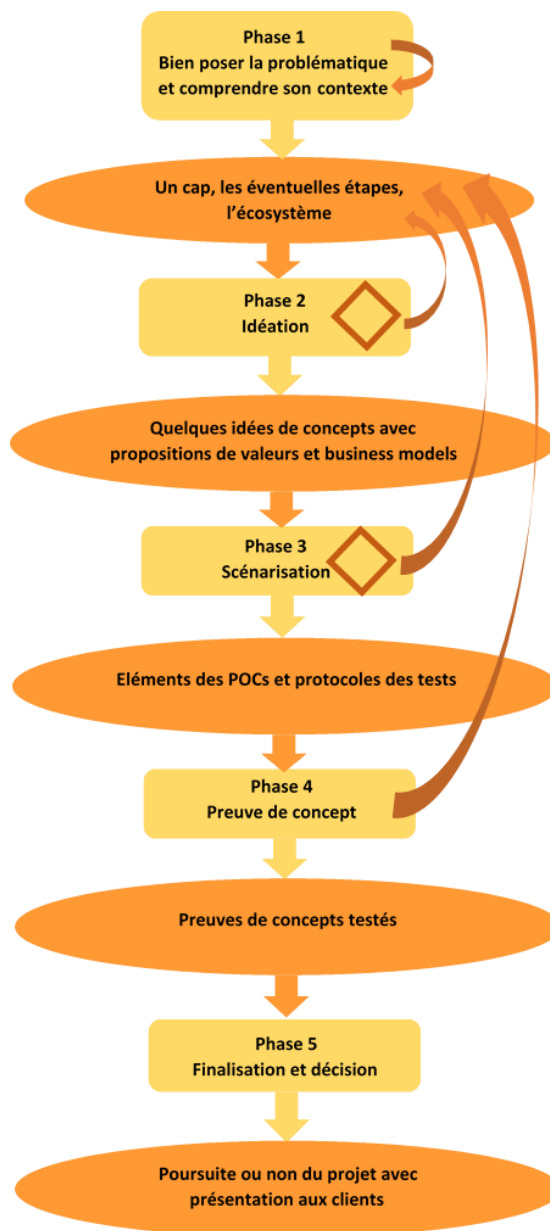
---

<sup>126</sup> PESTEL, veilles Politique, Economique, Sociétale, Technologique, Environnementale, Légale.

améliorer les résultats. Analyse et synthèse pour chacun des trois concepts.

- Enfin une phase finale pour affiner l'ensemble des éléments: technique et industrialisation, ergonomie, esthétisme, plans, synthèse de la démarche, principaux enseignements, modèles d'affaires affinés, etc. Préparation de la feuille de route pour présentation aux clients test, et décision de direction quant au passage à la phase suivante de communication.

### *Synthèse de la démarche d'exploration proposée par les agences de design*



## *Août-Septembre 2019, analyse technologique et environnementale sur l'emballage*

*Je laisse aux protagonistes un temps de réflexion. Un temps quelques peu rallongé par la trêve estivale, ce qui me permet de me pencher sur les éléments de veille en préparation à la phase 1. Je me focalise plus précisément sur la veille technologique et environnementale, les autres points étant à peu près maîtrisés par les acteurs ou futurs acteurs de cette grappe.*

*Les perspectives à 10 ans pour l'emballage intelligent semblent assez encourageantes avec une estimation pour 2029 d'une valeur des ventes hors infrastructures, logiciels et services de 1,8 milliards de dollars pour 39 milliards d'emballages. Sur cette période, le marché devrait rester essentiellement concentré sur les zones Amérique du nord, Europe de l'Ouest, et Asie Pacifique. On entend ici par emballage intelligent aussi bien les emballages contenant des éléments capables d'interagir simplement avec l'environnement comme des absorbeurs chimiques d'oxygène que des emballages contenant des ensembles électroniques complexes<sup>127</sup>.*

### **Synthèse des contraintes environnementales pour l'emballage**

La contrainte environnementale va effectivement jouer un rôle prépondérant pour tous ces produits jetables. D'une tendance à l'épuisement des ressources naturelles et à l'accumulation des déchets, il nous est maintenant nécessaire de passer à l'utilisation de ressources renouvelables et à l'élimination des déchets. Pour l'instant, la réglementation en Europe opère bien dans ce sens.

Un soin attentif est donc apporté à l'identification et à la comptabilisation des matières premières utilisées, de l'énergie nécessaire et des rejets générés lors de la fabrication des emballages. L'ensemble de ces contributions doivent être mises en regard des fonctionnalités des produits et du prix. Parmi les fonctionnalités attendues par les clients il y a au minimum : la protection, la conservation, la logistique, la traçabilité, l'information sans altération du contenu ; facteur particulièrement sensible pour l'agroalimentaire. Les grandes tendances sont par ordre de priorité de : réduire les poids des emballages, les réutiliser lorsque c'est possible et sinon les recycler en intégralité ou faire de la valorisation énergétique.

Les supports en papier et carton bénéficient d'une image améliorée par rapport aux métaux, au verre et surtout aux matières plastiques. Tous nécessitent de grandes consommations d'énergie et sont souvent producteurs de chaleurs fatales<sup>128</sup>. Les trois premiers matériaux peuvent avancer un ou plusieurs arguments vis-à-vis de sources de matières abondantes ou renouvelables, et leurs fabrications font état

---

<sup>127</sup> Source IDTechEx « Smart Packaging 2019-2029, the impending surge in e-packaging and intelligent packaging », (<https://www.idtechex.com/>).

<sup>128</sup> Chaleur fatale, voir glossaire technique en annexe.

de plans de maîtrise énergétique, de circuits de collecte de tri et de recyclage efficaces, voire de capacité de renouvellement infini comme c'est le cas pour l'aluminium. Quant aux matières plastiques, elles accusent encore un retard important sur tous les points, et leurs déchets constituent une menace à court terme pour la planète. Le « continent de plastique » ou plutôt les multiples zones d'accumulation de débris de plastiques dans les océans en sont un triste symbole et peut-être le plus visible par rapport à tous ceux enfuis sous terre. Leurs légèretés et leurs propriétés barrières pour contenir et préserver les denrées alimentaires les rendent pour l'instant difficilement contournables et les actions se tournent plutôt vers la réduction des quantités présentes dans chaque emballage et leurs associations avec des produits biodégradables, ainsi qu'une amélioration des circuits de collecte, de tri et de recyclage. Le troisième axe que constitue la production de matières plastiques biosourcés et compostables tels l'acide polylactique (PLA)<sup>129</sup> est encore à un niveau très faible.

La présence d'éléments jugés comme perturbateurs pour le recyclage devront présenter une part extrêmement faible du volume de l'emballage et justifier d'une réelle valeur ajoutée, telle est la forte attente vis-à-vis des emballages intelligents. On peut penser par exemple à l'enjeu du gaspillage alimentaire où moins de la moitié des denrées produites sont réellement consommées et pour lequel une meilleure protection intégrée à l'emballage, une meilleure traçabilité et une meilleure information des consommateurs sont autant de moyens pour améliorer ce rendement. Sur la thématique de la collecte et du tri, il y a également un champ important d'investigation et d'innovation où l'emballage intelligent pourrait aussi jouer un rôle logistique de bout en bout, depuis le conditionnement jusqu'à la récupération de l'intégralité des éléments non consommés. Les circuits de tri devront toutefois assurer la séparation des différents éléments constitutifs des déchets, ainsi que leurs acheminements vers les centres de réemploi ou de valorisation, ce qui peut limiter l'usage de tels emballages à certaines zones géographiques du globe. Si électronique il devait y avoir dans les emballages, alors seules des versions imprimées et dépourvues des éléments les plus controversés de l'électronique silicium semblent avoir une chance d'être massivement déployées, et probablement sous condition d'apporter la preuve d'une parfaite maîtrise de leurs recyclages.

La question environnementale devrait donc être systématiquement soulevée à chaque démarrage de processus, ce qui délimiterait les moyens techniques à considérer lors du processus d'exploration. La solution déployée par l'électronique imprimée devra être néanmoins particulièrement pertinente, car dès lors qu'une solution technique déjà présente dans l'emballage pourra être mise en concurrence en offrant des fonctionnalités proches, celle-ci avancera un argument environnemental efficace. On peut citer par exemple le cas des encres thermochromes, qui changent de couleurs selon la température et qui peuvent remplacer une fonctionnalité de thermomètre électronique, ou les multiples applications de reconnaissances optiques qui peuvent aussi permettre des animations en réalité augmentée et des connections au réseau internet via la téléphonie mobile.

---

<sup>129</sup> PLA (PolyLactic Acid ou acide polylactique), voir glossaire technique en annexe.



## Méthode de comparaison pour la veille technologique

Pour aborder la partie technique, je procède à une analyse fonctionnelle en croisant les thématiques emballages et objets connectés. Les fonctionnalités ou amélioration de fonctionnalités directement issues des objets connectés et mobilisables pour les emballages sont dépendantes de la téléphonie mobile et du réseau internet, et souvent de façon combinée lorsqu'elles nécessitent un traitement en ligne.

On peut distinguer deux niveaux technologiques :

- Un niveau bas dit de reconnaissance optique (codes 2D, logos, etc.) où les capacités graphiques sont mises en avant, relativement bon marché et avec un impact environnemental quasiment neutre, facilement intégrables par les imprimeurs mais avec des valeurs ajoutées qui peuvent s'avérer décevantes car plus réduites en capacités et fonctionnalités.
- Un niveau haut dit de connexion numérique via l'électronique imprimée, plus coûteux et avec un impact environnemental s'il n'est avéré au moins considéré par le public comme négatif, intégrable sous certaines conditions par les imprimeurs mais avec de bonnes valeurs ajoutées, très ouvertes en termes de capacités et de fonctionnalités.

Cette thématique met la priorité sur la qualité des éléments électroniques de captation et de traitement, de la performance du réseau, de l'efficacité de traitement des logiciels et de l'importance de la standardisation des protocoles de communication. Il y a également un travail graphique important sur les interfaces (UI design) pour concevoir des micro-sites dédiés aux opérations marketing, afin d'éviter les taux de rebond élevés constatés lorsque le consommateur est envoyé sur le site institutionnel de la marque.

Ainsi, les quatre fonctionnalités de base présentes dans tous les emballages peuvent faire l'objet des technologies les plus simples pour couvrir les besoins minima et recourir à celles requérant l'électronique imprimée pour développer leurs potentiels :

**Protéger**

La protection avec des propriétés mécaniques essentiellement dues aux matériaux constitutifs de l'emballage et pour lesquelles on peut également imaginer des variations adaptatives selon des grandeurs physiques ou chimiques, exemple température ou humidité.

## Conserver

Un rôle de conservation assuré par les propriétés mécaniques de l'emballage, mais également d'isolation vis-à-vis de l'environnement extérieur ou d'interaction chimique avec le contenu. Là aussi on peut imaginer une action dynamique et plus simplement passive.

## Transporter, stocker, identifier

La logistique et la vente, où les différents emballages primaires<sup>130</sup> secondaires<sup>131</sup> et tertiaires<sup>132</sup> doivent constituer des ensembles manipulables et stockables mais également identifiables, traçables et comptabilisés facilement. Les rapides développements de la *supply chain* trouvent ici un vaste terrain de mise en application de solutions connectées et de recherche de valeur ajoutée. La nature des différents emballages évolue aussi en fonction des lieux et modes de vie des consommateurs ce qui suppose une analyse qui s'étend jusqu'aux usages des contenants primaires.

## Attirer, informer

Information et graphisme qui regroupent à la fois les mentions légales mais également l'identité de la marque, et qui sont le vecteur des premières interactions entre le produit et le consommateur final. La technologie a largement investi ce domaine au travers de multiples solutions de codes 2D<sup>133</sup>, de reconnaissances optiques, de radio fréquence NFC qui viennent en complément de ce qui est identifiable à l'œil nu et délivrent une quantité importante d'informations et de conseils d'utilisation mais également un historique du produit (traçabilité, parcours, conservation, etc.). La tendance aujourd'hui est plutôt à la sobriété et à l'essentiel dans le contenu des informations, mais elle n'est pas incompatible avec les demandes de « premiumization<sup>134</sup> » pour certaines niches où l'ennoblissement et l'animation sans la surcharge portent l'aspect prestigieux du produit.

---

<sup>130</sup> Emballage primaire, c'est le conteneur du produit fini (bouteille de vin, paquet de chips, tube de dentifrice, etc.)

<sup>131</sup> Emballage secondaire, c'est le niveau de regroupement (caisses en carton et boîtes en carton, film thermorétracté, etc.)

<sup>132</sup> Emballage tertiaire, c'est l'emballage de transport (palettes, films, intercalaires, cornières, etc.)

<sup>133</sup> Code 2D, motifs et pictogrammes normés et utilisés pour stocker de l'information selon une position nécessitant deux coordonnées (code QR, Datamatrix, Flashcode, Aztec Code, etc.).

<sup>134</sup> Premiumization, Ou sa version francisé premiumisation, est une démarche marketing qui consiste à faire monter en gamme un produit existant, à le proposer sous une version « luxe », une série limitée, etc.

**À cette première série de fonctionnalités on rajoute un deuxième ensemble, déjà actif avant l'avènement des objets connectés et dont l'action va au-delà du minimum requis pour l'emballage.**

### Adapter au commerce en ligne

À l'interface avec la logistique et la vente, il y a un phénomène qui s'est étendu avec le développement du e-commerce. Sa croissance est constante et compte aujourd'hui pour 14% des achats mondiaux<sup>135</sup>. D'une mise en situation en magasins et un pouvoir d'attraction visuel confié aux emballages primaires et secondaires, le consommateur final passe à une expérience client le plus souvent conditionnée par l'emballage tertiaire. Le produit se trouve à la fois moins valorisé par cette catégorie d'emballage telle qu'elle est conçue aujourd'hui et le consommateur dépositaire d'une quantité de déchets plus importante. Dans une étude, François Fulconis et Bernd Philipp<sup>136</sup> précisent les attendus :

« De façon générale, les principaux résultats obtenus font ressortir que les exigences du consommateur envers l'emballage d'expédition sont très élevées : cet emballage devrait non seulement adopter les fonctions principales remplies par les emballages primaires et secondaires, mais il devrait en plus, tant d'un point de vue logistique que d'un point de vue marketing, intégrer les particularités relatives au nouveau mode de livraison en e-commerce. Plus précisément, concernant les quatre questions de recherche subsidiaires, les consommateurs interrogés considèrent les fonctions logistiques plus importantes que les fonctions marketing. Les particularités de l'e-commerce se reflètent dans l'importance élevée perçue pour les sous-fonctions logistiques relatives au temps de livraison ainsi qu'à l'infrastructure de livraison et de reprise. Quant aux sous-fonctions liées au marketing, l'avis des consommateurs est mitigé : l'émerveillement (effet « Waouh ! ») est considéré comme primordial à leurs yeux, tandis que le score relatif à l'interactivité reste faible. Selon la perception des consommateurs, l'emballage d'expédition utilisé pour l'e-commerce devrait adopter les fonctions auparavant assurées par les emballages primaires et secondaires. Concernant le choix entre **adaptation** (emballage d'expédition sur mesure) et **adaptabilité** (emballage d'expédition standard) auquel sont confrontés les professionnels de la chaîne logistique, les consommateurs ont une préférence pour l'adaptation. Enfin, les consommateurs perçoivent comme très importante la compatibilité de l'emballage d'expédition avec toutes les ressources logistiques avec lesquelles il s'interface ».

Ainsi à lui seul, le commerce en ligne génère un champ d'exploration.

<sup>135</sup> Source <https://www.mintel.com/>

<sup>136</sup>FULCONIS François et PHILIPP Bernd (2018), « *Le packaging dans le commerce électronique : une expérience consommateur à enrichir* », CNRIUT'2018 - Congrès National de la Recherche des IUT, IUT d'Aix-Marseille, Université d'Aix-Marseille (AMU), Aix-en-Provence, 07-08 juin, pp. 54-56. [HAL Id : hal-01854062].

## Personnaliser

La personnalisation implique non seulement les opérations événementielles ou sectorielles mais également l'adaptation du visuel de l'emballage à chaque utilisateur. Ainsi selon Louis Comolet<sup>137</sup>:

« D'une part, la généralisation de l'impression numérique permet d'abaisser les coûts de fabrication et de produire de petites séries en minimisant les stocks. D'autre part, l'impression 3D, déjà utilisée pour le prototypage, permettra, à terme, de produire des packs personnalisés... Un même cognac, par exemple, ne sera pas vendu dans le même écrin en Europe, où l'on cherchera à valoriser l'artisanat et le terroir, et en Asie, particulièrement en Chine, où la demande va vers le bling-bling, à grand renfort de rouge et de doré »

Les objets connectés peuvent accroître considérablement le contenu et la pertinence des personnalisations. Que ce soit par l'enrichissement dans la durée des données collectées, que dans le bénéfice retiré de la qualité de traitement de ces données et de celle des animations qui en résultent.

## Authentifier

L'authentification qui concerne la lutte vis-à-vis de la contrefaçon et du marché gris<sup>138</sup> aussi bien du côté industriel que du côté des consommateurs. Visant à certifier la provenance du contenu, elle est souvent liée à l'emballage primaire et associée à un dispositif d'inviolabilité (indication d'une quelconque manipulation préalable du dispositif). Sa présence sur l'emballage secondaire est pertinente lorsque le contrôle dans le circuit de distribution est actif ou présente un intérêt particulier. Dans ce domaine, de nombreuses solutions existent depuis des décennies avec des niveaux technologiques et des prix très variés dont le choix dépend des enjeux ainsi que des acteurs et outils de lecture mobilisés.

***Enfin nous avons les nouvelles fonctionnalités liées aux objets connectés.***

## Tracer

Il y a amélioration et potentiellement automatisation des fonctionnalités logistiques d'identification de traçabilité et de comptabilisation ce qui en fait un outil efficace dans la lutte anti contrefaçon et le dépistage de marché gris.

---

<sup>137</sup> Louis Comolet, directeur général de l'agence de design CLTG.

<sup>138</sup> Marché gris, il s'agit de produits authentiques mais dont les circuits de commercialisation ne sont plus maîtrisés par la marque.

### **Mesurer, enregistrer, calculer**

Pour toute nature de capteurs avec une interface vers un microcontrôleur intégré dans une architecture d'électronique imprimée hybride.

### **Lutter contre le vol**

Dispositifs antivols déployés grâce à la technologie de l'électronique imprimée et sur les lieux de vente.

### **Communiquer**

C'est un peu le complémentaire de l'information avec une vocation plus marketing et le désir de maintenir le contact entre la marque et le consommateur. On y trouve par exemple : le lien vers le site web de la marque, les offres promotionnelles, les accès aux réseaux sociaux, la géolocalisation du point de vente le plus proche, la gestion de cartes de fidélité.

### **Animer**

Animations visuelles au travers de la réalité augmentée et des jeux associés au produit.

### **Interagir**

Connectivité avec d'autres objets qu'ils soient issus de la marque ou non.

Le concept d'emballage intelligent induit une amélioration sur l'ensemble des fonctionnalités déjà existantes. Par ailleurs, il confie à l'utilisateur une plus grande capacité à interagir avec le produit et à s'informer sur ses conditions de production, de commercialisation et de recyclage et peut dès lors jouer un rôle social non négligeable dans une démarche de meilleure consommation. Il ouvre également sur un nouveau champ d'exploration autour de l'expérience packaging qui démarre au moment de l'achat et qui se prolonge jusqu'à la consommation du produit. Il peut s'agir d'interactions visuelles, de fragrances, de sons, de touches tactiles perceptibles lors de la manipulation de l'emballage ou de scénarii d'usage liés aux possibilités autres offertes par l'emballage et pour lesquels le design d'expérience utilisateur peut parfaitement s'appliquer.

Des attributs spécifiques à l'électronique imprimée et qui seraient pertinents, nous retenons le prix réduit par rapport à l'électronique silicium, la légèreté, la finesse, la souplesse et les propriétés de déformation, le croisement avec les nanotechnologies et les biotechnologies, le potentiel graphique. La capacité à traiter de grandes surfaces ne semble pas vraiment intéressante dans le cas présent. En l'état,



ces attributs ne dessinent pas encore de nouvelles fonctionnalités mais sont de nature à renforcer celles précitées ainsi qu'à répondre à certaines contraintes imposées aux emballages.

On définit un deuxième niveau d'évaluation où chaque fonctionnalité ou ensemble de fonctionnalités assurées par un seul dispositif est évalué sur une contrainte donnée. Cette évaluation pouvant se faire de manière quantitative ou qualitative et relativement à un emballage référent n'offrant que les fonctionnalités de base. Les solutions alternatives à l'électronique imprimée sont évaluées sur le même principe ce qui autorise la comparaison. Le choix des contraintes peut ainsi être le prix, l'impact environnemental, l'esthétisme, la technicité d'usage pour le consommateur.

**Voyons alors sur l'exemple de la capsule Cork Tag ce que cela peut donner.**



Source Selinko



Source Selinko



Source UFC Que Choisir

Spécialisée dans la lutte contre la contrefaçon, la *start up* belge Selinko a développé avec le japonais Toppan Printing la capsule de vin Cork Tag avec NFC, qui garantit qu'il n'y a eu ni ouverture, ni perçage du bouchon, par exemple à l'aide d'une seringue servant à aspirer le vin d'origine. La puce NFC permet aussi aux vignerons de communiquer avec leurs clients.

Pour les fonctionnalités supplémentaires par rapport à une capsule classique il y a :

- Détection d'une falsification du contenu et authentification ou non du produit par le consommateur.
- Dispositif de *track and trace*<sup>139</sup> pour le produit.
- Accès à un ensemble d'informations sur le produit pour le consommateur et d'interactivités déployables à la demande pour la marque.

La technologie présente est de nature à induire un différentiel de prix significatif que l'on pourra indiquer en valeur absolue ou relative. À l'ouverture de la bouteille la partie technique de la capsule a de grande chance de finir avec les déchets ménagers ou les déchets plastiques ce qui augmente encore plus l'impact environnemental déjà affecté par la contribution de leurs fabrications et constitue le bémol de cette proposition. Une amélioration consisterait peut-être à rendre cette partie indissociable de la

<sup>139</sup> Track and trace, système qui permet d'identifier un objet, de l'authentifier et d'enregistrer sa géolocalisation au cours de son existence (stockage, transport, vente, utilisation).

bouteille et ainsi de reboucler avec le circuit de recyclage du verre. La solution est invisible ce qui n'engage pas une problématique d'esthétisme. La lecture automatique NFC le plus souvent intégrée dans la plupart des téléphones mobiles donne une interaction très fluide pour l'utilisateur et une technicité d'usage facile à maîtriser.

### Synthèse de l'analyse fonctionnelle de la capsule Cork Tag.

FONCTIONNALITES		Capsule de bouteille de vin standard	Capsule Cork Tag
Action	Détail		
Informer	Attester que les droits sur l'alcool ont été acquittés (CRD)	OUI	OUI
	Indiquer le type d'alcool (couleur de la capsule)	OUI	OUI
	Indiquer la contenance de la bouteille, le département du siège de l'embouteilleur, le statut de l'embouteilleur, le numéro d'agrément de l'embouteilleur (mentions sur la capsule)	OUI	OUI
	Accès à toute une série d'informations ne pouvant être visibles sur la bouteille		OUI
Authentifier	Confirmer de façon sûre les indications portées sur l'étiquette de la bouteille		OUI
	Confirmer que la capsule n'a pas été ouverte puis refermée		OUI
	Confirmer que le bouchon n'a pas été percé pour substituer le vin		OUI
Tracer	Suivre de manière statistique les flux du produit et certains types d'événements (contrefaçon et marché gris)		OUI
Communiquer	Créer un lien vers un site dédié aux échanges avec les consommateurs, les réseaux sociaux, etc.		OUI
Propriétés spécifiques de l'électronique imprimée mises en œuvre dans cette application			Electronique à faible coût Légèreté Finesse Souplesse
<b>CONTRAINTES</b>			
Prix		Prix de référence	DEGRADATION Prix de référence + X%
Impact environnemental		Impact référent	DEGRADATION Impact lié à la fabrication du dispositif électronique Risque de diffusion de puce silicium dans la nature
Esthétisme		Aspect référent	Aspect référent
Technicité d'usage pour le consommateur		Usage référent	IDEM/LEGERE AMELIORATION Technicité d'usage simple automatique et maîtrisée par la majorité des consommateurs. Capacité à leur faciliter la compréhension des différentes mentions légales.

Cette grille de lecture permet ainsi de caractériser les solutions existantes mais également de simplifier leurs comparaisons avec les concepts issus de la phase d'exploration. Il faut y inclure les éléments de fonctionnalités et de contraintes issus des autres domaines de la veille. Dans l'exemple précédent, la veille réglementaire aurait mis en évidence le RGPD<sup>140</sup> et l'acceptation requise du consommateur d'être géolocalisé au moment de l'activation de la fonctionnalité *track and trace*. Cet outil, en support à une démarche créative et en construction de sens, se veut évolutif car il peut intégrer tout élément nouveau de fonctionnalité, attribut ou contrainte. Le cheminement et les expériences sur le terrain les mettront en évidence et ainsi contribueront à obtenir une vision assez large et synthétique ; le témoignage d'une époque.

## *Octobre 2019, bilan.*

*A peu près dix huit mois que j'ai commencé cette quête. L'entreprise Nicolas, séduite par une démarche de cocréation avec une agence de design, choisit finalement celle qui lui propose une association et donc le partage des frais et du commandement de l'expédition. En utilisant l'outil précédemment décrit, je procède alors pour son compte à une analyse des récents développements et prototypes présentés pour le type d'emballages pour lesquels cette entreprise souhaite engager cette démarche. Le temps passé avec eux a été l'occasion d'expliquer une méthode d'exploration inspirée du design et d'accompagner le chef de projet dans cette découverte. J'obtiens un retour positif de ce qui a pu ressembler à certains moments à une forme d'initiation de l'innovation par le design. L'entreprise et l'agence se donnent encore du temps pour bien poser les problématiques et adapter les méthodes d'investigation. Je les quitte à regret car j'aurais bien voulu expérimenter avec eux cette phase d'exploration, mais le temps m'est compté et je dois retrouver une autre activité.*

*En repensant aux différentes entreprises rencontrées et aux directions qu'elles ont suivies, j'imagine maintenant deux tendances caractéristiques pour ces ETI et PME:*

- *L'une reste centrée sur le cœur de métier de l'entreprise et ses savoir-faire. La démarche consistera surtout à identifier en amont les tendances dans lesquelles elles pourront investir sur la base de leurs actifs, et de proposer dès l'émergence de ces besoins une capacité à traiter les problématiques techniques pointues et à fournir les sous-ensembles ou les produits. Les structures avec lesquelles former ces liens pourront peut-être montrer une forme de rigidité due à la poursuite*

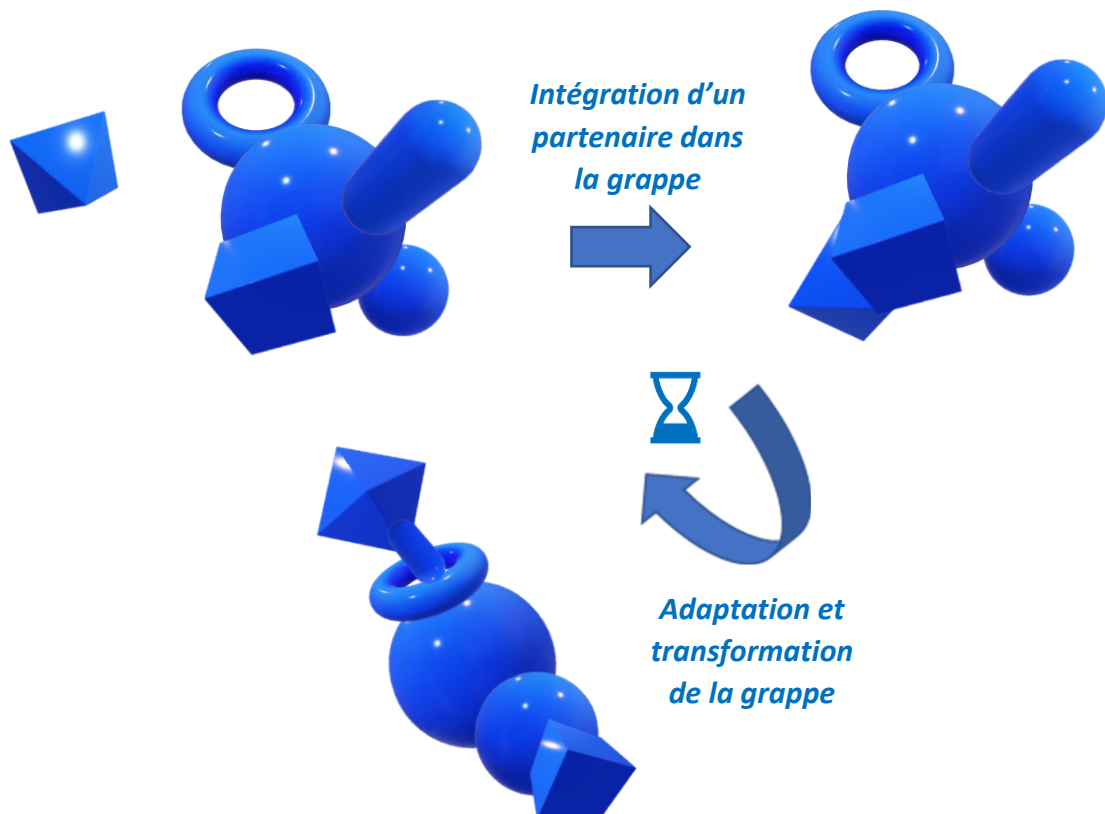
---

<sup>140</sup> RGPD (Régime Général sur la Protection des données), règlement de l'union européenne adopté le 14 avril 2016 et appliqué depuis le 25 mai 2018 qui vise à encadrer l'enregistrement et le traitement des données personnelles dans le souci de protéger les libertés individuelles et la confidentialité au sein de l'UE.

de leurs propres objectifs, et la dépendance à la bonne santé financière des principaux intégrateurs sera forte. Une des tactiques consistera bien sûr à diversifier les partenariats avec des structures économiques requérant ce savoir-faire spécifique.



- La deuxième se veut résolument créative. On pourrait voir cela comme un ensemble polymorphe capable de s'adapter à l'évolution des modes de consommation et des événements. Un ensemble également capable de générer des propositions singulières, de se différencier, et de perdurer. La vision est partagée et la co-construction requise. Chacune des entreprises doit être ouverte à une potentielle modification de son organisation interne tant par le projet que par les interactions avec les partenaires.



*Resté au caravansérail, je ne renonce pas à rejoindre une autre équipe tentée par l'aventure dans l'électronique imprimée. Pour l'heure, je suis du regard celles qui quittent le lieu pour tenter l'aventure. Ainsi, l'entreprise Armor, fortement constituée et animée d'un esprit conquérant, est bien décidée à devenir le leader européen du photovoltaïque organique au travers de sa tactique de croissance externe vis-à-vis d'un intégrateur innovant. L'entreprise Pimprenelle, beaucoup plus modeste, se dirige quant à elle vers un groupe déjà constitué qui chemine vers le relais suivant. Les courriers qui sillonnent la piste me donneront de leurs nouvelles...*



# CONCLUSION



*Images extraites de Aguirre, der Zorn Gottes (Aguirre, la colère de Dieu) de Werner Herzog, 1972. Scène de début, descente des Andes par les troupes de Gonzalo Pizarro.*

A côté des très grosses compagnies qui concentrent aujourd'hui la majeure partie des investissements de R&D et des investissements industriels dans le secteur de l'électronique imprimée, des structures beaucoup plus modestes peuvent s'emparer de cette technologie pour innover et pourquoi pas apporter une proposition de valeur singulière. Les domaines d'application sont très vastes, et dès lors qu'une entreprise distingue dans son champ de compétences de possibles usages, des axes d'exploration se dessinent. La poussée technologique est importante et multiforme mais l'accès est facile. Le marché manque essentiellement d'intégrateurs pour se déployer.

Les ressources et les moyens réduits, la faible marge des petites entreprises européennes et particulièrement des PME françaises rendent l'exercice d'innovation plus aléatoire et plus risqué et par conséquent moins souvent tenté. On peut y voir une des raisons de la désindustrialisation française où les éléments les plus modestes finissent par s'isoler et devenir obsolètes.

Ces petites structures peuvent se diriger vers une stratégie d'adaptabilité réactive plutôt que d'innovation. Elles y trouveront aussi les moyens de protéger leurs activités et leurs compétitivités, ainsi que de nouvelles voies de croissances. Si le risque financier d'investissement est effectivement minimisé, cette stratégie produira en revanche moins de valeur ajoutée et de résultats durables pour l'entreprise. Il leur faudra cultiver une veille technologique permanente et une certaine agilité de transformation afin de rester adaptée à la demande.

La diversité des compétences que nécessite le déploiement de l'électronique imprimée lui confère une certaine solidité et induit un facteur favorable supplémentaire à une logique d'association pour ces petites entreprises. La grappe semble alors un moyen de bénéficier de complémentarités de ressources et de réseaux, de mutualisation de moyens, de partage des risques et des bénéfices, à la condition de définir ensemble une stratégie d'innovation et de conserver cette association le temps de l'exploitation. Le potentiel de développement et la capacité à proposer des innovations qui rencontrent un certain succès, stabilisera et renforcera la grappe si les résultats sont correctement partagés par ses membres.

Quelle que soit la voie choisie, le temps qui s'écoule est un paramètre majeur. Dans un rythme de remise en question et de renouvellement qui s'accélère aujourd'hui, les entreprises doivent réduire leurs inerties et augmenter leurs capacités d'adaptation. Des contraintes importantes, car elles contraignent aussi bien les ressources humaines que les durées d'amortissement des investissements. Sur ce point, peut-être sommes-nous en train de tester les limites de résilience de nos organisations ? En réponse à des problèmes définis et maîtrisables par l'homme, on peut raisonnablement penser à de nouvelles positions d'équilibres entre la production d'objets techniques et leurs usages. La question reste entière si les problématiques à résoudre nous échappent.

Souvent expliqué par la stagnation des revenus des consommateurs et une faible réponse à leurs attentes, le fort taux d'échec des innovations remet les questions du quoi et du pourquoi comme premières dans le projet d'innovation. Les problèmes techniques relatifs au comment sont bien présents, mais les briques technologiques disponibles sont souvent si variées et en si grands nombres que la difficulté réside plutôt dans la définition des combinaisons les plus pertinentes. Lors de la déclaration de synthèse des dirigeants politiques et du monde des affaires de Davos de 2018, il est dit :

« Aujourd'hui la société demande et même exige que les entreprises tant publiques que privées soient au service d'un objectif d'amélioration réelle de la vie et de la société<sup>141</sup> »

---

<sup>141</sup> Marc Giget, *Les nouvelles stratégies d'innovation 2018 – 2020 Vision prospective 2030*. Editions European Institute for Creative Strategies & Innovation, 2018

Le ton est donné. Les innovations se doivent d'être avant tout tournées vers l'humain et c'est peut-être aussi une réaction au déferlement des technologies et de leurs détournements qui déstabilisent nos sociétés à un rythme de plus en plus soutenu. Sans verser dans une vision trop manichéenne, on peut toutefois admettre une tendance générale dans cette direction ou du moins qu'une part importante de la proposition de valeur d'une innovation ait un impact social et environnemental positif. Est-ce une difficulté supplémentaire lorsque de petites structures n'ont comme donnée initiale qu'une poussée technologique ? Peut-être une chance dans la mesure où, à moindres frais, elles peuvent aborder le projet sous l'angle de la recherche de sens pour les utilisateurs.

Expert en rien mais curieux de tout, le designer n'hésite pas à questionner la problématique initiale et à la remettre en cause au travers d'une vision plus humaniste. Or, c'est bien cette problématique qui va orienter tout le projet. En formant un lien transversal entre des expertises métiers, la posture design peut aider à structurer un objectif différenciant, à consolider une stratégie initiée par la grappe et à lui donner une signature en cohérence avec les attentes du moment.

À ce stade, si la problématique formulée n'est pas issue ou réductible à un cahier des charges, c'est-à-dire au comment, alors il faut s'ouvrir à une créativité plus large. Sur la base d'une équipe innovation autonome et aux expertises variées, les méthodes d'exploration du design peuvent être mises à profit dans un deuxième niveau d'intervention. La convergence vers une ou plusieurs propositions est le résultat du rebouclage constant entre l'objectif et les résultats des tests et expériences effectuées qui permet de dégager parmi toutes les idées générées les concepts les plus pertinents. Les connaissances et idées acquises lors de cette exploration représentent également une partie non négligeable des dividendes pour les entreprises qui constituent la grappe. Une telle approche peut difficilement se faire sans l'aide d'un designer rodé à l'exercice, à même d'animer les différentes étapes et de choisir les outils les plus adaptés au sujet, aux difficultés rencontrées, et aux personnalités de l'équipe projet. Sur l'exemple choisi, les différentes agences de design sollicitées ont toutes détaillé les étapes de leurs méthodes d'exploration et précisé les jalons et la nature des livrables proposant ainsi un cheminement à la fois ouvert et structuré.

Le troisième niveau d'intervention du design, qui n'est pas abordé ici dans la mesure où il intervient plutôt en fin d'exploration, tend à donner aux concepts retenus des formes tangibles et attirantes. La réduction de telles formes à la notion d'esthétisme mériterait sans doute un débat. Ce que nous pouvons retenir du design ? C'est une posture qui consiste non seulement à observer les usages mais aussi à imaginer d'autres possibles, à les décrire dans un contexte particulier ou les rendre plus généraux ; cette vision pourrait illustrer l'expression « les rythmes de la forme » dont parle Pierre Damien Huyghe. Pour moi, c'est l'expression des potentiels autour d'une technologie, d'une meilleure compréhension de ce qui lie les éléments avec le tout.

Dans cet environnement industriel, quelle attitude un chef de projet peut-il adopter ? Nous sommes loin des grandes entreprises dont les structures dédiées à l'innovation sont en place et prennent en compte les différentes possibilités d'exploration voire intègrent la posture design comme élément clef de leur stratégie. Dans un tel cas de figure, l'innovation y est bien considérée comme une activité complémentaire transversale et liante de différents services en particulier de ceux de la R&D et du marketing.

Ici vision, stratégie, grappe, équipe innovation, méthode sont à construire et le projet et l'équipe se façonnent mutuellement. Le point initial est la volonté des dirigeants des entreprises de la grappe, et

la confiance réciproque. Vient ensuite les ressources et les moyens mis à disposition. À considérer qu'ils soient suffisants, il faut également un engagement de chacun des membres de l'équipe innovation, et pour des structures ayant par ailleurs des succès individuels, les services R&D ou marketing qui en sont les acteurs traditionnels pourraient ne pas adhérer à ce projet commun. Dans cette phase initiale, il y a donc une activité de construction de stratégie et d'explication importante pour poser des bases solides et déminer le terrain. Pour des raisons de confidentialité, il vaut mieux que le chef de projet soit à l'intérieur d'une des structures, et c'est sans doute une des limites de ce test pour lequel je n'ai récupéré que peu d'éléments sensibles et uniquement sur des points où mon intervention permettait de lever un obstacle sur lequel l'entreprise butait. La compréhension des apports du design est à même d'offrir au chef de projet une perception assez large pour juger de la nature de la démarche d'innovation. Au regard du contexte et des attentes, il la limitera à des méthodes dites réglées et plutôt tournées vers l'amélioration de l'existant, ou bien il initiera une étude plus ouverte et créative.

Sur ce point, on peut soulever un paradoxe bien français ; celui d'être à la fois d'une nation reconnue pour sa forte culture créative et un pays où les industriels comprennent mal le design et en font un usage réduit. À charge pour le chef de projet d'être aussi un pédagogue et un communicant pour en faire la promotion. Une certaine familiarité avec l'ensemble des outils et méthodes déployables dans une activité d'exploration conduit à une meilleure perception, et une meilleure articulation des interventions des membres de l'équipe, qui tend à construire une proposition originale, porteuse de sens, cohérente et industrialisable. Là où le designer crée un lien transversal entre les expertises métier, le chef de projet est garant de sa cohérence au vu du contexte choisi.

Dans une époque marquée par une fin de cycle, la destruction accélérée et les limites de résilience des organisations humaines et de notre environnement, il nous faut plus que jamais faire preuve d'inventivité avec la contrainte du durable. Aujourd'hui nos modes de fonctionnement ont encore trop souvent une portée spéculative et une vision réduite qui masquent une facture douloureuse à brève échéance. La coopération avec des objectifs sensés semblent être porteuse de plus d'avenir, et c'est sans doute un modèle que les entreprises suivront aussi. De l'innovation utilisée comme levier du consumérisme ne sommes-nous pas à l'aube de basculer dans une étape de transition, un prélude à un changement profond de nos sociétés ?

# LECTURES ET INSPIRATIONS

## PUBLICATIONS

Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau et Françoise Massit-Folléa, *L'Internet des objets, quels enjeux pour l'Europe ?*, éditions de la maison des sciences de l'homme, 2009.

Thierry Burger-Helmchen, Caroline Hussler, Patrick Cohendet, *Les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité*, éditions EMS, collection grands auteurs, 2016.

Anthony Dunne and Fiona Raby, *Design Noir, the secret life of electronic object*, éditions Birkhäuser 2006.

Anthony Dunne, *Hertzian Tales – Electronic Products, Aesthetic Experience, and Critical Design*, the MIT Press, 2008.

Charlotte & Peter Fiell, *Design Industriel A-Z*, édition TASCHEN, 2001.

Marc Giget, *Les nouvelles stratégies d'innovation 2018 – 2020 Vision prospective 2030*. Editions European Institute for Creative Strategies & Innovation, 2018.

Armand Hatchuel, *Quelle analytique de la conception ? Parure et pointe en design*, texte publié dans Le design. Essais sur des théories et des pratiques de Brigitte Flamand, éditions Institut Français de la Mode, 2006.

Pierre-Damien Huyghe, *Art et industrie : philosophie du Bauhaus*, éditions Circé, 1999.

Pascal Le Masson, Benoît Weil, Armand Hatchuel, *Théorie, méthodes et organisations de la conception*, presse des MINES, collection sciences de la conception, 2014.

Enzo Mari, *Autoprogettazione*, éditions Corraini réédition septembre 2008.

Thierry Ménissier, *Philosophie et innovation, ou philosophie de l'innovation ?*, article paru dans la revue de philosophie KLESIS N°18 en 2011.

Alexandra Midal, *Design introduction à l'histoire d'une discipline*, éditions Pocket, collection Agora, 2009.

Giovanni Nisato, Donald Lupo, Simone Ganz, *Organic and printed electronics, fundamentals and applications*, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2016

Marion Pinaffo et Raphaël Pluinage, *Papier machine : Expédition dans les formes de l'électronique*, projet de fin d'études 2017.

Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, éditions Aubier, 2012.

Serge Tisseron, *Nos objets quotidiens*, article paru dans la revue HERMES N°25 en 1999.



## ARTICLES DE PRESSE PAPIER ET WEB

Florian Bayard, **Galaxy Fold : des testeurs affirment que leur écran est déjà cassé après 24 heures**, Phonandroid article du 18 avril 2019. <https://www.phonandroid.com/galaxy-fold-ecran-plier-fonctionne-plus-apres-24-heures-rapportent-utilisateurs.html>

John Locher, **CES 2019 de Las Vegas: La télé Oled «enroulable» de LG sera commercialisée cette année**, 20 Minutes avec AFP Publié le 8 janvier 2019 /AP/SIPA. <https://www.20minutes.fr/high-tech/2410439-20190108-2019-las-vegas-tele-oled-enroulable-lg-commercialisee-annee>

Ridha Loukil, **Schneider Electric, Linxens, Belink...L'électronique imprimée séduit de plus en plus les industriels**, L'Usine Nouvelle magazine en ligne du 7 mars 2019. <https://www.usinenouvelle.com/article/schneider-electric-linxens-belink-l-electronique-imprimee-seduit-de-plus-en-plus-les-industriels.N815240>

Yoan Rivière, **L'électronique imprimée une opportunité d'aujourd'hui ?**, Acteurs de la filière graphique n°114 2<sup>ème</sup> trimestre 2016, trimestriel édité par l'Union Nationale des Industries de l'Impression et de la Communication.

Laurent Rousselle, **Isorg rend le plastique intelligent**, L'Usine Nouvelle magazine en ligne du 20 mai 2017. <https://www.usinenouvelle.com/editorial/isorg-rend-le-plastique-intelligent.N540489>

Christophe Séfrin , **CES Las Vegas 2019: 8K, OLED enroulable, écran XXXL: Les téléviseurs allument le salon**, 20 minutes article du 9 janvier 2019. <https://www.20minutes.fr/high-tech/2411439-20190109-las-vegas-2019-8k-oled-enroulable-ecran-xxxl-televiseurs-allument-salon>

## COLLOQUES

FULCONIS François et PHILIPP Bernd (2018), « **Le packaging dans le commerce électronique : une expérience consommateur à enrichir** », CNRIUT'2018 - Congrès National de la Recherche des IUT, IUT d'Aix-Marseille, Université d'Aix-Marseille (AMU), Aix-en-Provence, 07-08 juin, pp. 54-56. [HAL Id : hal-01854062].

Accessible en ligne : [https://cnriut2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil\\_CNRIUT2018.pdf](https://cnriut2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_CNRIUT2018.pdf).

Isabelle Chartier, **L'électronique organique imprimée Une nouvelle branche de l'électronique**, colloque du 6 novembre 2013 à la fondation de la maison de la chimie.

[https://www.mediachimie.org/sites/default/files/techno-inf\\_p119.pdf](https://www.mediachimie.org/sites/default/files/techno-inf_p119.pdf)

Paul Piette, Thérèse Gorisse, William Gourgeon, Laurent Lenglet, Fanny Roumet, Christophe Tréhault, EIPIT, **impression électronisée, module 1 stratégie et modules 2&3 technologies de l'IE et pour l'IE**, Centre Technique du Papier.

## RAPPORTS OFFICIELS

ANSES, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, *Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques*, rapport de mars 2018.

Charles Collet, Stéphane Roy, *L'électronique organique en Allemagne : Un domaine émergent et stratégique*, rapport d'octobre 2012 à l'ambassade de France en Allemagne service pour la science et la technologie.

Union des Industries Textiles, *Livre blanc sur les textiles intelligents*, rapport de 2017.

## SITES WEB : ELECTRONIQUE IMPRIME, R&D, CLUSTERS ET ETUDES DE MARCHE

<http://liten.cea.fr/cea-tech/liten>

<https://www.idtechex.com/fr>

<https://www.mintel.com/>

<http://www.afelim.fr/>

<http://www.webctp.com/>

<https://oe-a.org/>

<https://oes-net.de/projekt/colae/>

<https://www.photonics21.org/>

## SITES WEB : PROGRAMMES DE FINANCEMENT EUROPEEN

[https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/fp6\\_fr](https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/fp6_fr)

[https://ec.europa.eu/research/fp7/index\\_en.cfm](https://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm)

<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid73300/comprendre-horizon-2020.htmlci>

# **ANNEXES**

# GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES

## Chapitre 1

**Q-LED** : dans le cas cité, il s'agit d'une variante d'écran LCD (Liquid Crystal Display) où les cristaux liquides jouent le rôle de filtres polarisants qui laissent passer la lumière issue d'un dispositif de rétro éclairage. Les points quantiques (quantum dots) sont des nanostructures qui autorisent des émissions lumineuses de différentes longueurs d'onde.

**EXCITON** : excitation élémentaire ou variation d'énergie d'un cristal constitué par l'ensemble d'un électron et d'une zone où un électron est manquant et se comporte comme une particule de charge positive. Les deux sont liés par la force électrostatique et forment une paire qui est modélisée par une quasiparticule. C'est un phénomène présent dans les semi-conducteurs et les isolants. Dans le cas présenté avec les OLED, ce sont les structures moléculaires capables de transformer cette excitation en énergie lumineuse (photons) qui sont recherchées pour constituer la couche émettrice de l'OLED.

**AMOLED et THIN FILM TRANSISTOR BACKPLANE** : Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode, c'est une technique qui associe les OLEDs en tant que pixels d'écran à une matrice (TFT backplane) dite active car chaque pixel peut être sollicité et émettre individuellement.

**ELECTRONIQUE SILICIUM** : En tant que semi-conducteur le silicium est l'élément principal utilisé en électronique notamment pour la fabrication de transistors et circuits intégrés ainsi que de panneaux photovoltaïques. Il symbolise ici le mode de fabrication industrielle qui est traditionnel et dominant.

**PET** : polytéréphtalate d'éthylène, matière plastique souple généralement translucide, isolant électrique avec une bonne stabilité dimensionnelle et une grande résistance à la tension. Il est principalement utilisé pour les bouteilles de produits gazeux (étanchéité au CO<sub>2</sub>), sous formes de fibres textiles, sous formes de films et supports fins. Il est recyclable mais avec des contraintes de coût.

**PEN** : polynaphtalate d'éthylène, plastique comparable au PET mais plus résistant à la température.

**PC** : polycarbonate, matière plastique dure et rigide, translucide, isolant électrique avec une bonne stabilité dimensionnelle (entre -150°C et +140°C) et de bonnes résistances mécaniques. On le trouve beaucoup en remplacement du verre.

**LES TECHNIQUES D'IMPRESSION** : l'impression consiste à transférer une substance à la surface d'un support et à la faire adhérer. Ce transfert peut se faire depuis un outil (la forme imprimante) portant le dessin à reproduire sous une forme en relief (**flexogravure, typographie, dorure à chaud et à froid**), en creux (**héliogravure**), à plat (**offset et sérigraphie**). Ces techniques traditionnelles sont toutes industrielles et diffèrent de par la finesse de l'image à imprimer et la quantité d'encre déposée sur le substrat.

Il y a également la technique du jet d'encre (jet continu dévié, goutte à goutte, aérosol) dite impression sans contact par projection de gouttelettes d'encre formant le dessin qui peut être utilisée dans le cadre de l'électronique imprimée. C'est une technique numérique industrielle qui autorise des impressions uniques sans contrainte de coût d'outillages (formes imprimantes), mais dont les finesses et les quantités déposées sont plus restreintes par rapport à l'ensemble des techniques citées précédemment.

D'autres techniques utilisables pour l'électronique imprimée et souvent moins industrielles ce sont développées il s'agit entre autres de :

- **Photolithographie.** Technique de modification de la structure d'une couche par masquage selon un motif déterminé puis application d'un traitement chimique ou physique. Technique classique en électronique.
- **Le slot die coating.** Technique d'enduction en continu et sur de grandes surfaces au travers d'une fente reliée à un réservoir d'encre fonctionnelle sur des supports tels que verre, métaux, plastiques.
- **Le blade coating.** Technique d'enduction en continu et sur de grandes surfaces au travers d'une racle qui règle l'épaisseur du dépôt de l'encre fonctionnelle à la surface de supports tels que verre, métaux, plastiques.
- **Le spin coating.** Enduction par centrifugation sur une petite surface plane qui tourne à très forte vitesse, et induit la formation d'une couche mince et uniforme d'une substance placée initialement en tas au centre du support.
- **Le dépôt sous vide.** Méthode de dépôt à très basse pression en couche mince très régulière et très pure d'une substance initialement sous forme gazeuse.
- **Ablation laser.** Dépôt sélectif sur un support situé en vis-à-vis d'un matériau cible dont la matière est arrachée par un faisceau laser.

**CARACTERISTIQUES RHEOLOGIQUES :** propriétés de déformation et d'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte. Pour un solide on parlera d'élasticité (retour à la forme initiale), de viscoélasticité (déformation résiduelle irréversible dont l'importance augmente avec la durée de la contrainte), de viscoplasticité (déformation résiduelle irréversible dont l'importance augmente avec la vitesse d'application de la contrainte), de plasticité (déformation irréversible).

**KILLER APPLICATION :** expression marketing emprunté au monde de l'informatique et désignant une application à ce point désirable qu'elle provoque à elle seule l'achat de hardwares nécessaires à sa mise en œuvre. Un exemple lié à l'électronique imprimée serait une application nécessitant un support d'image flexible et qui provoquerait un engouement tel que le marché des écrans OLED exploserait.

**TERRES RARES :** groupe de 17 éléments chimiques métalliques aux propriétés particulières, utilisés couramment dans l'industrie électronique. Leurs présences sur terre ne sont pas forcément rares et certains sont assez abondants, mais leurs emplois dans la fabrication de produits de haute technologie leur confèrent un caractère géostratégique.

**MÉTAUX LOURDS (définition Européenne) :** « un métal lourd désigne tout composé d'antimoine, d'arsenic, de cadmium, de chrome hexavalent, de cuivre, de plomb, de mercure, de nickel, de sélénium, de tellure, de thallium et d'étain, ainsi que ces matériaux sous forme métallique, pour autant qu'ils soient classés comme substances dangereuses ». La majorité de ces métaux lourds présentent des risques pour la santé et l'environnement.

**FAMILLE DES FULLERÈNES ET NANO TUBES DE CARBONE :** structures moléculaires de type nanoparticules uniquement composées d'atomes de carbone et qui peuvent prendre différentes formes géométriques ; sphère, ellipsoïde, anneau, cylindre, etc. En sus de leurs géométries, ces composés ont des propriétés lubrifiantes et conductrices et font l'objet d'utilisations et de recherches dans le domaine de l'électronique et le photovoltaïque.

## Chapitre 2

**NEGUENTROPIE** : tout système physique, biologique ou de construction sociale suit un processus naturel de perte d'organisation appelée entropie qui aboutit à sa dislocation. En introduisant de l'entropie négative (néguentropie) dans le cas présent de l'information, de la connaissance et de la construction collective, les systèmes adaptent continuellement leurs organisations aux changements de leurs environnements (capacité de résilience) et perdurent au lieu de disparaître.

**CHAMBRE ANÉCHOÏQUE** : Appelée aussi chambre sourde, c'est une salle d'expérimentation dont les parois absorbent les ondes (sonores ou électromagnétiques). Elle est utilisée pour caractériser les ondes sans superposition de réverbération parasite ou d'interactions avec des ondes extérieures. Dans le cas d'électrosensibilité ce sont des lieux isolés des ondes électromagnétiques.

### **ELECTROMAGNÉTISME :**

Le champ électromagnétique représente dans l'espace l'ensemble des forces qui s'exercent sur une particule chargée électriquement. Il y a deux composantes, une composante de champ électrique et une composante de champ magnétique créées par l'ensemble des autres particules avec lesquelles la particule test est en interaction.

*Les champs électriques sont produits par des variations dans le voltage : plus le voltage est élevé, plus le champ qui en résulte est intense. Ils surviennent même si le courant ne passe pas. Au contraire les champs magnétiques apparaissent lorsque le courant circule : ils sont d'autant plus intenses que le courant est élevé. Ainsi, lorsqu'on a un courant électrique, l'intensité du champ magnétique variera selon la consommation d'électricité, alors que l'intensité du champ électrique restera constante. (Extrait de Les champs électromagnétiques, publié par le Bureau Régional de l'Europe de l'OMS en 1999 (Série Collectivités locale, environnement et santé ; 32).*

Une onde est une propagation d'une variation de grandeur physique. Il n'y a pas de déplacement de matières c'est une propagation d'énergie sans transport de matières. Si la grandeur physique qui se propage n'est pas liée à un milieu matériel (dans le cas présent le champ électrique et le champ magnétique) alors les ondes peuvent également se propager dans le vide.

A partir d'une antenne parcourue par un courant alternatif, on produit une onde électromagnétique qui correspond aux oscillations couplées d'un champ électrique et d'un champ magnétique dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps. Tout corps conducteur proprement dimensionné formera une antenne de réception qui, traversée par cette onde électromagnétique, induira un courant alternatif image du courant d'émission.

Si les ondes électromagnétiques sont une forme d'énergie qui circule dans l'espace, elles sont aussi capables de transporter de l'information au travers de la forme des variations. Ces différentes ondes électromagnétiques se différencient et sont caractérisées par leur fréquence, c'est-à-dire le nombre d'oscillations en une seconde (unité le Hertz symbole Hz). Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques dans la gamme de fréquence varie de 10Hz à 300 GHz.

Le RFID (Radio Frequency Identification) est un système composé de deux entités qui communiquent entre elles grâce à des ondes électromagnétiques. Un lecteur RFID envoie une onde électromagnétique qui active un transpondeur constitué d'une puce et d'une antenne et qui est situé sur l'objet récepteur. Ce transpondeur renvoie à son tour des informations vers le lecteur. Ils existent plusieurs fréquences utiles et protocoles associés, ceux dont il est question dans ce mémoire sont le NFC (Near Field Communication ou Communication en Champ Proche à 13,56 MHz, distance de lecture inférieure à 10 cm) et l'UHF (Ultra Haute Fréquence entre 865 MHz et 868 MHz dans l'union européenne, distance de lecture de 1 à 100 mètres). En pratique les spécialistes utilisent le terme de RFID pour désigner le RFID UHF et le terme NFC pour désigner le RFID HF.



**POSTE À GALÈNE** : premier poste de réception radio nommé ainsi car il utilise une diode composée de galène pour détecter les signaux électromagnétiques de l'émission radio. La galène est un cristal métallique de sulfure de plomb qui possède des propriétés semi-conductrices et permet de détecter les perturbations électriques.

**TRIODE** : dispositif amplificateur d'un signal électronique composé de trois éléments.

Une cathode formée par un élément incandescent qui par échauffement émet un flux d'électrons.

Une anode réceptrice des électrons après application d'un champ électrique entre l'anode et la cathode. Une grille interposée entre l'anode et la cathode dont la modification du potentiel électrique permet d'accélérer ou ralentir le flux d'électrons.

Toute tension appliquée à la grille produit une tension proportionnellement plus importante à l'anode et sert d'amplification à la tension de grille.

**MONTAGE SUPERHÉTÉRODYNE** : il s'agit d'un type de montage électronique pour la réception radio dans lequel un signal reçu d'une certaine fréquence est mélangé avec une transformation de ce signal avec une fréquence qui lui est proche pour obtenir un nouveau signal avec une nouvelle fréquence plus basse dénommée fréquence intermédiaire, généralement la différence des deux fréquences, qui est plus facile à traiter. Par ailleurs les émissions sur un large gamme de fréquences se réduisent à un traitement des signaux ramenés à une seule fréquence, la fréquence intermédiaire.

**DAB+ (Digital Audio Broadcasting ou Radio Numérique Terrestre)** : technique numérique qui consiste à rassembler plusieurs informations, c'est-à-dire plusieurs émissions différentes, au travers d'une seule fréquence (multiplexage). Le récepteur assure la bonne séparation des informations et la restitution de chaque émission. Ce dispositif permet de répondre à la saturation de la bande analogique FM.

**CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE DE GRÄTZEL (Dye-sensitized solar cell ou DSC)** : inspiré de la photosynthèse il s'agit d'un type de cellules photovoltaïques où les pigments absorbent l'énergie lumineuse et émettent des électrons qui vont constituer un courant électrique.

**BALLON FRAME (CONSTRUCTION A OSSATURE CROISEE)** : technique de construction industrielle des bâtiments apparue au 19<sup>ème</sup> siècle aux Etats Unis qui consiste à créer une ossature en bois avec des éléments de tailles standards qui ne sont ajustés que sur leurs longueurs.

**DO IT YOURSELF** : activité qui vise à créer ou réparer par soi-même des objets. Par extension il s'agit aussi d'un mouvement politique en opposition à la société de consommation. Les designers se sont également emparés de ce principe avec des propositions d'*upcycling* (revalorisation des objets devenus inutiles).

### Chapitre 3

**CHALEUR FATALE** : ici chaleur résiduelle issue de procédés industrielles et qui n'est pas utilisée. Typiquement la sidérurgie, l'industrie du verre, la fabrication de pâtes et de papier, l'industrie pétrochimique. Aujourd'hui on parle aussi de chaleur fatale pour les data center.

**PLA (PolyLactic Acid ou acide polylactique)** : polymère obtenu à partir de la fermentation de sucres ou d'amidon en présence d'acide lactique synthétisé par des bactéries. C'est un composé biodégradable dans des conditions de compostage industriel. On le trouve dans l'emballage alimentaire en remplacement des sacs plastiques, dans le domaine médical ainsi qu'en tant que bioplastique pour les imprimantes 3D.

## **INTERVIEW DE LA DESIGNER CLÉMENTINE CHAMBON (11/06/2019)**

### **1) Pouvez-vous me parler de votre parcours, de vos expériences ? Comment définiriez-vous votre posture de designer ?**

J'ai fait un diplôme d'architecture d'intérieur à l'école Boule dont je suis sortie en 2003. Tout de suite après dans le cadre d'un appel à projet du VIA (Valorisation de l'Innovation dans l'Ameublement), j'ai développé le concept « rideau lumière » avec un intérêt particulier pour la lumière mais pas vraiment pour l'électronique. Lorsque l'on avance on fait parfois des choix de manière intuitive. Lorsque j'ai commencé à analyser tout cela je me suis aperçue que la lumière était fondamentale pour moi. Sans doute mon enfance à Nîmes. Ici à Paris, il est impossible de retrouver cette même ambiance lumineuse. Enfant j'avais aussi cette habitude de me glisser entre les voilages pour me cacher et jouer avec cette lumière et les effets avec le matériau et sa texture. A l'époque de « rideau lumière » je me suis rendue compte que j'avais une capacité à jouer avec les technologies et j'avais fait ce mariage. C'est également grâce à ce projet que j'ai rencontré Françoise Mamert la personne avec qui je me suis associée et avec laquelle j'ai travaillé pendant dix ans.

De là je me suis orientée vers le design, l'objet, la création de nouveaux matériaux qui m'intéressent plus que l'architecture d'intérieure. J'ai eu l'opportunité de travailler avec Marc Newson pendant trois ans sur le projet de l'A380 pour la compagnie aérienne Qantas en tant que chef de projet couleurs matières, sur les scénarios de lumières et les différentes matières du linge d'intérieur. J'y ai beaucoup appris sur les technologies à cette occasion.

En 2006/2007, j'ai passé une année en freelance, mais j'ai trouvé difficile de ne pas avoir accès à un projet dans son ensemble en particulier après mon expérience australienne où le fait d'être jeune et d'être une femme n'avait jamais constitué un obstacle. L'expérience « rideau lumière » vécue avec Françoise Mamert nous a encouragées à nous associer au travers de l'agence Design Percept et à essayer de passer du prototype manuel à l'échelle industrielle avec l'entreprise Brochier Technologies. On se situe à la rencontre des technologies ; de la fibre optique et du tissage avec un effet lumineux dans le cœur de la matière, de la technologie de la LED émergente à l'époque et avec des couleurs et des puissances d'émission dispersées. Une des clés a été de trouver les bonnes optiques pour avoir des parcours de lumière les plus linéaires possibles à l'intérieur des fibres optiques qui sont microsablées afin d'avoir le moins de déperditions possibles. Ce furent de jolies années de développements sur cette base avec l'ambassade de France à Pékin, le Péninsula Hôtel à Paris, et également avoir été présentées à l'occasion de la nouvelle France industrielle à l'Elysée.

Ces projets hauts de gamme ont été l'occasion de pousser un concept jusqu'au bout, mais ce qui m'animait plus particulièrement dans ces projets, c'est la dimension de recherche et j'avais envie de rencontrer une nouvelle problématique, de changer d'échelle d'aller plus vers l'objet. En 2017 j'ai fait une VAE de designer industriel à l'ENSCI pour faire reconnaître ma pratique de designer. L'obtention également d'un diplôme de grade master dans la discipline, était important pour moi.

- 2) Design Percept se présentait avec une spécialité autour des matériaux, des couleurs et des formes (→ thématiques très teintées arts plastiques) ainsi qu'une veille technologique permanente. Quelle importance a pour vous cette alliance ?**

Aujourd'hui, je suis séparée de Design Percept et travaille sous mon nom propre.

Je suis passée à une autre étape avec une envie de travailler dans d'autres directions. En revanche l'alliance entre matériaux, couleurs, formes et des technologies a toujours du sens pour moi. Mon goût et ma facilité pour la technologie est plutôt une singularité et une certaine façon de raisonner, de plus je pense qu'il est important de capitaliser sur la dimension artistique de mon travail pour faire la différence dans la démarche de projet.

- 3) Y a-t-il des thématiques qui vous inspirent plus que d'autres (textile éclairant par exemple) ?**

C'est la lumière qui m'intéresse qui m'a amusée dans toutes ces expériences. Avec le projet de recherche « Paperwork » je pensais que c'était l'occasion de tourner une page vis-à-vis de toutes ces technologies après être allée au bout de la démarche, après être rentrée dans l'intimité de ces technologies au travers du faire soi-même et du bricolage, ce qu'offre aujourd'hui l'électronique imprimée. Alors qu'auparavant avec Françoise nous étions plus à travailler comme des directeurs artistiques avec des équipes d'ingénieurs, là j'étais dans une démarche de recherche d'expérimentation, d'apprentissage. Aller au bout de la compréhension à une petite échelle afin de mieux appréhender toute la logique de la technologie.

La différence principale dans mon approche aujourd'hui, par rapport à la création des premiers textiles éclairants, est le ciblage. Avec « Paperwork » j'ai choisi d'éviter les objets hybrides. Bien qu'ils apparaissent dans les expérimentations, je me concentre sur le luminaire pour le développement. A 24 ans je pensais que considérer un textile comme un nouvel objet lumineux était simple, mais visiblement il y a des freins psychologiques complexes à dépasser, plus des problématiques d'usages (lavage, normes feu, etc.). Dans ce nouveau projet, le papier m'intéresse beaucoup car c'est déjà un matériau particulièrement présent dans le champ du luminaire, on pense notamment aux abat-jours, aux lanternes de Chine ou du Japon.

- 4) Peut-on parler d'évolution technique en considérant la suite Rideau Lumière, Eight-Part-Fugue, Artwork Lili ?**

Le concept de « rideau lumière » était une esquisse. Tissé à la main par Maité Tanguy, il avait une fragilité, une poésie par sa faible émission de lumière et sa texture que l'on apprécie d'autant plus aujourd'hui qu'elles sont en contraste avec l'uniformité des écrans de plus en plus grands qui nous entourent.

Avec la prise de conscience de la pollution lumineuse, nous avons changé le regard que nous portons sur la qualité des différentes émissions de lumière. Par exemple est considéré comme banale ou commerciale une source trop lumineuse et sans interaction comme les bâches d'affichage. Depuis 2004, la LED a également explosé en puissance lumineuse et en homogénéité. On est aujourd'hui à la recherche de subtilités, on va avoir tendance à revaloriser des lumières plus fragiles, plus faibles issues de la bio luminescence par exemple, la magie du ver luisant en quelque sorte.

Eight Part Fugue était vraiment une évolution technologique et dans ce projet, on a une qualité de lumière optimale, comme suspendue dans la matière, en grande dimension et programmable. Artwork Lili aborde une autre problématique, celle de la passementerie c'est-à-dire les câblés les franges, amorcée un peu plus tôt avec la société Declercq Passementiers. Il y a également l'image

imprimée de cette actrice chinoise des années 20, une sorte de paradoxe car il y a une obstruction de la lumière par l'image imprimée, un jeu entre la photo et son support. C'étaient à chaque fois des problématiques très différentes avec des grands sauts technologiques, et bien sûr beaucoup d'autres prototypes qui n'ont pas forcément été exposés et qui constituent autant d'étapes intermédiaires.

#### 5) On remarque des partenariats techniques récurrents dans vos compositions

- **Brochier (tissage)**
- **Declercq (passementier)**
- **Materia Nova (recherche physique)**
- **Casambi (boitier de réglage programmable et connecté)**

#### Est-ce une nécessité technique, une rencontre avec des personnalités ?

Oui se sont les hasards des rencontres de la vie professionnelle. On se dit tiens on pourrait essayer de travailler sur un sujet ensemble et on essaie.

Pour le rapport humain, c'est au cas par cas. Pour les rideaux lumineux il s'agissait vraiment d'une nécessité car Brochier est vraiment le meilleur aujourd'hui en Europe dans ce domaine. Declercq Passementiers c'était une envie de collaboration, de passer d'une matière textile plutôt 2D à un univers tri dimensionnel et la passementerie permet de faire cela à travers le câblé par exemple. De leur côté, je pense qu'il y avait une envie d'aller vers des effets de lumière autre que la brillance des fibres et de collaborer ensemble.

Materia Nova est un hasard de rencontre car nous étions sur un projet de vêtement producteur d'énergie avec EDF. Gilles Rougon avait introduit un certain nombre d'acteurs pour le projet Vitruvian et c'est ainsi que nous nous sommes rencontrés avec Olivier Douheret. C'est quelqu'un de très intéressé par le design et la projection des usages qui découlent de ces réflexions peut l'orienter ou le nourrir dans sa façon de chercher les choses. Il a cette ouverture d'esprit. De mon côté c'est l'OLED sur papier qui m'est apparu à ce moment-là. J'avais envie de changer des ciblage très haut de gamme vers lesquels se sont orientés les textiles lumineux. J'avais également envie de travailler la lumière sur un support plus accessible, présent sous de nombreuses configurations d'objet, avec énormément de possibilités. De plus c'est une industrie « drivée » par la communication donc assez dynamique et rapide alors que les temporalités de l'industrie textile sont plus lentes. En tant que designer, le papier est un matériau que j'utilise tout le temps pour faire les maquettes, des dessins, pour comprendre par le faire. Cela fait partie des apprentissages. Si les chercheurs ont un mode de pensée qui leur permet de concevoir dans l'abstrait, les designers ont une nécessité d'être dans le faire, les deux se complètent bien.

#### 6) Y aura t'il une suite à Vitruvian Project ?

Le projet Vitruvian a surtout un préambule, un « avant ». J'avais fait le projet Lulu01 pour une architecture dans le sud de la France, un luminaire photovoltaïque complètement autonome qui peut être actif pendant 3 à 4 heures par jour sans dépenser de l'énergie. Mon père avait un cabinet d'architecte, CLN architecture, il venait d'achever la construction d'un bâtiment pour la Fédération Française du Bâtiment du Gard dans le cadre d'un appel à projet EFFINERGIE (Bâtiment qui dépense 50% en moins d'énergie) lancé par l'ADEME et la Région Languedoc-Roussillon en 2009, et il m'avait demandé si je pouvais faire quelque chose qui utilisait la lumière naturelle dispensée par le puit de lumière du hall d'entrée. Par curiosité, j'avais envie d'utiliser le photovoltaïque de me questionner sur cette technologie. Pour l'anecdote, au démarrage du

rideau lumière, mon concept était une captation d'énergie et la retransmission de la lumière par le textile. C'était un projet un peu futuriste à l'époque, peut être que demain ce ne sera plus le cas, mais en aurons-nous encore envie ? - C'est une autre question. Là, Lulu01 m'a permis d'aller chercher le photovoltaïque pour une application typiquement lumineuse avec des moyens existants. J'ai quand même mis six mois pour trouver des gens qui pouvaient le faire. J'ai rencontré cette personne, Marc Lebas qui fabriquait des Sollar kit, et qui m'a dit on va tester et on va voir ce que cela donne, et il a débloqué les choses.

Avec Vitruvian nous avons utilisé au début du photovoltaïque rigide et souple. C'était un peu comme retrouver un ami après quelques années et de se demander « tiens comment as-tu changé » ? Et il y avait la question du vêtement beaucoup plus soutenue par Françoise qui est designer mode. L'ensemble constituait une problématique particulièrement intéressante. Pour les freins, il y avait au même moment le projet Jacquard de Google et Levis sur la veste photovoltaïque. La problématique du lavage existe mais dans le cas de la veste par exemple, ce sont des vêtements qui sont confiés au teinturier pour un lavage à sec, donc relativement simple à surmonter. La question principale, je pense, demeure veut-on porter de la technologie ? Elle fut surtout perceptible lors de la présentation du deuxième prototype, où les gens ont demandé si c'était dangereux, si des ondes pouvaient monter au cerveau. Il y a une dimension de l'intime du contact avec la peau dans les vêtements. Je ne sais même pas si aujourd'hui en 2019 c'est encore désirable. Je me demande si on n'est pas encore plus à la recherche de matières plus naturelles, plus respectueuses de l'environnement dans tout leur cycle de production. Peut-être un rééquilibrage par rapport à la technologie omniprésente. Et puis il y a toutes ces informations quotidiennes à propos de la pollution et ses conséquences, tous ces cancers, on a peur, on se méfie de tout et on recherche des choses plus lisibles, compréhensibles, simples et saines.

On a également vu les scandales au sujet des déchets électroniques dont on ne sait plus quoi faire aujourd'hui et cela nous questionne énormément. Lorsque l'on voit ces gamins en Afrique qui marchent sur des monticules de déchets électroniques qui vont avoir une durée de vie plus longue que celle de ces enfants, on a du mal à ne pas se remettre en question.

Cette crise je l'ai vécue pendant le projet Paperwork, plus je me suis intéressée à l'OLED, à l'électronique imprimée, à toutes les conséquences de ces technologies, et plus je me suis demandée si cela valait encore le coup et si c'était la bonne voie. C'est entre autres pour cette raison que je me suis assez vite lassée de l'OLED.

**7) Ce projet "Paperwork, exploration lumière OLED papier" était une piste d'exploration sur la symbolique de la lumière, de l'interaction des OLEDs avec le support papier, du DIY, du nomadisme, de la relation ombre et lumière, de l'évolution de l'éclairage. Quels enseignements avez-vous retenus et quelle orientation lui avez-vous donnée ?**

En premier lieu lorsque j'ai commencé la résidence, j'étais encore dans la problématique du dépôt d'OLED sur papier, car le dossier avait été créé ainsi, et par la collaboration avec Materia Nova. Pour plusieurs raisons, la collaboration a été plus complexe et plus lente que je ne pensais. J'ai alors mis à profit le temps disponible pour explorer de mon côté le champ assez vaste du sujet, et fournir des pistes de réflexion aux autres experts du consortium que j'avais créé.

Premier constat pour l'OLED sur papier, c'est encore un dispositif très complexe avec une difficulté certaine à dépasser les problèmes techniques. Peut-être pour des raisons de maturité de la technologie, ou de moyens financiers et humains qui n'étaient pas en phase avec la temporalité et le budget alloué à la résidence. Le marché de l'OLED en luminaire est encore en question. Historiquement il y a eu le pic de l'OLED puis la crise de l'OLED je ne suis pas sûre que nous soyons tout à fait sortis de cette crise. S'il y a un marché, c'est sur l'OLED souple. Mais

souplesse et pérennité sont compliqué à obtenir, car il y a potentiellement plus de zones de fragilité et plus de sollicitations mécaniques. Le support doit être absolument parfait sinon, lors du dépôt de couche, le moindre défaut anéanti tout le processus. L'encapsulation doit aussi être parfaite afin de protéger la structure active. Par exemple, j'ai eu une OLED entre les mains, je l'ai un peu manipulée, puis il y a dû y avoir une micro fissure quelque part. Je me suis retrouvée avec une surface qui n'éclairait plus rien. Par ailleurs, il y a les difficultés d'accès à ces technologies. J'ai rencontré plusieurs acteurs. Outre le laboratoire Materia Nova, il y a eu Oledworks qui est le dernier industriel à faire des OLEDs en Europe, et qui vendent aujourd'hui des OLEDs souples à un prix dont je ne pouvais que constater le décalage par rapport à un produit grand public. Le matériau lui-même ne peut pas être customisé, car si on change un rayon ne serait-ce que de deux millimètres, cela modifie complètement la technique de dépôt donc de machines avec un impact de plusieurs millions d'Euros. Cela a fini par me décourager. Un élément tout de même positif, dans le domaine du luminaire ils sont arrivés à obtenir une très belle qualité d'émission et une forte puissance. Ma dernière rencontre fut avec Kumiko Chemical dont le représentant en Europe m'a confirmé que la société arrêtaient les OLEDs décoratives (couleurs, motifs, etc.), car ils avaient estimé qu'il n'y avait pas de marché pour ces applications, et se concentraient sur la production d'OLEDs de grandes puissances.

Parallèlement à cette recherche, j'ai participé aux dossiers de candidature d'appels à projets européens avec Materia Nova ainsi que d'autres entreprises dont un constructeur de carrosserie automobile intelligente, dans le domaine du papier et des matériaux souples imprimés, des encres conductrices. Cet appel à projet n'a pas été sélectionné, mais laisse quand même supposer des débouchés.

Je me suis donc progressivement désintéressée de cette technologie pas encore mature et peu abordable, et par son instabilité ainsi que son niveau de complexité pour le moment peu durable.

En parallèle de ce parcours, je me suis questionnée : peut-on parler de lumière surfacique sans technologie ? Et là c'est toute l'exploration plastique qui m'a emmenée sur le terrain de la couleur. Si je reprends une citation d'Olivier Douheret qui m'avait beaucoup inspirée lors du démarrage du projet, « avec l'OLED comme la palette du peintre on pourra faire des couleurs extraordinaires ». Cela m'est resté en mémoire. Comme je n'ai pas pu le faire avec l'OLED, je suis revenue un cran en arrière, aux pointillistes et donc à Seurat qui a été influencé par les découvertes de l'optique. Je me suis également inspirée de ces diagrammes de lieu Planckien, que l'on voit constamment dans les laboratoires et dès qu'on travaille avec des LEDs ou OLEDs. Cette inspiration a donné lieu à toute une série de dessins de spectres colorés, sous différents formats, que j'ai ensuite retravaillés comme motif et proposés à un éditeur de tapis italien, Nodus Rug. « Spectrum » et « Disappearing Spectrum » sont sortis au Salon du Meuble de Milan en avril. À ce moment-là, il s'agissait d'aborder la couleur inspirée par l'optique et par les technologies d'éclairage.

Enfin j'ai passé beaucoup de temps à comprendre le fonctionnement d'une LED, comment cela marche, quel est son spectre d'émission. Avec un souci de faire soi-même et de simplifier les circuits. J'avais déjà pas mal d'expérience en tant que designer comme celui qui conçoit l'objet et travaille main dans la main avec l'ingénieur qui va l'accompagner pour le mettre au point, mais qui y apporte également son imaginaire. Parfois, j'avais ressenti des frustrations, car on ne se comprend pas toujours si bien. Avec des personnes qui n'ont pas la même culture visuelle, ou pas la même culture tout court, vous pouvez enchaîner les réunions sans parvenir réellement à transmettre vos concepts. Vous pouvez alors avoir la tentation de faire par vous-même et de leur montrer une fois la chose faite, afin de rendre l'idée plus évidente pour tous les interlocuteurs.



## 8) Selon vous quel est le rôle du designer vis-à-vis de l'électronique imprimée ?

Lorsque ADM Print m'a donné l'opportunité d'aller aux rencontres de l'Afelim et de rencontrer les acteurs et les industriels, j'ai été confortée sur le futur de l'électronique imprimée et du papier. En revanche, j'ai constaté qu'il n'y avait pas encore la présence de designer dans cette association, et j'ai trouvé qu'il y aurait beaucoup de champs dans lesquels il pourrait y avoir du design. Notamment sur des problématiques avec des entrées centrées sur l'usage et non sur la technologie.

Je me suis dit qu'il y avait quelque chose à faire, et suite à cela j'ai rencontré la secrétaire générale de l'Afelim, Anne-Lise Maréchal. Là j'ai compris pourquoi il n'y avait pas de designers, car notre métier est encore très peu connu par ces réseaux d'acteurs.

Il y a une interrogation sur ce que les designers pourraient leur apporter. Pourtant de leur côté il y a un réel besoin de vulgarisation. Peu de personnes connaissent ce qu'est l'électronique imprimée, ses filières, et les acteurs de cette industrie ont parfois des difficultés à faire comprendre leur domaine qui relève souvent de la chimie, pour lever des fonds par exemple. D'autre part, c'est une industrie qui est très présente dans les produits semi-finis donc souvent cachée. Malgré un marché en croissance, toute entreprise a besoin de plus de visibilité, pour continuer à décoller. Donc ils y réfléchissent...un petit peu.