



AMBASSADE DE FRANCE EN ALLEMAGNE
SERVICE POUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

Berlin, le 15 octobre 2012

Rédacteur :

Charles Collet, Chargé de mission NTIC et Nanotechnologies

Stéphane Roy, Attaché pour la science et technologie

Avec les conclusions de:

Isabelle Chartier, Responsable du Programme Electronique Imprimée au CEA LITEN, Grenoble,

Lionel Hirsch, Directeur du Groupe de Recherche Electronique Organique. Directeur de Recherche CNRS au laboratoire d'Intégration du Matériau et du Système (IMS / CNRS), Bordeaux,

Remi de Bettignies, Institut National de l'Energie Solaire, CEA INES, Chambéry.

L'électronique organique en Allemagne :

Un domaine émergent et stratégique

Résumé :

L'électronique fut la technologie révolutionnant le 20^e siècle en ouvrant l'ère des TIC, tandis que le plastique fut le matériau industriel symbolisant cette même période. Le rapprochement de ces deux champs, dit "électronique organique", constituent pour le 21^e siècle une possibilité de révolution technologique dans la manière de produire des semi-conducteurs plus écologiques et à moindre coût, dotés de propriétés élargies, notamment pour l'énergie, l'affichage et l'éclairage. Elle est ainsi devenue un domaine stratégique de R&D pour l'Allemagne qui apparaît être l'un des leaders en Europe et qui se positionne déjà à l'échelon mondial.

Ce document propose ainsi de tracer un panorama du développement de l'électronique organique outre-Rhin et d'introduire une partie comparative sur la France.

1. INTRODUCTION	3
2. UN SECTEUR NAISSANT.....	3
a) Appellations multiples et dénominations croisées	3
b) Avantages et inconvénients de l'électronique organique	4
c) Les principales applications	5
3. PANORAMA DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE : ACCENT SUR L'ECLAIRAGE, LES CAPTEURS ET LE PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUES.....	6
a) Focus sur l'état du développement et les acteurs en Allemagne	7
b) Le cluster de pointe d'Heidelberg (Forum Organic Electronics)	9
c) Le développement de l'électronique organique dans la Saxe.....	11
d) Les pistes stratégiques pour le développement de l'électronique organique en Allemagne.	16
CONCLUSION	18
Annexe 1 : Panorama synthétique du secteur en France	20
a) les laboratoires visibles et le GDR électronique organique	20
b) la filière industrielle structurée par l'Afélim	22

1. Introduction

L'Académie allemande des technologies Acatech¹, organe conseillant le Gouvernement fédéral sur les investissements stratégiques en recherche et développement (R&D), a présenté mi-2011 un rapport² réitérant sa demande de soutien à la poursuite de la R&D sur l'électronique organique du fait de son fort potentiel économique, ses coûts moindres et ses fonctionnalités nouvelles comparées aux technologies silicium. De plus, plusieurs rapports d'experts³ montrent que l'Allemagne est devenue un des premiers pays au monde pour la R&D industrielle dans ce domaine. Ceci a d'ailleurs été illustré par la conférence internationale SEMICON tenue à Dresde, au sein de laquelle un nouveau salon entièrement dédié à l'électronique des plastiques a été intégré. Acatech souligne ainsi que, si l'électronique organique est encore une technologie naissante, sa courbe de croissance en est seulement au stade initial, et l'avance prise par l'Allemagne dans ce domaine pourrait se révéler stratégique à court terme. Ceci notamment dans le développement de circuits flexibles (pouvant par exemple s'insérer dans les vêtements), de panneaux photovoltaïques organiques (OPV) ou dans les nouvelles technologies d'affichage ou d'éclairage par diodes électroluminescentes organiques (OLED - Organic Light-Emitting Diode). Enfin, le "papier électronique" souple que l'électronique organique permet de réaliser, est considéré comme une des révolutions technologiques potentielles du 21^e siècle. C'est pourquoi il apparaissait important d'apporter un éclairage sur le paysage et les développements actuels de l'électronique organique en Allemagne tout en introduisant les développements menés parallèlement en France.

Dans ce but, le service pour la science et la technologie de l'ambassade de France à Berlin a organisé une mission exploratoire pour analyser l'état des développements outre-Rhin à la croisée de la physique (électronique) et de la chimie pour la science des matériaux utilisés. L'étude s'est concentrée autour des clusters d'Heidelberg et de Dresde, qui se positionnent déjà à l'échelon mondial.

2. Un secteur naissant

a) Appellations multiples et dénominations croisées

Si le qualificatif "organique" est l'appellation générique de ce domaine naissant, il apparaît qu'il n'est pas seul à qualifier toutes les activités traitées dans ce secteur, et que les experts lui préfèrent parfois d'autres qualificatifs comme celui d'électronique "imprimée". La définition rapide des qualificatifs permet ici de détailler une typologie des différentes déclinaisons du domaine. Le terme "organique" est utilisé pour caractériser les composants électroniques produits non plus en silicium (semiconducteur inorganique) mais en matériaux composés de carbone et d'hydrogène sous la forme d'un cristal ou d'un polymère, montrant des propriétés pouvant se rapprocher des matériaux inorganiques semiconducteurs. Les propriétés de ces matériaux (électroluminescence, absorption, dépôt par voie liquide, flexibilité, etc.) ont donné naissance à l'électronique organique ou électronique plastique. Malgré tout, ces polymères semiconducteurs conservent une grande résistance électrique comparativement à leurs homologues inorganiques. Un des atouts différenciateur de ces matériaux organiques est de pouvoir être mis en forme par des techniques d'impressions sur des substrats flexibles (plastiques) de grande dimension. Aussi, les experts rencontrés se réfèrent souvent au terme d'"électronique imprimée", qui, comme celui d'électronique "grande surface", fait référence aux techniques d'impression utilisées (notamment développées dans le cluster d'Heidelberg). Ces techniques permettent donc de produire des composants électroniques flexibles sur des substrats de grande dimension et à coût plus réduit que les semiconducteurs en silicium : il peut s'agir du "roll-to-roll" (impression en bande continue) ou du "foil-to-foil" également appelé "sheet-to-sheet" (feuille à

¹ <http://www.acatech.de/uk> (en anglais)

² <http://www.acatech.de/de/publikationen/publikationssuche/detail/artikel/organische-elektronik-in-deutschland.html> (en allemand)

³ IEEE Isupply

"L'électronique organique, brillant avenir pour les matières plastiques", document de l'Ecole Polytechnique, 2007

"L'électronique organique - Un secteur d'activités de 30 milliards de dollars US en 2015", cabinet IDTechEx - 14/07/2011 - <http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=150147>

"L'électronique organique", Université Catholique de Louvain - 2002

Département "Electronique organique", CEA Liten, http://www-liten.cea.fr/fr/activites_rd/eorga.htm

L'actualité des développements allemands en électronique organique peut être suivie sur : <http://www.science-allemande.fr/fr/?s=electronique+organique>

feuille)⁴. A noter néanmoins que cette nouvelle forme de l'électronique peut ainsi être "organique" sans être "imprimée" (procédés de dépôt sous vide et de gravure standards comme c'est le cas pour les écrans OLED déjà commercialisés), ou bien imprimée sans être strictement organique, suivant le type d'encre organique-inorganique (encre conductrice à base de nanoparticule de métaux par exemple) ou de substrat utilisé (plastique, papier, verre, métal).

Notons aussi que le qualificatif "électronique plastique", ou "électronique flexible" associant différents types de substrats polymères et différents modes de production (gravure, dépôt sous vide, impression, en feuille ou en bande.) est, dans l'acception stricte, le qualificatif le plus large pour la filière (c'est d'ailleurs celui retenu pour le nouveau sous-domaine de l'association industrielle internationale SEMI). Il est important de comprendre ces différentes composantes afin de bien appréhender ce secteur de R&D et les coopérations pouvant y être tissées. En outre, comme présenté par les chercheurs des institutions visitées, les nombreuses applications potentielles font de ce domaine un champ de R&D prometteur. Selon la société d'étude IDTechEx⁵, le marché de l'électronique organique (au sens large du terme) passerait de \$1,6 Mrd en 2008 à \$47 Mds en 2018. Selon une étude de Meryll Lynch la croissance serait plus lente (\$15 Mds en 2020), mais pourrait être exponentielle pour atteindre \$300 Mds en 2030, poussée par les fonctionnalités nouvelles et le besoin d'économie d'énergie et de métaux rares dans l'électronique. Ceci devrait également se réaliser par le développement de nouvelles applications dans des secteurs traditionnellement moins intégrateurs de composants électroniques au niveau de l'individu ou du produit fini, tels que la santé ("laboratoires sur puce", capteurs), l'édition (e-paper), l'emballage, la plasturgie en plus du marché des applications électroniques classiques.

b) Avantages et inconvénients de l'électronique organique

Les semi-conducteurs organiques offrent plusieurs avantages, résumés notamment par un rapport de l'AEPI⁶ :

- Le premier facteur différenciant de l'électronique organique est la taille des circuits : il est possible de réaliser des fonctions électroniques distribuées sur de grandes surfaces : surface lumineuse homogène de plusieurs dm², matrice de capteurs (photodiode, température, pression), couvrant des surfaces allant du dm² au m², panneaux photovoltaïque, etc. L'électronique organique est ainsi une électronique produite à échelle humaine, par opposition à la micro- et nanoélectronique invisible à l'œil nu. Ainsi l'électronique organique est une électronique grande surface, souple, à plus faible coût et densité de fonctions.
- Le second atout clé, est apporté par la nature des substrats utilisables grâce aux procédés d'impression. La conformabilité et la flexibilité des substrats plastiques permettent d'imaginer de nouvelles applications et modes d'intégration des fonctions électroniques aux produits finaux. En effet, les semi-conducteurs inorganiques étant déposés sur des substrats plats et rigides (silicium et verre) ne peuvent être adaptés à formes variées des produits manufacturés.
- Légèreté et solidité : ces avantages majeurs sont une conséquence des substrats plastiques utilisés. Contrairement aux puces en silicium très fragiles, la robustesse mécanique des circuits plastiques est un atout majeur, en particulier pour les applications nomades.
- Facilité de fabrication et auto-assemblage : les semi-conducteurs organiques sont plus faciles et plus économiques à fabriquer, que ce soit en laboratoire ou en phase industrielle. Le génie chimique peut mettre au point des molécules qui s'auto-assemblent, et les techniques d'impression présentent déjà un fort rendement. Ces méthodes de fabrication tranchent avec les processus onéreux et complexes des technologies inorganiques (comme la lithographie,

⁴ Les chercheurs du CEA et du Fraunhofer ENAS pointent également le concept de "roll-to-foil" (de bande à feuille) qui permettrait de garder les avantages de la production en bande en annulant ses inconvénients (plissement et écrasement des feuilles de composants lors de l'enroulage).

⁵ "Organic Electronics Forecasts, Players & Opportunities", cabinet IDTechEx - octobre 2006 - http://www.idtechex.com/research/reports/organic_electronics_forecasts_players_and_opportunities_000117.asp

⁶ "Électronique imprimée, électronique organique : vers une nouvelle filière électronique?", rapport de l'Agence d'études et de promotion de l'Isère, 2009.

etc.) qui impliquent des infrastructures colossales (salles blanches) et de chauffer à de très hautes températures par exemple.

- **Les investissements et les coûts sont ainsi infiniment plus faibles** que dans la filière silicium : alors que l'investissement pour une usine silicium sur plaquettes de 300mm (technologies 45nm ou 32nm) se chiffre encore à environ **\$3 Mds**⁷, le coût d'une usine d'électronique organique peut être estimé entre **100 et 200 millions de dollars** (97 millions d'euros pour l'unité de production de Plastic Logic à Dresde). Ainsi, si les performances entre une puce silicium et un circuit organique restent difficilement comparables, le rapport coût/performance rend l'option organique pertinente pour des circuits de grande dimension. Cette technologie se révèle ainsi particulièrement accessible à des PME. Enfin, grâce aux outils d'impression, les temps de cycle entre la conception et la fabrication sont très courts (de l'ordre du mois), ce qui répond aux besoins de "customisation" croissants des produits et applications.

Cette technologie présente malgré tout certaines limites :

- Les matériaux organiques présentent des limites en terme de durée de vie, en particulier les matériaux optoélectroniques OLED et OPV. Ces dispositifs nécessitent le développement de solutions d'encapsulation très performantes qui sont encore coûteuses.
- L'électronique organique grande surface ne permet pas de réaliser des composants de forte densité de fonctions, elle est ainsi limitée en complexité et vitesse de fonctionnement, se rendant complémentaire de l'électronique silicium.
- Caractère durable : grâce à leur faible coût et à leur facilité de fabrication, l'industrie voit dans les semi-conducteurs organiques la possibilité de produire des dispositifs électroniques jetables (comme des puces RFID, batteries flexibles sur des cartes ou objets promotionnels, ou capteurs sur textile par ex). il conviendra de s'interroger sur l'aspect écologique du principe, même si l'option organique permet par la même occasion d'économiser l'extraction de métaux rares (platine, etc.) ainsi que les grandes quantités d'eau utilisées dans la microélectronique classique.

c) Les principales applications

Les technologies de l'électronique organique adressent quatre segments applicatifs principaux, basés d'un côté sur l'utilisation des composants optoélectronique OLED et OPV, et de l'autre sur les composants électroniques transistors (OTFT) et les capteurs.

- **Ecrans et éclairage** : la R&D se base sur le développement des diodes électroluminescentes organiques (OLED), avec lesquelles il est possible de fabriquer des dispositifs d'affichage remplaçant les écrans traditionnels à cristaux liquides. La matrice de pixels rouges, verts et bleus est fabriquée par une technique d'évaporation sous vide ou une technique d'impression à jet d'encre. Ces composants d'écran organique sont ainsi plus écologiques ; un autre avantage est que cette technologie est émissive et donne des couleurs plus saturées et un angle de vue plus large. Les solutions OLEDs blanches destinées à l'éclairage de grandes surfaces sont de plus en plus performantes. La société française Astrom Fiamm⁸ s'est déjà positionnée sur ce secteur et propose des éclairages OLEDs pour l'automobile et l'industrie du luxe. De son côté Osram (filiale de Siemens) a inauguré en Bavière la première usine de production de masse d'OLED à l'automne 2011. Dresde reste toutefois le pôle expert dans leurs développements (voir partie suivante).
- **Energie** : l'innovation consiste en la mise au point de panneaux solaires organiques (OPV), pouvant être flexibles et donc s'intégrer partout (sur des parasols, des tentes, des volets pliants, des vêtements). Ils présentent également un coût et un poids réduits par rapport à leurs corollaires en silicium, mais avec des performances encore inférieures. La firme Heliatek à Dresde annonce en mars 2012 une performance en hausse à près de 10%, ce qui égale

⁷ Selon l'ESIA, European Semiconductor Industry Association, 2009.

⁸ www.astrom-fiamm.com

presque celle des panneaux en silicium amorphe⁹. Les batteries imprimées et flexibles constituent également un champ de développement prometteur.

- System on Foil : la nouveauté est de réaliser sur des substrats flexibles des systèmes complets intégrant des fonctions de mesure, de logique, et d'énergie. Les transistors à effet de champ organique (Organic Field Effect Transistor, ou OTFT) et les capteurs imprimés sont les éléments de bases de ce segment. Ils permettent de développer des circuits électroniques flexibles pour des applications de matrices actives (ou "back-plane") pour l'adressage en particulier de matrice de capteurs. Les développements récents en OTFT permettent de réaliser des circuits de type CMOS (comme en microélectronique), permettant ainsi de réaliser des blocs logiques analogues et digitaux sur substrats flexibles. Les marchés visés sont les emballages intelligents, les patches pour la santé, les surfaces interactives, etc. Pour la France, le CEA Liten et sa spinoff ISORG sont déjà positionnés dans le domaine, développant des circuits organique imprimés CMOS et des photodétecteurs.
- Le papier électronique (e-paper), au potentiel fort mais qui tarde encore à se développer. La société Plastic Logic, que nous présenterons plus tard, s'est spécialisée dans ce domaine.

La R&D s'est ainsi développée, notamment en Allemagne, dans le secteur de l'électronique imprimée grande surface. Les progrès réalisés dans les techniques d'impression et les matériaux plastiques utilisés ont permis le développement d'une nouvelle filière industrielle à fort potentiel et complémentaire avec celles de l'électronique sur silicium. En effet, la filière organique serait bien adaptée aux applications se satisfaisant de performances réduites et privilégiant le bas coût, et donc mal couvertes par la technologie classique. Comme mentionné précédemment, l'électronique organique permet désormais l'intégration de plusieurs fonctions sur un même substrat et la conception de systèmes intégrés ou de capteurs intelligents (tendance More than Moore et Smart Systems). Ces "systems on foil" prennent la forme de capteurs intelligents souples, pouvant être insérés dans des textiles, ou collés sur des surfaces, pour des applications de contrôle de l'environnement extérieur (température, pression, etc.) ou de la santé. Récemment, le laboratoire d'application de Darmstadt (Hesse)¹⁰ a par exemple développé des lentilles de contact intelligentes basées sur un substrat organique souple et contenant un capteur de pression indiqué pour les problèmes de glaucome. Le centre de Ludwigshafen (Rhénanie-Palatinat) associe des chimistes (BASF), Philips et des constructeurs pour développer des toits de voiture OLED à luminosité variable.

C'est avec cette introduction d'éléments d'activité de R&D que nous comptons dresser un panorama actualisé du développement de cette filière en Europe, et plus particulièrement en Allemagne.

3. Panorama du développement technologique : un accent sur l'éclairage, les capteurs et le photovoltaïque organiques

Si l'Asie a consacré les plus hautes dépenses de R&D dans le domaine des technologies organiques pour l'affichage (écrans grande surface), et devance dans la production, l'Europe est bien positionnée dans le domaine de la R&D préindustrielle pour l'éclairage organique (OLED) et les puces organiques imprimés ("systems on foil"); les premières usines étant apparues en Allemagne, en Autriche et en France. En Asie, le nombre d'acteurs qui investissent sur ce secteur est moins important qu'en Europe et aux Etats-Unis, mais ce sont d'énormes conglomérats avec des moyens importants. En termes de dépenses, l'Asie arrive en tête en 2009 avec environ 55% des investissements mondiaux, ce qui est cohérent avec le fait que l'industrie de l'affichage LCD est déjà localisée en Asie et que la technologie des écrans organiques nécessite des équipements similaires.

La R&D dans ce domaine récent, en Allemagne et en Europe en général, est soutenue par l'Union Européenne qui a participé au financement d'une quarantaine de projets dans le cadre des 6ème et 7ème PCRD. L'analyse rapide de ces projets montre que l'Allemagne s'impose en nombre de projets portés, les Instituts Fraunhofer se montrant très actifs dans le domaine. Les autres Etats membres (notamment la France avec le CEA, les Pays-Bas avec TNO et Philips, et la Finlande avec

⁹ Annoncé sur le communiqué de presse d'Heliatek du 27/03/2012, et confirmé par Karsten Walzer, scientifique senior et manager de projet chez Heliatek, visite du 7/06/2012.

¹⁰ Présenté lors du symposium international des semiconducteurs (ISS 2012), Munich, mars 2012.

le VTT) s'insèrent également dans ces projets, le CEA participant à environ un tiers des initiatives. Par exemple, plus en aval de la chaîne de valeur, et assez structurante selon les experts franco-allemand, se développe l'initiative COLAE¹¹ (*Commercialization Clusters of OLAE : organic and large-area electronics*), initiative majeure pour le transfert de technologies industrielles dans la convergence entre électronique et plasturgie. Lancée en 2011 sous l'impulsion notable des pôles allemands d'Heidelberg et de Dresde, suivis par les français de Grenoble (CEA, Isorg, etc) et de Plastipolis (développement de matériaux plastiques), et les finlandais du VTT entre autres, elle est soutenue pour près de €4 M par la Commission Européenne (FP7-ICT) et regroupe 17 partenaires leaders du développement de ces technologies en Europe. Du fait de son positionnement sur l'éclairage basse consommation, le groupe néerlandais Philips est également un des industriels les plus présents, aux côtés des groupes allemands de la chimie.

Stimulées par des projets collaboratifs, plusieurs ETP (European Technology Platform) sur l'électronique ont ainsi commencé à intégrer des groupes de travail sur le domaine organique dès 2009. Si Photonics 21 est l'ETP qui a commencé à porter l'électronique organique au niveau européen en se spécialisant sur l'éclairage, d'autres plateformes comme l'EPoSS (intégration de systèmes électroniques intelligents) ou l'initiative commune ENIAC, l'intègrent dans leurs roadmaps. Un regroupement en tant que réseau technologique européen s'était également opéré sous la gouvernance des industriels au sein de l'Organic Electronics Association (OEA, issue d'une association allemande) et de la Plastic Electronics Foundation¹², avec l'objectif de définir une feuille de route pour coordonner la filière européenne et la rendre visible à l'échelle internationale. Pour mémoire, 3000 organisations sont actives en électronique organique ou imprimée dans le monde¹³, dont un tiers en Europe. Parmi les 1000 organisations européennes (département de grand groupe, PME, start-up ou laboratoire), environ un quart est implanté en Allemagne.

a) Focus sur l'état du développement et les acteurs en Allemagne

L'Allemagne, de par sa longue 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, s'est intéressé assez tôt au domaine de l'électronique organique par rapport à la plupart des autres Etats membres de l'UE, qui lui ont emboîté le pas vu le potentiel de la filière. Elle compterait ainsi plus de 200 entités actives sur ce domaine de R&D. Comme vu précédemment, la Finlande et la France pour les systèmes organiques intelligents, aux côtés de l'Angleterre pour la chimie des OLEDs, sont ceux ayant le plus rattrapé l'écart sur le terrain de la R&D appliquée, et se sont ralliés dans la structuration des réseaux collaboratifs cités.

Sur ce point Karl Léo de l'université technique de Dresde, et directeur de l'Institut Fraunhofer IPMS dédié à la photonique organique, est cité par les experts en tant que "fédérateur institutionnel", ayant piloté le montage de la première plateforme FOLAE (Flexible, Organic and Large Area Electronics) au niveau européen. Quelques mois plus tard, il présidait le premier salon professionnel "Plastic Electronics" associé à la conférence internationale du semi-conducteur SEMICON (octobre 2011). En décembre 2011, l'équipe de recherche saxonne menée par Karl Leo, Jan-Blochowitz Nimoth et Martin Pfeiffer a remporté le Prix allemand de l'avenir 2011, une récompense prisée outre Rhin. Le Président allemand avait décoré l'équipe pour son projet "l'électronique organique – plus de lumière et d'énergie à partir de couches minces de molécules". JB Nimoth et M Pfeiffer sont d'ailleurs les directeurs scientifiques et techniques de deux PME de valorisation basées à Dresde (Heliatek dans l'OPV, Novalled dans les OLED) qui sont dirigées par deux Français.

On constate ici, par le nombre d'organisations actives et ces différentes initiatives institutionnelles, que l'Allemagne joue un rôle de locomotive dans la structuration du secteur en Europe ; et au niveau de l'enseignement supérieur dans l'électronique organique, elle pointe à nouveau son avance avec plusieurs universités classées parmi les meilleures mondiales dans ce domaine. Les experts ont identifié celles en pointe sur les différentes déclinaisons de l'électronique

¹¹ <http://www.colae.eu/>, initiative paneuropéenne notamment présentée par Ralf Mauer à l'Innovation Lab d'Heidelberg, impliqué dans son développement et son modèle de partage de la propriété intellectuelle (voir : <http://www.innovationlab.de/en/innovationlab/projects/colae/>)

¹² <http://www.plastic-electronics.org/>, organe d'analyse sectoriel et d'appui, depuis rattaché à l'association industrielle SEMI

¹³ Printed, Organic & Flexible Electronics Forecasts, Players & Opportunities 2012-2022, Raghu Das and Peter Harrop, IDTechEx, juin 2012

imprimée, en citant dans les leaders l'Université technique de Chemnitz (Saxe) avec son Institut pour les Technologies de l'imprimerie et des Medias¹⁴, l'Université technique de Dresde (Saxe) (département de photovoltaïque organique¹⁵), l'Université technique de Darmstadt (Hesse) avec son département d'électronique imprimée¹⁶ et notamment deux groupes de recherche "cellules solaires en couches minces" et "électronique des composites", faisant partie du socle R&D du cluster d'Heidelberg. On voit ici se détacher les deux pôles de Heidelberg et de Dresde qui, basés sur deux compétences historiques différentes (l'imprimerie et l'électronique), se rejoignent sur ce secteur interdisciplinaire.

Carte des principaux acteurs allemands de l'électronique organique



Source: Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche, 2009.

Comme le montre la carte ci-dessus, l'Allemagne dispose par ailleurs d'une activité en électronique organique assez dense, tant au niveau de la recherche que de l'industrie. Le développement de cette activité s'appuie en effet sur plusieurs atouts énoncés par le Ministère fédéral de l'industrie et de la technologie (BMWi), à savoir la présence sur le territoire d'industriels de la chimie appliquée, des semi-conducteurs et des matériaux, offrant un savoir-faire complémentaire et mobilisable ; la présence d'équipementiers dans la plupart des techniques d'impression, notamment à Heidelberg, et des acteurs visibles de la microélectronique à Dresde ; enfin des structures de développement technologique et un travail collaboratif déjà développé entre les universités, les centres de recherche et les industriels. Malgré ces atouts, les autorités reconnaissent quelques faiblesses tenant à la

¹⁴ <http://www.tu-chemnitz.de/mb/PrintMedienTech/english.php>

Personne rencontrée : Pr. Reinhard BAUMAN, coordinateur du pmTUC et professeur à la TU Chemnitz

¹⁵ Personne rencontrée : Pr. Gianarelio CUNIBERTI, chaire Biomolécules et Électronique organique, TU Dresden

¹⁶ <http://www.mawi.tu-darmstadt.de/em> Personnes rencontrées : Pr. H. von Seggern, Dr. C. Melzer

dispersion des centres de recherche sur le domaine et à un certain manque de réactivité au niveau du transfert technologique (Acatech, 2011).

Au niveau industriel, plusieurs programmes de recherche partenariale ont été lancés par le BMWi dès 2009 pour tenter de fédérer ce tissu, notamment avec l'initiative Organic Photovoltaics (OPI, qui vise l'amélioration du rendement des cellules photovoltaïques organiques ainsi que l'accélération des processus de production - 60 M€ de l'Etat pour 300 M€ d'investissements par les entreprises), et la OLED Initiative pour soutenir le développement de la filière OLED, avec 100 M€ de fonds publics pour 500 M€ d'investissements privés. L'usine OLED d'Osram en Bavière et OPV d'Heliatek à Dresde, ouvertes respectivement fin 2011 et début 2012, sont les aboutissements les plus récents de ces programmes qui passent pour la première fois à une phase industrielle.

b) Le cluster de pointe d'Heidelberg (Forum Organic Electronics)

Le monde de l'imprimerie mise donc sur ce domaine de R&D. Les acteurs historiques du domaine, comme l'équipementier Heidelberg Druckmaschinen et le chimiste BASF, ont dans ce sens fondé en 2007 une plate-forme de recherche en partenariat avec l'université technique de Darmstadt (TUD) pour mettre au point des processus d'impression par rotatives sur matériaux fonctionnels (papier, films, cartes,...). Celle-ci a servi de base à l'Innovation Lab GmbH ouvert à Heidelberg en 2008, légitimant la même année la labellisation du pôle FOE (Forum Organic Electronics) en "cluster de pointe" (**Spitzencluster**¹⁷) par le gouvernement fédéral au titre de sa Stratégie High-Tech¹⁸. Il réunit ainsi les entreprises visibles BASF, Merck et SAP pour la R&D appliquée, ainsi que les universités de Heidelberg et de Karlsruhe.

- L'Innovation Lab (iL)¹⁹

Il a été fondé sous forme d'entreprise privée (régime "GmbH"), détenu à 50% par les entreprises BASF, Roche, Merck, SAP, Heidelberg Druckmaschinen, à 50% par les universités d'Heidelberg et de Mannheim. L'iL est dans les faits la plateforme de recherche collaborative et de valorisation du cluster de pointe FOE. A ce titre, il a bénéficié directement du budget et des subventions apportés au cluster, soit 80M€ entre 2008 et fin 2013 (apportés à parité entre industriels et BMBF). Le Land du Bade-Wurtemberg a de plus financé le bâtiment. De surcroît, les industriels locaux payent pour l'utilisation des équipements, même s'ils peuvent être subventionnés pour leurs projets (entre 40 et 50%, selon M. Gutfleisch, coordinateur scientifique de l'Innovation Lab).

L'Innovation Lab, résolument interdisciplinaire, compte en 2012 cent employés dont 70 chercheurs à plein temps. Le modèle de collaboration est celui de l'innovation ouverte et la gestion de la propriété intellectuelle est spécifiée au cas par cas dans les phases plus aval, dans les mêmes conditions que la plateforme européenne COLAE. L'iL dispose de 700m² de salle blanche et de 100m² de laboratoire de chimie dédié; il a même développé un laboratoire d'application dédié aux étudiants de master des universités partenaires en leur mettant à disposition des équipements à l'état de l'art (boîtes à gants pour la manipulation, rotative de production, etc). L'activité de ce laboratoire commun est divisée en 4 programmes de R&D : Logic & Mémoire, OLED, OPV, et capteurs organiques. En transverse à ces programmes, il développe 4 centres de compétence: synthèse et caractérisation des matériaux, équipements physiques, simulation, et morphologie.

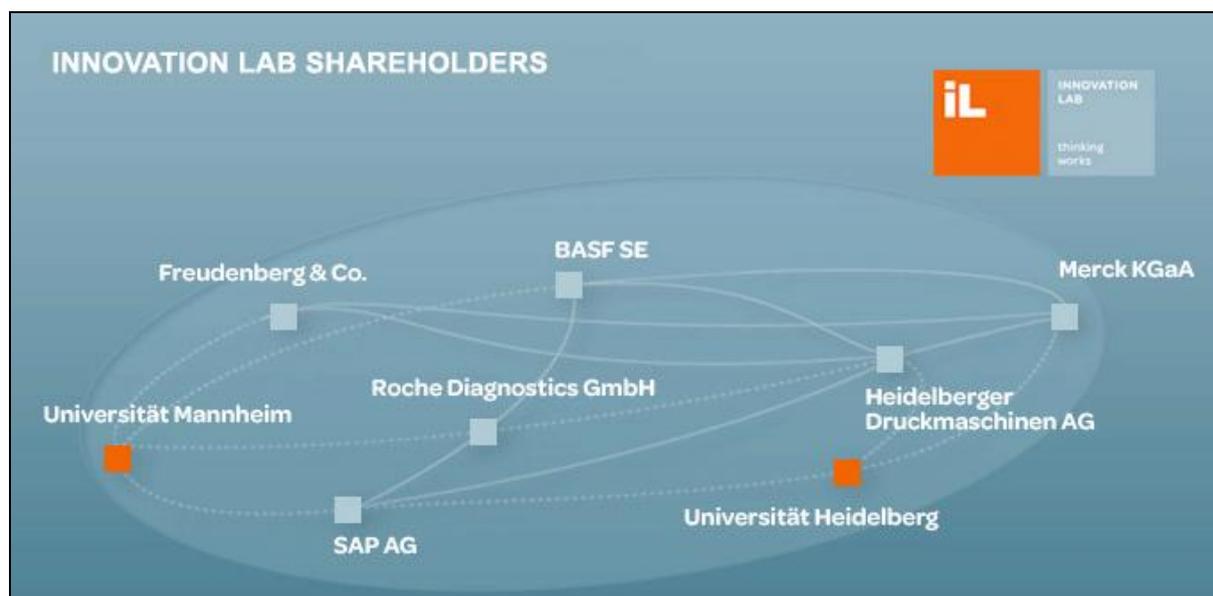
Selon les experts français, ces équipements de production, conçus en partie par Heidelberg Druckmaschinen, sont à la pointe de la technologie disponible et plutôt orientés vers la recherche fondamentale. Le centre dispose notamment d'un groupement d'équipement (un "cluster") qui permet de faire des dépôts sous vide auxquels sont connectés toute une batterie d'instruments de caractérisation. Une ligne de fabrication d'OLED par impression en "roll-to-roll" est aussi en cours

¹⁷ Les Spitzenclusters (clusters de pointe) sont une initiative issue de la Stratégie Hightech du gouvernement fédéral allemand. Le cluster électronique organique d'Heidelberg a fait partie des 5 premiers sélectionnés en 2008, 5 ont été ajoutés en 2010, et le troisième appel d'offre de l'initiative a labellisé cinq autres pôles au printemps 2012. Au final, chaque cluster sélectionné reçoit 40 M€ du gouvernement pour 5 ans, à condition que les partenaires économiques (entreprises, collectivité locales,...) apportent un montant équivalent.

¹⁸ Présentée sur <http://www.science-allemande.fr/fr/wp-content/uploads/2010/12/10-077-Hightech-Strategie-2020.pdf>

¹⁹ <http://www.innovationlab.de/en/homepage/> (en anglais). Personne rencontrée: Dr Martin Gutfleisch, coordinateur scientifique

d'étude, une ligne en "Foil-to-Foil" est en cours d'assemblage. Le coordinateur du pôle souligne que la dynamique collaborative s'est significativement améliorée depuis la labellisation du pôle en cluster de pointe.



Source : portail internet de l'Innovation Lab, 2012

- L'Institut des technologies d'impression (IDD) de Darmstadt²⁰ :

L'IDD est installé depuis 1953 dans l'Université technique de Darmstadt (TUD, département d'ingénierie mécanique), ce qui en fait l'un des plus anciens laboratoires dédié aux techniques d'impression. Il encadre 530 étudiants par an au titre de formations spécialisées, dont 40 exclusivement pour l'impression "électronique". Selon son coordinateur M. Sauer, sa vision est de "rendre chaque nouvelle technologie d'impression adaptée à l'industrie". Il est divisé en 3 groupes de R&D principaux : couleurs et qualité, technologies et matériaux, et techniques d'impression. Sa coopération est soutenue avec les entreprises Merck et Heidelberg via un laboratoire commun, notamment dans le projet "Madrix" 2^e génération²¹, accolé au cluster FOE. Il souligne également le besoin croissant d'interdisciplinarité entre physiciens, électroniciens et chimistes afin de faire face aux challenges d'innovation dans ce domaine.

- L'implication des grands groupes:

BASF concentre son effort dans le cadre du projet de recherche OPAL (*Oled for Appliances in the Lighting market*), avec des partenaires internationaux comme Osram (filiale de Siemens spécialisée dans l'éclairage), Philips, Aixtron ou Applied Materials. L'objectif est de développer une base scientifique et technologique de nature à favoriser la production de systèmes d'éclairage OLED en Allemagne. Dans ce cadre A. Schavan, Ministre allemande de l'enseignement et de la recherche, a inauguré à la fin de l'été 2011 la plus grande **ligne de production industrielle d'OLED, développée par Osram** à Ratisbonne (Bavière) pour un coût de 50 M€²². 18 millions ont été financés directement par le gouvernement, l'usine ayant embauché 200 nouvelles personnes. Elle lance ainsi les prémises d'une production industrielle de diodes lumineuses totalement organiques.

²⁰ www.idd.tu-darmstadt.de. Personne rencontrée : Dr. Hans Martin Sauer

²¹ Description sur : http://www.heidelberg.com/h/www/en/content/articles/press_lounge/company/research_and_development/071129_research_platform?mode=printable

²² Un article en ligne couvre cette ouverture (en allemand, avec photos de la production d'OLED): http://www.mittelbayerische.de/nachrichten/wirtschaft/artikel/neues_licht_aus_der_oberrpfalz/699447/neues_licht_aus_der_oberrpfalz.html

c) Le développement de l'électronique organique dans la Saxe

Les efforts importants consentis par les pouvoirs publics européens, fédéraux et locaux pour stimuler le développement économique de la Saxe ont permis d'attirer des centres de recherche et des entreprises importantes dans les secteurs des semi-conducteurs et du photovoltaïque. S'est d'abord opérée à partir des années 90 une première structuration du pôle autour de Siemens, Infineon et AMD en microélectronique²³, puis une diversification plus récente (microsystèmes électromécaniques, technologies organiques). Celle-ci fut notamment légitimée par la faillite de Qimonda (branche mémoires nanoélectroniques d'Infineon) qui avait perturbé le pôle saxon en 2009. Forte d'une expertise prononcée en électronique et d'un potentiel d'hybridations, le triangle Dresde / Chemnitz / Leipzig continue ainsi de se développer et tend à occuper une place de premier ordre dans le jeu mondial de l'électronique organique. Les acteurs les plus importants de la région (25 pour l'instant) ont créé le réseau Organic Electronics Saxony (OES) afin de fédérer le tissu local et stimuler les coopérations²⁴. Voici ci-dessous une représentation iconographique des membres fondateurs:



Source : portail internet du réseau Organic Electronics Saxony, 2012

D'ores et déjà, l'une des premières firmes de R&D à passer en phase industrielle dans ce secteur (à savoir Plastic Logic, spin-off du Campus de Cambridge), l'a fait dans la région de Dresde²⁵. L'histoire de cette implantation rappelle d'ailleurs celle des investissements en microélectronique décidés dans les années 90 par AMD et Siemens : similairement, 200 sites avaient été étudiés et comparés ; les Etats-Unis, Singapour et l'Allemagne avaient été sélectionnés, et c'est finalement la Saxe qui a été retenue pour l'implantation de ce site de production de modules d'affichage de 8000 m²,

²³ Le pôle saxon Cool Silicon a également été nommé cluster de pointe dès le premier tour de l'appel à projet en 2008. Si son objet principal reste la réduction de la consommation énergétique des puces électroniques, le volet organique s'y insère bien du fait des propriétés basse consommation des puces à base de polymères.

²⁴ Personne rencontrée : Dr Dominik Gronarz, coordinateur du réseau OES. Pour la présentation du réseau et la description des membres : <http://www.oes-net.de/de/mitglieder.html>

²⁵ Source : EETimes, 2010

légitimé par les compétences locales et les subventions disponibles. L'un des principaux arguments avancés pour ce choix était aussi la réactivité des autorités pour l'attribution du permis de construire, permettant un rapide démarrage des travaux, l'autre facteur déterminant ayant été celui du système de subventions mises en place par l'Etat fédéral (et les fonds européens FEDER) pour soutenir les filières technologiques dans cette région. En effet, les financements peuvent atteindre jusqu'à 50 % du projet (sur la partie recherche) en fonction de la taille de l'entreprise.

En outre, si les centres de recherche travaillant sur l'électronique imprimée sont nombreux en Allemagne, celui de l'Université de Chemnitz (le pmTUC²⁶) est très bien positionné. L'expertise y est ancienne, sachant que Dresde et Chemnitz constituaient déjà le centre majeur de microélectronique pour le bloc de l'Est. Ainsi, l'institut pour les technologies de l'imprimerie et des médias est très actif et promet un avenir brillant aux secteurs de l'imprimerie et de l'électronique. Parmi les membres du réseau local OES, nous présentons les plus visibles ayant conduit à la structuration du pôle saxon.

- Les centres de recherche saxons :

L'institut Fraunhofer IPMS (Institute for Photonic Microsystems) à Dresde²⁷

Dirigé par Karl Léo, il est le centre de R&D majeur pour les technologies OLED. Plus de 200 chercheurs conduisent des travaux sur les composants électroniques, mécaniques et optiques et sur leur intégration dans des dispositifs « intelligents ». Des partenariats sont noués avec des entreprises qui souhaitent améliorer leurs produits en intégrant des OLED ou des microsystèmes. Les compétences spécifiques du centre de recherche reposent sur les usages de la lumière.

Au sein de l'institut, la ligne de production COMEDD (Center for Organic Materials and Electronic Devices Dresden) a été ouverte en octobre 2008. Elle a été externalisée et devenue indépendante juridiquement en juin 2012, prenant ainsi la forme d'une entreprise de service et de production industrielle.

Les 900 m² de salle blanche de l'IPMS servent principalement trois activités :

- l'électronique organique appliquée à l'éclairage et la signalisation,
- le photovoltaïque organique (OPV),
- les applications d'OLED sur CMOS.

La ligne COMEDD offre quant à elle des équipements de R&D composés de deux lignes prototypes, trois lignes pilotes de fabrication, une ligne de fabrication dédiée au PV et à l'éclairage organiques, une ligne CMOS pour les OLED et une ligne prototype "roll-to-roll" pour substrats souples. Elle est devenue officiellement la ligne de production préindustrielle pour les produits développés chez Novald.

L'institut Fraunhofer IZM (Assembly and Packaging Technologies for Microsystems), à Dresde (plus Berlin et Munich)

Le Fraunhofer IZM est spécialisé dans l'optimisation de la performance et de la fiabilité des systèmes électronique et de leur packaging. Les travaux de recherche sont centrés sur :

- les nouvelles technologies pour une intégration et une miniaturisation poussée des systèmes micro-électroniques, avec un élargissement des fonctionnalités,
- les nouvelles techniques d'utilisation des matériaux flexibles dans la microélectronique,
- l'électronique grande surface,
- les capteurs intégrés,
- les systèmes de capteurs chimiques et biologiques.

²⁶ Personne rencontrée : Reinhard BAUMAN, coordinateur du pmTUC et professeur à la TU Chemnitz

²⁷ <http://www.ipms.fraunhofer.de/en.html> (en anglais). Actualité des activités du laboratoire sur : <http://www.science-allemande.fr/fr/?s=IPMS>

Le centre possède un équipement permettant de développer la production de systèmes électroniques souples et minces par impression "roll-to-roll". Par ailleurs, sur le site de Munich rebaptisé EMFT, le département « Polytronic Systems » développe des composants de technologie hétéro-intégration pour une production de systèmes flexibles, de l'électronique low-cost aux applications les plus complexes de l'électronique communicante.

Le pmTUC (Institute for Print and Media Technology) et le Fraunhofer ENAS (Electronics Nanosystems) à Chemnitz²⁸

L'Institut des technologies et médias d'impression, au sein de l'Université technique de Chemnitz (TU Chemnitz) travaille dans quatre domaines dédiés aux technologies d'impression, avec un nouveau département consacré à l'électronique imprimée. Plusieurs programmes de recherche sont en cours au pmTUC :

- Smart Object Production : projet de recherche avec la Fondation de Recherche Industrielle de Cologne sur le développement et l'évaluation de techniques de production par impression d'objets intelligents.
- Charged OFET's : coopération avec l'Université Johns Hopkins de Baltimore pour produire des transistors imprimés et chargés électrostatiquement.
- NanoINK : en collaboration avec GSB-Wahl et Printed Systems, le projet de recherche vise à développer des formulations d'encre d'impression conductrices à base de nanoparticules, utilisables dans le champ de l'électronique imprimée.

Le Fraunhofer ENAS, proche géographiquement de la TU Chemnitz, travaille sur la conception et l'intégration de nanosystèmes électroniques et électromécaniques, entre autres en technologies organiques et imprimées. Il a été créé en tant que spinoff du Fraunhofer IZM (test et fiabilité des systèmes) de Dresde et Berlin, en le spécialisant sur les systèmes intégrés et les NEMS. Porté par R. Baumann pour la partie "impression" et T. Gessner pour la partie NEMS, leur vision pour la filière imprimée est double : elle peut selon eux s'imposer rapidement comme incontournable dans la production à bas coût d'applications et capteurs intelligents dans plusieurs domaines de l'électronique (RFID, téléphonie, santé), tout en disant que les techniques "roll to roll" ne doivent pas être les seules mises en avant du fait de certaines limites (notamment la dégradation des composants lors de l'enroulement). Ils ont d'ailleurs développé un système de coupe automatique qui, plutôt que d'enrouler, permet d'empiler des feuilles de composants à la sortie de la rotative ("roll to sheet"). Ils développent aussi, en collaboration étroite avec l'équipementier 3DMicromac²⁹ situé sur le même campus, des machines de production modulaires offrant différents standards et interfaces de connexion, ce qui permet de rendre rentables ces équipements modernes et onéreux, même pour des séries limitées, et de s'adapter très rapidement à de nouveaux marchés. Leur défi à moyen terme est d'imprimer des composants photoniques en 3D, par l'utilisation de nano-sphères tridimensionnelles qui ont déjà fait l'objet de travaux concluants.

Dans le domaine de l'énergie, l'ENAS développe également ses propres batteries imprimées, ultra-fines et flexibles, récompensées "Idée de l'année" par le New-York Times en 2009 et un rapport "Innovations écologiques" de l'ONU. Dans cette voie, un nouveau centre de recherche en énergie organique va être mis en place à Iéna (Thuringe) par l'Institut Fraunhofer des technologies et systèmes céramiques (IKTS) et l'Université Friedrich-Schiller (FSU). Ses activités s'orienteront autour de la recherche en batteries performantes et ne contenant pas de matériaux toxiques, pour lesquelles de nouveaux matériaux pour électrodes à base de polymères seront développés. A terme, l'objectif est d'obtenir des batteries contenant des matériaux actifs uniquement organiques, sans presque aucun recours aux métaux, et produites grâce à des technologies d'impression³⁰.

²⁸ <http://www.enas.fraunhofer.de/en.html> (en anglais). Personne rencontrée : Dr. Andreas Willert, département des technologies fonctionnelles imprimées

²⁹ www.3d-micromac.com

³⁰ Voir : <http://www.science-allemande.fr/fr/actualites/materiaux-sciences-de-lingenieur/construction-dun-centre-de-recherche-en-energie-et-chimie-de-lenvironnement-a-iena/>

Le projet Printronics (Chemnitz)

Financé à hauteur de € 5,3 M par le BMBF entre 2006 et 2009, et d'un budget total de € 8 M, ce projet rassemblait les deux centres de recherche cités et cinq PME autour de Chemnitz (pmTUC, TU Chemnitz). L'objectif de l'alliance était d'établir un leadership sur le marché de l'électronique imprimée sur polymère à l'horizon 2020. Elle visait notamment l'industrie du jeu (cartes électroniques), et des marchés plus classiques comme ceux des capteurs, des circuits imprimés et des étiquettes RFID. Printronics a fait partie des projets financés dans le cadre du programme fédéral "Innovative Regional Growth Cores" qui vise à stimuler les alliances locales en faveur de l'innovation et le transfert technologique rapide vers le marché. Il a permis de renforcer l'expertise et la visibilité du Campus technologique de Chemnitz sur ces technologies et de développer les liens de coopérations public/privé entre le pmTUC, la TU Chemnitz, 3DMicromac, etc.

- Les entreprises technologiques en électronique organique

Heliatek : premier site de production industrielle de panneaux solaires organiques flexibles³¹

Heliatek GmbH (dont le CEO, T. Le Séguillon, est français, et le CTO, M. Pfeiffer, un proche collaborateur de Karl Léo cité plus haut) a inauguré en mars 2012 le premier site de production pour la fabrication de panneaux solaires organiques flexibles au cours d'une cérémonie présidée par le Ministre-Président de la Saxe³². La société, comptant en juin 2012 82 employés dont 25 ingénieurs R&D et 16 doctorants, a investi €14M pour la construction de cette ligne pilote de dimension intermédiaire (30 cm), à l'état de l'art, qui consiste en une ligne de dépôt sous vide en déroulé (Roll-to-Roll). Leur objectif est le prototypage sur cette ligne dès la fin 2012 afin de commencer un lancement commercial de leurs films solaires intitulés "énergie-2-Go" dès 2013. Heliatek vise également à lever les fonds nécessaires pour l'investissement dans une ligne de production de grande dimension (1m), développant ainsi la première ligne de production industrielle pour des panneaux organiques dans un processus de "roll-to-roll" en utilisant le dépôt sous vide à basse température - un processus qui selon les experts a le potentiel de réduire considérablement les coûts dans la production en série. L'entreprise espère finaliser cette levée de fond de € 60M d'ici la fin 2012. Les investisseurs actuels impliqués dans le projet sont de grandes entreprises allemandes via leur branche financière, comprenant BASF Venture Capital, Bosch Venture Capital, Innogy Venture Capital (RWE) et Wellington Partners. Par cette collaboration, Heliatek bénéficie déjà 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. BASF développe à cette fin de nouvelles matières organiques pour cellules solaires qui permettraient la production d'énergie solaire efficace et concurrentielle.

Alors que d'autres fabricants organiques reposent sur des processus d'impression, Heliatek est pour l'instant le seul acteur se spécialisant dans la fabrication de panneaux solaires à l'aide de dépôt sous vide de petites molécules (appelées "Smolecules", à base d'oligomères et de fullerènes) sur film souple de 250nm d'épaisseur active. Les avantages du dépôt sous vide résident dans un meilleur contrôle du processus de production, une plus grande efficacité des cellules photovoltaïques, et une durée de vie plus longue. Les tests montrent en effet une performance conservée à 95% après 1800 heures d'utilisation et une température de 85°C. De plus, les panneaux organiques ainsi produits sont 3 fois plus légers que leurs équivalents sur silicium. En mai 2012, Heliatek avait déjà annoncé un record de performance OPV à 10,7%.

Novaléd : un leader dans la R&D sur les OLED³³

NOVALED est engagée dans la recherche appliquée, le développement et la commercialisation de technologies et de matériaux exclusifs utilisant les OLED. Créée en 2003, elle est une spin-off issue à la fois de l'université technique de Dresde et du Fraunhofer IPMS, qui ont joué

³¹ www.heliatek.de. Personnes rencontrées : Dr Karsten Walzer, Manager de projets R&D, et Dr Bert Manning, chargé des relations avec les universités

³² Voir BE n°563 - <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/69423.htm>

³³ www.novaléd.com. Personne rencontrée : Dr Jan-Blochwitz Nimoth

le rôle d'incubateurs. En schéma similaire à Heliatek, le CEO, Gildas Sorin, est français, et le CTO rencontré dans leurs locaux, un proche collaborateur de Karl Léo.

Après une phase de lancement réussie, l'entreprise a poursuivi son développement en dépit de la crise. La TU Dresde a joué un rôle important pour mobiliser le capital risque requis, étant elle-même rentrée au capital via une filiale, à hauteur de 4%. Le Land de Saxe a également contribué au financement de l'entreprise à hauteur de 1,8 M€ sur 3 ans. Par ailleurs, les locaux sont loués dans un établissement appartenant à une organisation régionale mise à disposition des start-up (le "Biology Innovation Center"). La phase de lancement achevée, NOVALED a pu lever en 2005 €15M supplémentaire auprès de ses principaux investisseurs afin de financer la commercialisation de sa technologie. Les principaux investisseurs sont Crédit Agricole (Crédit Agricole Private Equity), la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC Entreprises Innovation), TechnoStart et TechFund Capital Europe. Ainsi, la moitié du capital est aux mains d'institutions et entreprises françaises, le reste étant réparti entre diverses banques et industriels allemands. Elle est aussi passée du statut de GmbH (SARL) à celui de AG (SA).

La société disposait ainsi en 2006 de 45 familles de brevets. En 2008, elle débute un partenariat avec St-Gobain pour développer la technologie "PIN OLED" et les OLED grande surface. En 2009, NOVALED lance une plateforme OLED Blanche avec Kodak, ainsi qu'une collaboration avec CDT et Sumitomo Chemicals pour l'amélioration des PIN OLED. En 2010, l'entreprise développe une coopération industrielle avec CIBA pour l'amélioration et la production des matériaux organiques dopants accélérant la conductivité des OLED. NOVALED commercialise désormais sa technologie "PIN OLED" auprès des fabricants d'écrans et des entreprises d'éclairage. Cette technologie, développée avec des matériaux de transport haute performance, améliore les propriétés des OLED et rend inutiles certaines étapes de traitement nécessaires pour des OLED classiques. Elle continue à travailler en lien étroit avec le Fraunhofer IPMS de Dresde et notamment sa ligne pilote COMEDD afin de tester la pré-industrialisation de ses produits. Novaled est encore majoritairement dédiée à la phase de R&D sur les OLED haute performance, lance des productions pilotes au Fraunhofer IMPS, et compte désormais développer ses propres capacités en interne à condition que le marché poursuive sa croissance.

Plastic Logic (UK / Dresde)³⁴

C'est l'une des premières firmes de R&D à passer en phase industrielle dans ce secteur de l'organique grande surface. Plastic Logic, spin-off de l'Université de Cambridge en 2000, s'est implanté à Dresde en développant un site ambitieux de production de modules d'affichage plastique (type Kindle) de 8000m². Ses sites de R&D sont à Cambridge et Boston (en plus d'un bureau en Russie), et Dresde devint le centre pour les études de procédés et la production. Pour O. Trovarelli, responsable de la R&D en procédés à Dresde, le défi majeur reste celui de l'intégration du système et du matériau, ces deux piliers représentant chez Plastic Logic, à l'instar des autres firmes du secteur, les deux domaines majeurs de R&D. Les activités menées à Dresde sont donc celles de la caractérisation, de l'ablation par laser et de la métrologie, en plus de l'optimisation des procédés et des recherches menés à Cambridge. Le site de Dresde a notamment développé un process à basse température pour obtenir une haute densité de transistors sur substrat organique, atteignant 1.2 millions de transistors sur polymère. Mais les investissements lourds en ont fait un pari risqué (la vision initiale était la vente de tablettes plastiques pour les administrations et les écoles, notamment avec la Russie), et les derniers résultats de l'entreprise britannique ne sont pas à la hauteur de l'investissement escompté dans ce marché de niche. Les développements futurs doivent se concentrer sur des substrats plus fins, de nouveaux formats (écrans larges) et l'optimisation des couleurs, ainsi que le développement d'écrans organiques tactiles pour la téléphonie.

³⁴ <http://www.plasticlogic.com/index.php>. Personne rencontrée : Dr Octavio Trovarelli, responsable de projets R&D

Article paru dans *le Monde* du 24/07/2012

[...] Novaléd, spécialisée dans la technologie OLED (particulièrement utilisée dans le domaine des écrans plats et des luminaires), est dans les starting-blocks. Première particularité de cette société qui emploie 130 personnes à Dresde (Saxe) : c'est un universitaire allemand, Karl Leo, qui l'a créée en 2001 pour valoriser une de ses innovations. Deuxième particularité : depuis 2003, c'est un Français qui la dirige. Sous la gouverne de Gildas Sorin, ce qui n'était à l'époque qu'un laboratoire est devenu une entreprise dotée de succursales au Japon et en Corée, et Samsung est l'un de ses principaux clients. Forts des premiers bénéfices réalisés en 2011, la direction et les fonds d'investissement qui accompagnent Novaléd depuis le début ont décidé de tenter l'aventure du Nasdaq. Le tout avec la bénédiction des pouvoirs publics locaux, qui n'ont jamais rechigné à cofinancer les investissements de l'entreprise. *"Ce qui intéresse Dresde et la Saxe, ce sont les emplois que nous créons et les impôts que nous payons. Nos clients sont en Asie, nous espérons être cotés aux Etats-Unis, mais notre développement profitera à l'Allemagne"*, explique Gildas Sorin.

Ce cas n'est pas un cas isolé. A l'autre bout de la ville, un autre Français, Thibaud Le Séguillon, est également à la tête d'une start-up créée par l'université de Dresde. Heliatek utilise la même technologie que Novaléd, mais, au lieu de produire de la lumière avec de l'électricité, l'entreprise fait l'inverse. Elle transforme l'énergie solaire en électricité. Créée en 2006, Heliatek n'a pas encore de client mais espère bien que demain ses semi-conducteurs montés sur des bandes de polyester rendront les panneaux solaires obsolètes, tout comme Gildas Sorin espère ranger nos luminaires au rayon des antiquités. Si ce dernier avait travaillé en Forêt- Noire (pour Thomson) avant de rejoindre Dresde, Thibaud Le Séguillon ne connaissait ni l'Allemagne ni l'industrie solaire. Grâce au réseau social LinkedIn, une chasseuse de têtes basée à Munich a repéré en 2011 ce Français spécialiste des circuits imprimés flexibles qui travaillait dans une multinationale à Shanghai et l'a convaincu de quitter les 15 000 salariés qu'il avait sous sa coupe pour prendre la direction d'une start-up de 80 personnes.

[...]

d) Les pistes stratégiques pour le développement de l'électronique organique en Allemagne

Dans son rapport sur le soutien stratégique de la R&D en électronique organique, Acatech formule plusieurs recommandations se résumant en trois points principaux : **renforcer la recherche partenariale et les alliances technologiques**, développer **l'attractivité des cursus universitaires en électronique organique et imprimé**, et **ne pas augmenter le nombre de centres de R&D** en Allemagne mais plutôt développer les instituts existants, leurs hybridations et leur masse critique.

Sur le premier point, Acatech recommande fortement aux acteurs allemands de renforcer la recherche partenariale entre les instituts - plus fondamentaux - de la société Max-Planck, de l'Association Leibniz et des universités d'une part, avec les instituts de la société Fraunhofer et de l'industrie d'autre part, afin d'améliorer les transferts de résultats de R&D pour les nouveaux produits de l'électronique organique (sur l'efficacité, la durée de vie, le coût des composants). Les experts allemands soulignent qu'idéalement, une recherche "sous un même toit" entre les grandes infrastructures (par exemple des Instituts Max-Planck et Fraunhofer fusionnés, comme suggéré par le rapport) serait plus efficace pour la valorisation des résultats par l'industrie et l'amélioration du transfert des solutions organiques développées, qui prend jusqu'à 5 ans actuellement. Acatech soulignait en 2011 l'importance d'utiliser des **structures de R&D ouvertes** et insiste sur la mise en place de **lignes pilotes partagées**. L'Innovation Lab d'Heidelberg et la ligne COMEDD de Dresde s'inscrivent bien dans cette politique.

Au niveau des alliances technologiques, il s'agit de **renforcer les alliances naissantes** pour stimuler l'innovation interdisciplinaire (comme l'alliance "Organic Light" ou celle sur le photovoltaïque organique mises en place par le BMWi), tout en continuant à **financer des projets annexes** et transversaux afin de créer un espace pour de nouvelles hybridations, telles que dans les piles organiques, les capteurs et les batteries imprimés. En raison du potentiel économique élevé et des effets de synergie transversale qui en découleraient, Acatech encourage le développement **d'écrans organiques** en Allemagne, même si les infrastructures demandées sont plus lourdes et l'Asie déjà bien positionnée. Les résultats incertains de Plastic Logic à Dresde compromettent cette vision, qui demanderait alors un plus fort soutien public pour émerger.

Au niveau de l'orchestration du tissu national, Acatech se prononce en faveur de la création d'un groupe de stratégie commun composé d'acteurs de la recherche et de l'industrie de l'électronique organique. Tourné autour de leurs interactions et complémentarités potentielles, ce groupe devra régulièrement présenter l'évolution des techniques et des équipements, et des décisions sur les objectifs de R&D prioritaires. Acatech voit la nécessité d'identifier de façon concertée les besoins émergents pour de nouvelles installations pilotes, afin d'obtenir financement et action. Il convient en outre au photovoltaïque et à l'affichage organiques d'être plus inclus dans les priorités stratégiques, ce qui est certes porté par les industriels et instituts appliqués (Heliatek, Plastic Logic, Fraunhofer IPMS), mais pas assez par la recherche fondamentale. Acatech recommande ainsi des réunions régulières de projets entre les acteurs des clusters actifs dans ces développements.

En termes de formation supérieure, Acatech recommande de développer l'attractivité des cursus en électronique organique, en encourageant l'insertion de cours spécifiques dans les filières classiques de microélectronique. Un Master "électronique organique" a ainsi été mis en place à la TU Dresde³⁵, et des échanges de jeunes chercheurs avec l'étranger (dont Grenoble) sont encouragés. Il s'agit également d'inciter les enseignants-chercheurs à promouvoir le travail interdisciplinaire (entre microélectronique classique sur silicium, chimie des polymères et électronique organique) et à éveiller l'intérêt des étudiants en présentant les possibilités d'emploi se développant dans ce secteur.

Enfin, Acatech recommande de ne pas augmenter le nombre de centres de R&D en électronique organique afin de ne pas affecter la visibilité et l'attractivité des centres actuels pour les coopérations scientifiques et économiques, que ce soit à l'échelle nationale ou internationale. En plus du renforcement des centres publics existants, des modèles de partenariats public/privé devront être renforcés et élargis avec les entreprises clés de l'électronique organique mondiale, notamment asiatiques. Cela permettra non seulement de financer les projets de R&D dans les centres mais également de renforcer le lien entre la science et l'industrie, et soutenir l'attractivité de la R&D dans le domaine de l'organique.

³⁵ Comme présenté par G. Cuniberti

Conclusion

La naissance de l'électronique organique et imprimée est considérée comme une révolution, le rapport coût/performance la rendant attractive pour de nombreuses applications. Néanmoins, ce secteur ne pourra répondre aux exigences du marché et des parties prenantes (régulateurs, financeurs, consommateurs) que s'il est capable d'apporter des solutions techniques fiables et durables. Affichant ce potentiel, l'électronique organique est devenue un domaine stratégique de R&D pour l'Allemagne qui est un des leaders en Europe, notamment par ses pôles à Heidelberg et Dresde, et qui se positionne déjà à l'échelon mondial. Un effort dans le développement interdisciplinaire de substrats organiques adaptés à l'électronique et les nouveaux procédés de fabrication mais également un renforcement du transfert de technologies, constituent les axes forts du développement de ce domaine de recherche outre-Rhin.

A l'issue de la mission de prospection en Allemagne il ressort ainsi les points suivants:

1 – Un secteur de R&D émergent aux nombreuses applications.

En utilisant des matériaux organiques montrant des propriétés conductrices et semi-conductrices, l'électronique organique est un champ de R&D prometteur pour les nombreuses applications qu'il offre, non couvertes par l'électronique classique sur silicium. Les propriétés conductrices de certains matériaux polymères ont permis la mise au point des OLED utilisées pour l'éclairage ainsi que d'écrans électroluminescents souples ou ultrafins (Novaled, Plastic Logic). Ils peuvent aussi être utilisés comme circuits intégrés, notamment pour des capteurs intelligents flexibles ou comme composants électroniques fonctionnels (résistances et condensateurs). Pour plusieurs analystes, le marché de l'électronique organique (actuellement évalué à \$12Mds) devrait connaître une croissance importante (entre x3 et x10 d'ici à 2020) poussée par les fonctionnalités nouvelles et le besoin d'économie d'énergie et de métaux rares dans l'électronique. Ceci devrait également se réaliser par le développement de nouvelles applications dans des secteurs traditionnellement non intégrateurs de composants électroniques tels que la santé (laboratoires sur puce, capteurs), l'édition (e-paper), l'éclairage, l'emballage (puces RFID), en plus du marché des applications électroniques dites traditionnelles.

2 - Le constat d'une avance assez nette en Allemagne.

Du fait de son expertise en chimie et de son intérêt de longue date dans le développement des technologies photovoltaïques, l'Allemagne a acquis une avance dans l'industrialisation de l'électronique organique comparativement aux autres Etats européens. L'atout de l'Allemagne est en effet surtout basé sur le développement rapide d'un tissu industriel fort dans ce domaine (en particulier la chimie, mais aussi les équipementiers de l'impression), et sur les liens tissés avec la recherche. En se dotant d'un réseau de laboratoires d'excellence et d'instituts de recherche à la pointe des applications dans le domaine, l'Allemagne semble ainsi jouer un rôle moteur dans la structuration du secteur en Europe, notamment via l'association. Le pays s'est aussi lancé dans des efforts au niveau de l'enseignement supérieur dans l'électronique organique en pointant à nouveau son avance avec plusieurs universités classées parmi les meilleures mondiales dans ce domaine et la mise en place de masters spécialisés, de doctorats (Université d'Heidelberg, TU Dresde) et de Masters Erasmus Mundus pour attirer les talents étrangers. Si la recherche est également de qualité chez ses voisins européens (France avec le CEA et le CNRS, Angleterre avec Cambridge et Plastic Logic), elle était restée plus longtemps concentrée sur le stade fondamental et moins systématiquement sur le transfert de technologies, comme il est question dans les pôles allemands observés.

3- Le renforcement de deux clusters en R&D.

Les pôles d'Heidelberg-Darmstadt et de Dresde-Chemnitz, basés sur des compétences historiques différentes (respectivement imprimerie et électronique), se rejoignent sur le secteur interdisciplinaire de l'électronique organique et en sont les deux clusters les plus visibles outre Rhin.

Heidelberg a été labellisé « cluster de pointe » (Spitzencluster) par le gouvernement fédéral au titre de sa Stratégie High-Tech. Doté d'entreprises locales de la chimie et de l'équipement et d'une plateforme de coopération moderne, le cluster est en possession d'un équipement performant pour faire du prototypage en petite série et abolir la frontière entre ligne pilote et ligne de production.

Forte d'une expertise en électronique et d'un potentiel d'hybridations, le triangle Dresde / Chemnitz / Leipzig (Silicon Saxony) continue également à se développer et tend à occuper une place de premier ordre dans le jeu mondial de l'électronique organique. Le cluster saxon a également été nommé « cluster de pointe » dès le premier tour de l'appel à projet³⁶. Si son objet principal est la réduction de la consommation énergétique des puces électroniques, le volet électronique organique s'y insère naturellement du fait des propriétés basse-consommation des puces à base de polymères.

4- Une demande de plus grande interdisciplinarité et des opportunités de coopération malgré des enjeux économiques forts.

L'orientation des deux pôles allemands illustre l'exigence d'interdisciplinarité demandée pour mener à bien le développement de ce domaine de R&D. Les experts allemands partagent régulièrement leurs expériences sur les efforts engagés pour rapprocher les laboratoires de chimie (R&D sur les encres, les substrats plastiques) et ceux de physique (problématiques d'architecture électronique). Selon les domaines, cela pourrait ouvrir des possibilités de coopération entre les chimistes allemands et les électroniciens français, voire entre laboratoires respectifs d'architecture de circuits adaptés. Cependant, il apparaît que le gros potentiel de marché couvert par l'électronique organique rend la coopération difficile au niveau industriel. Il n'en demeure pas moins que des possibilités de partenariats se développent, à la fois avec le Groupement de Recherche (GDR) géré par le CNRS et les laboratoires du CEA dans le cadre du rapprochement voulu entre Grenoble et Dresde dans le domaine de la micro/nanoélectronique.

En conclusion, bien que surveillant de façon continue les développements réalisés en Asie (Corée du Sud, Chine, Japon), l'Allemagne entend rester un acteur majeur et structurant dans ce domaine au sein de l'Europe. Sous l'impulsion notable des pôles allemands d'Heidelberg et de Dresde, suivis par les acteurs de Grenoble (CEA, Isorg...), une initiative structurante a été lancée en 2012 pour accélérer la commercialisation et l'intégration des produits de l'électronique organique en favorisant la collaboration des clusters industriels en Europe (COLAE). Dans cette voie, la structuration récente du paysage français (GDR, association d'industriels - AFELIM) donne une plus grande visibilité aux acteurs de l'électronique organique française et pourrait contribuer à renforcer la légitimité d'un partenariat franco-allemand dans ce domaine.

³⁶ Intitulé "Cool Silicon", <http://www.cool-silicon.de/en> (en anglais)

Annexe 1 : Panorama synthétique du secteur en France

La filière organique en France est plus récente et s'est structurée plus récemment sous l'impulsion des laboratoires majeurs et des industriels. Quelques centres de R&D sont ainsi reconnus au niveau international et une association professionnelle a été développée en 2011, signe d'une visibilité croissante.

a) les laboratoires visibles et le GDR électronique organique

Le CEA LITEN³⁷ (Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies Nouvelles, Grenoble) est cité par les experts allemands comme le laboratoire français visible dans le domaine de l'électronique organique. L'expertise du LITEN est centrée sur le développement des procédés de fabrication, par voie d'impression, de composants sur substrats flexibles. Le CEA-Liten adresse ainsi les composants et transistors à effets de champs, les composants passifs et les capteurs réalisés par impression pour des applications flexibles, ainsi que les composants imprimés OPV (avec l'INES) et les batteries organiques pour les fonctions énergies sur substrats flexibles. Les compétences mise en œuvre aux LITEN couvrent la formulation des encres, le développement des procédés d'impression pour l'optimisation des performances des composants, l'architecture et le test des composants et des circuits, l'encapsulation et l'intégration aux produits "Systems On Foil".

Le CEA-Liten a récemment développé une technologie CMOS organique imprimée (intégration de transistor de type n et p) avec des performances en mobilités similaires à celle du silicium amorphe. Un des verrous technologiques adressé par le CEA-LITEN est l'impression et la structuration de semi-conducteurs organiques sur de grandes surfaces. Le LITEN est à l'origine de la création en 2012 de la plateforme d'impression **PICTIC**, ligne pilote de développement et de prototypage dédié à l'électronique flexible. PICTIC est cofinancée par la région Rhône-Alpes et les fonds FEDER, c'est l'une des plateformes européennes ouverte aux industriels pour la promotion de produits intégrant de l'électronique flexible, en tant que partie du projet COLAE. Sa spécificité est de fonctionner suivant un mode Sheet-to-Sheet en grande dimension (320mm x 380mm). Le LITEN est également à l'origine de la start-up ISORG qui développe et commercialise des capteurs optiques imprimés sur substrat plastique.

. Le CEA LEPO³⁸ (Laboratoire d'Electronique et nanoPhotonique Organique - Paris) a également développé des activités de R&D dans ce domaine, notamment via son groupe "semi-conducteurs organiques", groupe mixte CEA-Paris VI (UMR 711)

L'Université de Bordeaux a entrepris de regrouper ses efforts dans le domaine de l'électronique organique grâce à l'Equipex ELORPrintTEC piloté par le PR. Hadziioannou et le Labex Amadeus dirigé par le Pr. Duguet. Les laboratoires de chimie (LCPO, ISM et CRPP) et d'électronique (IMS) collaborent sur l'Etude et Développement de Nouveaux Matériaux pour l'Electronique et leur intégration dans les composants et systèmes organiques. Cette recherche est rendue possible grâce au soutien du CNRS, de la région Aquitaine, de l'ANR, de l'Union Européenne et aussi d'Arkéma et de Rhodia/Solvay. Les applications visées aujourd'hui sont, outre les diodes électroluminescentes, les cellules solaires photovoltaïques et les transistors, étudiés sous l'angle de l'intégration fonctionnelle. Un **GDR Electronique Organique**³⁹ a été créé pour lier les laboratoires français du domaine, dirigé par Lionel Hirsch de l'IMS.

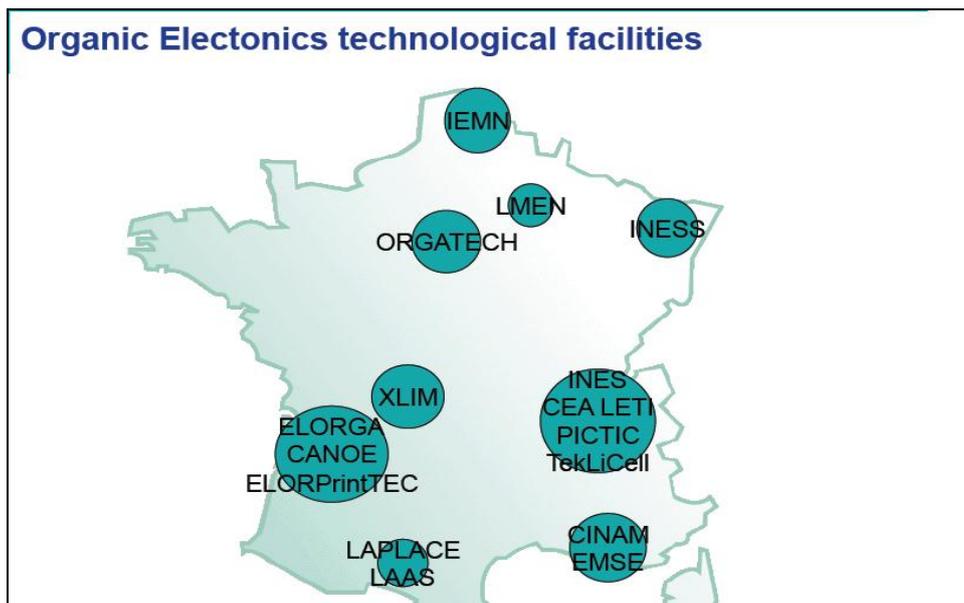
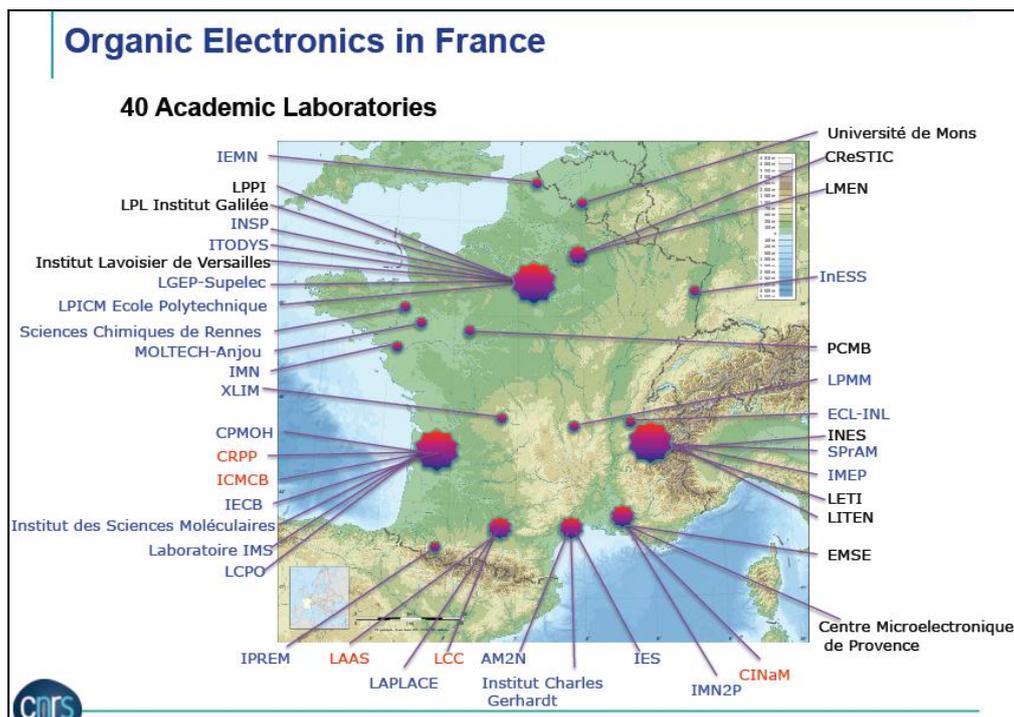
Le CEA INES (Institut National de l'Energie Solaire, Le Bourget du Lac) mène des activités de R&D sur les cellules photovoltaïques organiques. L'équipe du CEA développe des cellules et modules OPV sur films plastiques flexibles qui combinent les avantages de faible coût matière, faible poids, facilité d'intégration. L'équipe a déjà fait la démonstration de fabrication de modules OPV par des technologies d'impression bas-coût (Roll-to-Roll et Jet d'encre). L'amélioration de la durée de vie des dispositifs (cellules et modules) est un point essentiel pour la diffusion large de cette technologie sur lequel travail l'INES-CEA.

³⁷ <http://www-liten.cea.fr/>

³⁸ http://iramis.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_groupe.php?id_groupe=154

³⁹ http://www.ims-bordeaux.fr/GDR_EO

Cartes des laboratoires puis des plateformes technologiques de l'électronique organique en France



Source : CNRS, 2012.

Les 3 centres principaux sont donc ceux de la région parisienne, de Grenoble/Chambéry et de Bordeaux, auxquels on peut ajouter ceux de Nice et de Toulouse. C'est ce que l'on retrouve bien au niveau des laboratoires comme des plateformes technologiques.

b) la filière industrielle structurée par l'Afélim

L'Afélim⁴⁰, association française de l'électronique imprimée fondée en 2011, regroupe un réseau d'entreprises implantées en France et qui exercent une activité dans le domaine de l'électronique organique ou imprimée.

Née de la volonté des laboratoires, des collectivités et des industriels d'organiser la filière française de l'électronique imprimée, elle représente tous les métiers de la chaîne de valeur. L'Afélim est présidée par Jean-Yves Gomez, PDG de l'entreprise ISORG, spinoff du CEA LITEN en fort développement et spécialisée dans les capteurs optiques organiques. L'Afélim regroupe déjà une vingtaine de membres, dont les principaux sont le CEA LITEN coté recherche, au coté de grandes firmes comme Arkema ou encore Dupont du côté industriel, d'autres pôles de compétitivité complémentaires comme Plastipolis (R&D en matériaux et injection plastique, Ain) et de PME. Une partie significative des membres actuels sont localisés dans le pôle technologique grenoblois, lieu d'origine de l'initiative, et est en phase de s'élargir.

Membres actuels de l'Afelim



Source : portail internet de l'Afelim, septembre 2012

⁴⁰ www.afelim.fr/