

# Technologie additive : Impression de matériaux par jet d'encre pour l'électronique imprimée

M. Camara<sup>a</sup>, N. Loganathan<sup>b,c</sup>, A. Fischer<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> ISEP, Institut Supérieur d'Electronique de Paris, 10 Rue de Vanves, 92130 Issy-les-Moulineaux, France

<sup>b</sup> Université Sorbonne Paris Nord, Centrale de Proximité en Nanotechnologies de Paris Nord, 99 Avenue Jean Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

<sup>c</sup> Université Sorbonne Paris Nord, Laboratoire de physique des laser, 99 Avenue Jean Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

Contact email : mariam.camara@isep.fr

Nous présentons un enseignement sous forme de cours, Tps et projets tutorés sur le domaine de l'impression jet d'encre de matériaux pour l'électronique imprimée (réalisation de capteurs et d'OLED (organic light-emitting diode)). Nous aborderons avec les étudiants les enjeux de l'électronique imprimée comme fabrication additive ainsi que ses caractéristiques (Encre-Tête-Substrats). A travers les projets tutorés et les travaux pratiques, nous aborderons en salle blanche la technique de dépôt de matériaux par jets d'encres : de la conception à la caractérisation des couches imprimées en passant par la réalisation : traitement pré et post impression, mesure d'épaisseur et de résistivités d'encres conductrices.

## I. Introduction

Dans le cadre du programme pédagogique de la Licence Professionnelle Electronique, Optique et Nanotechnologies de l'IUT de Villetaneuse, une formation innovante a été montée en collaboration avec l'Institut Supérieur d'Électronique de Paris (ISEP) et cofinancée par la Coordination Nationale de Formation en Microélectronique (CNFM) pour développer au sein de la Centrale de Proximité de Paris en nanotechnologie de Paris Nord ( C(PN)2 ) un ensemble de cours, Tps et projets tutorés portant sur la fabrication additive par technologie jet d'encre de matériaux pour des applications à l'électronique, l'optoélectronique et la microélectronique. Le thème choisi est la fabrication de capteurs, mais en le recentrant sur leur fabrication par une technologie additive plus précisément l'impression jet d'encre.

La Licence Professionnelle Électronique, Optique et Nanotechnologies forme des techniciens salle blanche pour la microélectronique, la photonique et la R&D en les préparant à des techniques de pointes comme les dépôts de couche mince, la photolithographie, la gravure humide et sèche et différents types de caractérisation électriques, optiques et structurelles.

Le programme pédagogique est conçu dans le but de répondre aux besoins industriels et de permettre aux étudiants d'avoir une insertion professionnelle rapide. Aujourd'hui, un des besoins industriels identifiés est le passage direct de la conception à la fabrication sans étape intermédiaire, sans outillage.

Dans cette optique et à travers un cours sur les capteurs et des projets tutorés (100h), nous avons choisi d'utiliser la thématique de technologies additives plus particulièrement l'impression de matériaux par jet d'encre pour la réalisation de composants.

## II. Organisation du cours, des Tps et des projets tutorés

La notion de réalisation de composants fait intervenir une part importante d'expérimentation par des travaux pratiques et des projets tutorés sur la thématique abordée. Dans le cadre de la technologie additive utilisée, un cours de 3h est prévu pour aborder la théorie des capteurs, les enjeux des technologies additives, les caractéristiques d'une technologie en particulier : l'impression de matériaux par jet d'encre en abordant les types de substrats, les types de matériaux (encres), les machines d'impression ainsi que leur dépendance et influence sur les performances du composant.

Les travaux pratiques (3 séances de 4h) couvrent la prise en main des machines d'impression par l'optimisation des paramètres d'impression (forme d'onde, distance entre les gouttes, fréquence d'éjection), le design et la réalisation de motifs conducteurs (lignes conductrices (fig.1), l'optimisation du traitement post-impression (recuit) et la caractérisation des couches imprimées (électrique et optique). Ils permettent aux étudiants de mettre en évidence la nécessité de maîtriser le triptyque encre-tête-substrat abordée en cours pour une qualité d'impression optimale et donc des caractéristiques à la hauteur de l'attendu en termes d'épaisseur, de conductivité, de performance en générale pour les matériaux conducteurs.

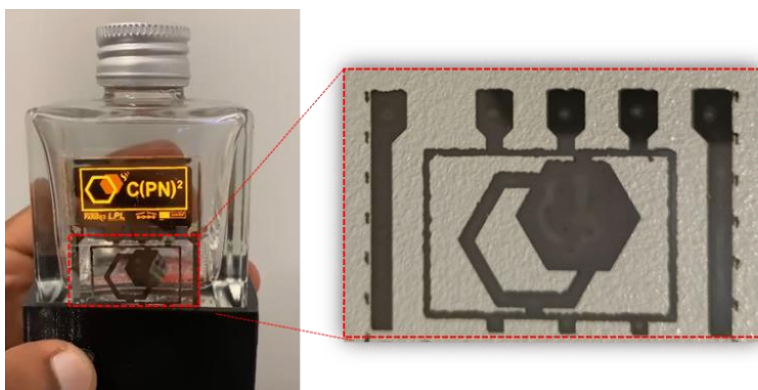


Fig.1. Motifs conducteurs en Argent réalisés en salle blanche de la C(PN)2 par impression jet d'encre pour l'allumage d'une OLED logotype.

Les projets tutorés (100 h) sont proposés dans la thématique de l'impression jet d'encre pour la réalisation de diodes électroluminescentes organiques polymère (poly-OLED) (fig.2). Ces projets commencent par une prise en main de la machine d'impression en optimisant les paramètres d'éjection d'encres conductrices.

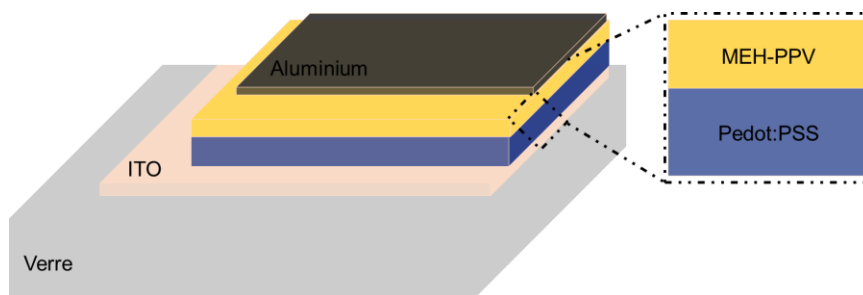


Fig.2. Structure des OLED avec un focus sur les polymères formulés en salle blanche de la C(PN)2 pour l'impression jet d'encre.

Après une étape d'optimisation des paramètres d'éjection d'une encre constituée par un mélange de polymère Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) - poly(styrenesulfonate) (PEDOT-PSS), elle est ensuite imprimée sur un substrat verre/ oxyde d'indium-étain (ITO) pour constituer la couche d'injection des trous de l'OLED (fig.3). Le traitement post-impression de la couche imprimée est une étape importante pour la qualité de l'impression.

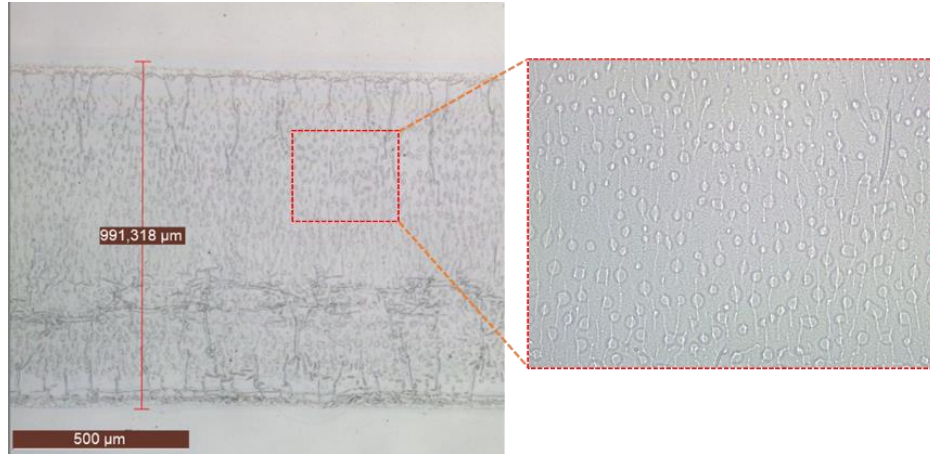


Fig.3. Encre de PEDOT-PSS imprimée (épaisseur 300 nm et recuit à 100°C pendant 15mn) par jet d'encre sur un substrat de verre/ITO dans la salle blanche de la C(PN)2.

L'encre de Poly[2-methoxy-5-(2'-ethylhexyloxy) -1,4-phenylene vinylene] (MEH-PPV) utilisée pour la réalisation de la couche émettrice de l'OLED est mise à la disposition des étudiants pour l'impression. Cette encre a été formulée dans la salle blanche et caractérisée au spectrofluoromètre (fluoromax-4 spectrofluorometer) pour déterminer sa longueur d'onde d'émission et ses paramètres d'excitation (fig.4).

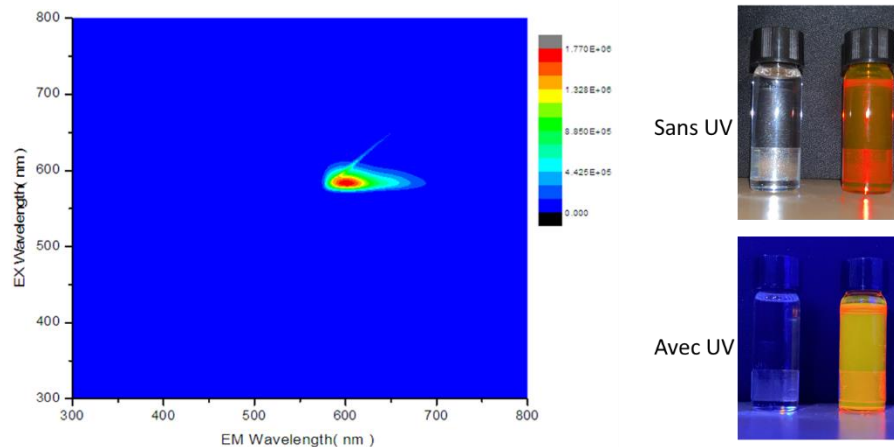


Fig.4. (a) Mesure 3D de la longueur d'onde d'émission de (b) l'encre de MEH-PPV formulée pour l'impression jet d'encre dans la salle blanche de la C(PN)2 en fonction de son excitation (longueur d'onde d'émission MEH-PPV à 600nm).

Chaque couche sera mesurée en termes d'épaisseur avec un profilomètre Alpha-step-IQ. Les composants réalisés avec ces différentes couches imprimées seront ensuite caractérisés pour évaluer leurs performances électrique et optique.

Afin d'arriver à ce dernier, nous vous présentons dans la section suivante la méthodologie adoptée.

### III. Méthodologies appliquées à l'impression jet d'encre durant les projets

Les machines d'impression jet d'encre utilisées dans le cadre des Tps et des projets tutorés sont la Dimatix DMP 2850 et la DMP 2831 financée par la CNFM (fig.5). Elles permettent une fabrication numérique, sans contact et additif (1)(2) mais présentent des inconvénients en termes de robustesse et de stabilité du processus. En conséquence, avant toute impression, les substrats sont nettoyés dans des bains ultrasoniques suivant une procédure de nettoyage bien définie.

Les machines d'impression sont des imprimantes fonctionnant avec la technologie de la goutte à la demande et une tête d'impression de 16 buses. L'éjection de l'encre est commandée par une commande piézoélectrique. Le procédé jet d'encre doit être optimisé pour obtenir une seule gouttelette par buse, à bonne distance du substrat.

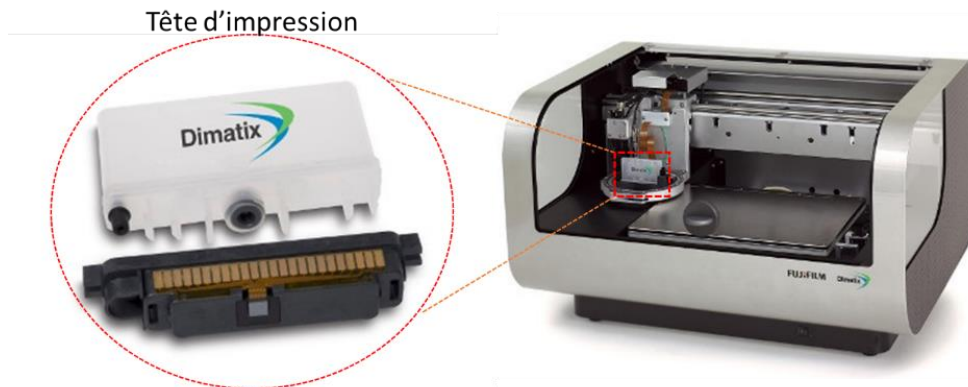


Fig.5. Machine d'impression jet d'encre Dimatix DMP2850 disponible et utilisée pour l'impression de matériaux dans la salle blanche de la C(PN)2 (3).

Les paramètres d'éjection de chaque matériau sous tests (encres polymères et conductrices) doivent être optimisés pour une impression optimale. La difficulté de cette étape réside dans le contrôle de tous les paramètres permettant une éjection optimale (fig.6).

Afin d'optimiser les séances de Tps et de permettre aux étudiants de réaliser toutes les étapes de l'impression, la forme d'onde de référence pour la commande piézoélectrique de l'éjection de chaque matériau est fournie. Les seuls paramètres que les étudiants auront à optimiser seront la tension et la fréquence d'éjection.

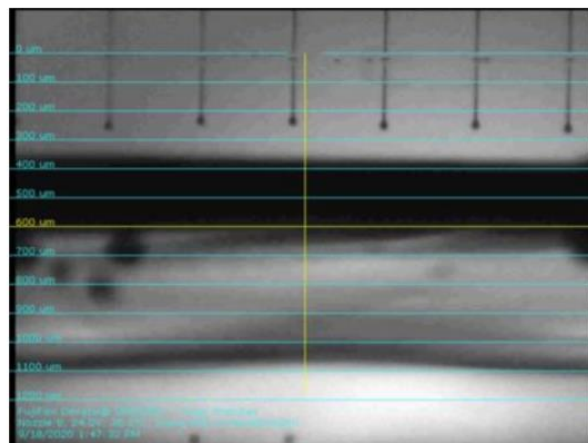


Fig.6. Éjection de l'encre conductrice sous test par la machine Dimatix présente en salle blanche de la C(PN)2.

Pour la qualité de l'impression, les températures de recuits de chaque matériau seront communiquées. A cette étape, les étudiants travailleront principalement sur l'optimisation de la distance entre les gouttes et l'impression des motifs dessinés sur le logiciel embarqué de la Dimatix. Il s'en suivra une étape de caractérisation électrique et optique pour évaluer les performances des composants.

L'évaluation est faite à chaque étape du processus par le billet d'un document structuré à compléter tout au long du TP. Les projets tutorés sont quant à eux évalués sous format de rapport guidé par un ensemble de questions abordées tout au long du processus et une présentation orale des expériences et résultats.

#### **IV. Conclusion**

Nous proposons un enseignement sur une technologie additive qui est l'impression jet d'encre. Cet enseignement est axé principalement sur une part importante de procédures expérimentales sous forme de Tps et projets tutorés pour l'électronique et l'optoélectronique.

Ces expérimentations en salle blanche permettront aux futurs techniciens de la Licence professionnelle Electronique, Optique et Nanotechnologies d'allier savoir et savoir-faire sur une technologie de fabrication additive en forte croissance dans plusieurs domaines d'applications notamment en aéronautique, en automobile, en médecine (4).

#### **Remerciements**

Nous remercions le GIP-CNFM pour son soutien financier accordé au pôle parisien du CNFM, le CEMIP, en vue de l'acquisition des machines d'impression jet d'encre destinées à la centrale de Proximité en Nanotechnologie de Paris Nord.

#### **Références**

1. Sridhar, A.; Blaudeck, T.; Baumann, R.R. Inkjet printing as a key enabling technology for printed electronics, *Material Matters* 2011, 6.
2. Singh, M.; Haverinen, H.M.; Dhagat, P.; Jabbour, G.E. Inkjet printing – Process and its applications, *Advanced Materials* 2010, 22, 673-685. doi: 10.1002/adma.201090011. J. Doe and R. Hill, Title, *J. Electrochem. Soc.*, 152, H1902 (2005).
3. Dimatix Materials Printer DMP 2850 website : <https://asset.fujifilm.com/www/us/files/2021-04/c80cdd17080a06095c34a26d6221c81a/PDS00085.pdf> (Accès octobre 2021)
4. La fabrication additive en quelques mots : website : <https://www.la-fabrication-additive.com/la-fabrication-additive-en-quelques-mots/#:~:text=La%20fabrication%20additive%20d%C3%A9signe%20,partir%20d'un%20objet%20num%C3%A9rique.> (Accès octobre 2021)