

TP découverte : métallisation d'une pièce en polymère

T. Gerges, P. Lombard, B. Allard, M. Cabrera

Université de Lyon, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, École Centrale
Lyon, CNRS UMR 5005, Ampère, Lyon, France

Pôle CNFM de Lyon, CIMIRLY

Contact email : tony.gerges@insa-lyon.fr

La formation spécialisée en plastronique à Lyon propose aux étudiants de découvrir les étapes fondamentales de cette technologie dans un environnement équipé et adapté pour stimuler leurs capacités et leur curiosité. Un travail pratique de 4 h leur offre la possibilité de découvrir la procédure et les différentes applications de multiples techniques liées à la métallisation autocatalytique et la caractérisation physico-chimique. À l'issue de ce travail, les étudiants sont capables de fournir une pièce métallisée et caractérisée, ainsi qu'un rapport détaillant leurs analyses et observations sur la méthodologie et les résultats, et soutenus par une bibliographie. Cet article décrit les étapes du travail expérimental, dont l'objectif est de réaliser un dispositif concret qui éveille l'intérêt de l'étudiant, en limitant la complexité à un niveau raisonnable.

I. Contexte et principe du projet

La plastronique constitue un nouveau champ technologique qui sollicite l'intérêt croissant des étudiants et des industries. Depuis 2018, les étudiants issus de Master 1ère année ou de 2ème année de cycle ingénieur ont la possibilité d'intégrer la formation spécialisée en Plastronique à Lyon (1,2). Cette formation couvre des connaissances allant des matériaux, à la chimie, la plasturgie, la conception mécanique 3D, la caractérisation physico-chimique de surface, etc.

La plastronique 3D permet de doter un objet polymère d'un circuit électronique fonctionnel. Cela permet de combiner plusieurs fonctions dans un seul dispositif, ce qui permet d'intégrer plus de fonctionnalités hétérogènes : électronique, mécanique, RF, thermique, etc., tout en réduisant le nombre de composants facilitant ainsi les assemblages. La figure 1 montre le principe de fonctionnalisation d'une pièce plastronique. La première étape est la fabrication du support polymère : soit par impression 3D pour une petite série de pièces, soit par l'injection thermoplastique ou thermoforme pour une production importante de pièces. La deuxième étape est la réalisation du circuit électronique sur la surface du polymère par une métallisation cuivre de surface. Enfin, la dernière étape est le report de composants sur les pistes.

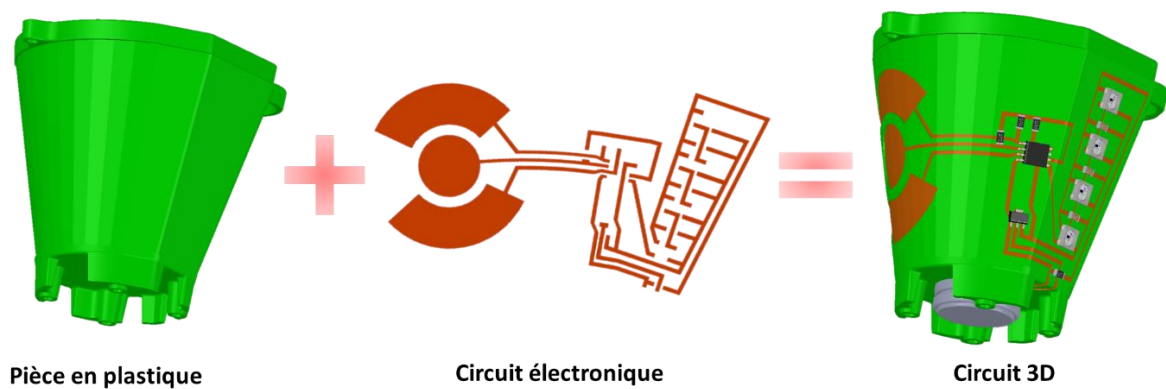


Fig 1 : Principe de la fonctionnalisation plastronique surfacique.

Dans le cadre de cette formation, un TP calibré pour 4 heures est proposé à la suite d'une partie théorique permettant une mise à niveau en début de la formation plastronique. Les cours abordent les thématiques de fabrication d'une pièce plastronique, et ont pour but de préparer l'étudiant en lui offrant toutes les connaissances nécessaires pour pouvoir accomplir avec succès son projet lors de la partie pratique. Des trinômes ou quadrinômes d'étudiants auront alors la mission de métalliser une pièce polymère par un procédé autocatalytique et de caractériser le processus à chaque étape. Cette approche confère aux étudiants un encadrement rapproché dans le contexte d'un petit groupe, tout en leur permettant de mettre en perspective le contenu des cours et travaux pratiques d'une formation spécialisée.

Le déroulement de la partie expérimentale se fait alors en 3 étapes : (i) le traitement de surfaces nécessaire pour obtenir une bonne adhésion du métal sur le polymère, (ii) la métallisation autocatalytique et (iii) la caractérisation physico-chimique de la pièce à différentes étapes.

Le procédé de métallisation ne présente aucun danger, et ne nécessite aucune habilitation chimique au préalable pour l'étudiant non familiarisé avec l'utilisation des produits chimiques, mais il demande de se conformer à la procédure et respecter les règles de sécurité (port de blouse, gants, lunettes, etc.). Les étudiants seront aidés par un document idoine décrivant le mode d'emploi de chaque instrument dans ce TP. À l'issue de ce TP, les étudiants auront à livrer une pièce métallisée et caractérisée, un rapport rassemblant leurs analyses et conclusions ainsi qu'une rapide synthèse orale.

II. TP métallisation autocatalytique

Les étudiants commencent le TP par la métallisation autocatalytique. La pièce à métalliser est une tasse en LCP (polymère à cristaux liquides) (figure 2) obtenue par injection. La tasse a été conçue spécifiquement pour les étudiants de la formation plastronique afin qu'ils aient un objet concret à métalliser et à rendre fonctionnel en y intégrant un circuit électronique. Dans ce TP, les étudiants s'intéresseront surtout à la partie métallisation. La réalisation du circuit électronique sera l'objet d'un mini-projet qui suivra ce TP (3).

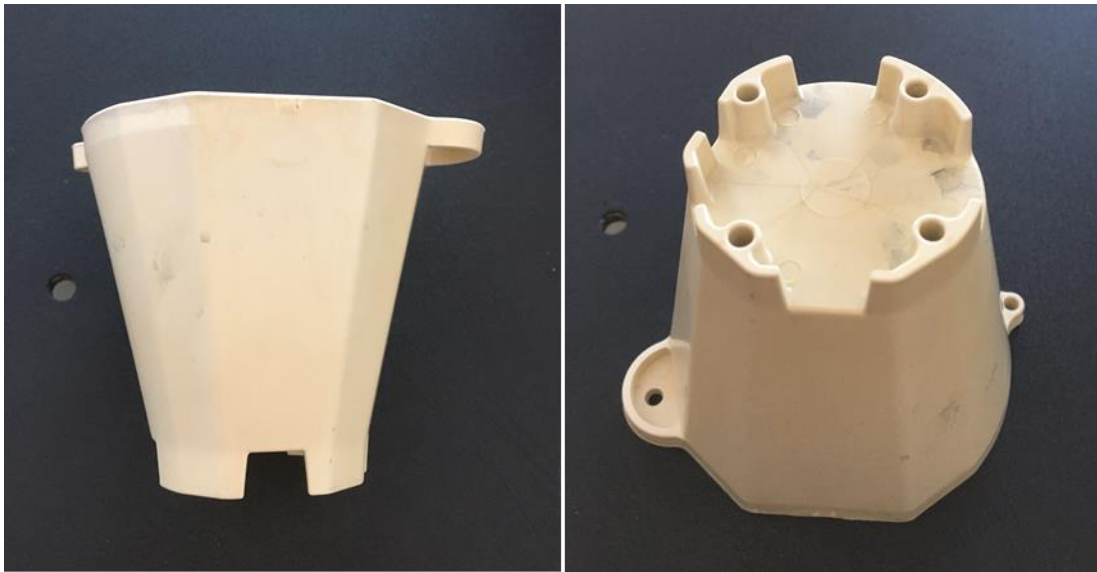


Fig 2 : Une tasse en LCP obtenue par injection.

i) Traitement de surface

L'étape clé pour réussir une métallisation est le traitement de surface. La métallisation d'un polymère est réussie lorsque la force d'adhésion du métal sur le polymère est suffisamment élevée, ce qui permet de supporter le brasage et le maintien mécanique des composants électroniques. Pour pouvoir métalliser le polymère LCP, les étudiants ont préparé une solution à base d'hydroxyde de potassium (KOH) connu dans la littérature (4) pour son efficacité comme solution d'attaque pour la métallisation du LCP. Le traitement dure 20 minutes et consiste à plonger la tasse dans la solution du KOH chauffée à 60°C (Figure 3-A).

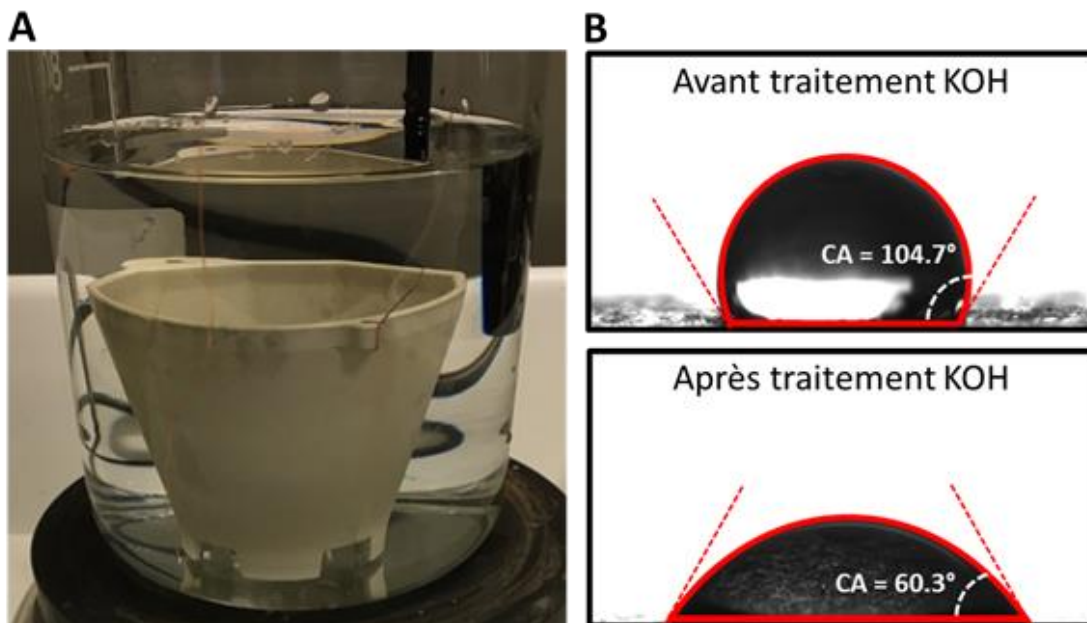


Fig 3 : A- La tasse LCP plongée dans la solution d'attaque KOH à 60°C, B-Mesure d'angle de contact avant et après traitement de surface.

Dans le but de vérifier l'impact du traitement de surface sur le polymère, les étudiants ont effectué des mesures d'angle de contact. En effet, la mouillabilité joue un rôle important pour l'initiation du dépôt chimique. Ces mesures sont réalisées par un appareil de mesure d'angle de contact (DSA30-KRUSS) en déposant une goutte d'eau DI de $2 \mu\text{l}$ sur une surface plane de l'échantillon. La forme de la goutte est ensuite analysée par le logiciel de la machine qui en déduira l'angle de contact. La figure 3-B montre les mesures d'angle de contact effectuées avant et après le traitement de surface, où les étudiants ont observé une diminution de l'angle de contact après le traitement. Cela signifie que la surface est devenue plus hydrophile, ce qui permettra un étalement facile de la solution de métallisation et donc une croissance correcte de la couche métallique.

La présence d'une rugosité de surface est susceptible d'améliorer l'adhésion du dépôt métallique dans les pores du polymère, ce qui permet d'avoir un ancrage mécanique. Les étudiants ont mesuré la rugosité de surface avant et après traitement à la soude (KOH) avec un profilomètre confocale à lumière blanche (NPS - Nano Point Scanner). La figure 4 montre que le traitement de surface a fait augmenter légèrement la rugosité de surface, ce qui peut favoriser le mécanisme d'adhésion. Le paramètre mesuré dans cette étape est S_a qui correspond à la hauteur moyenne arithmétique d'une surface.

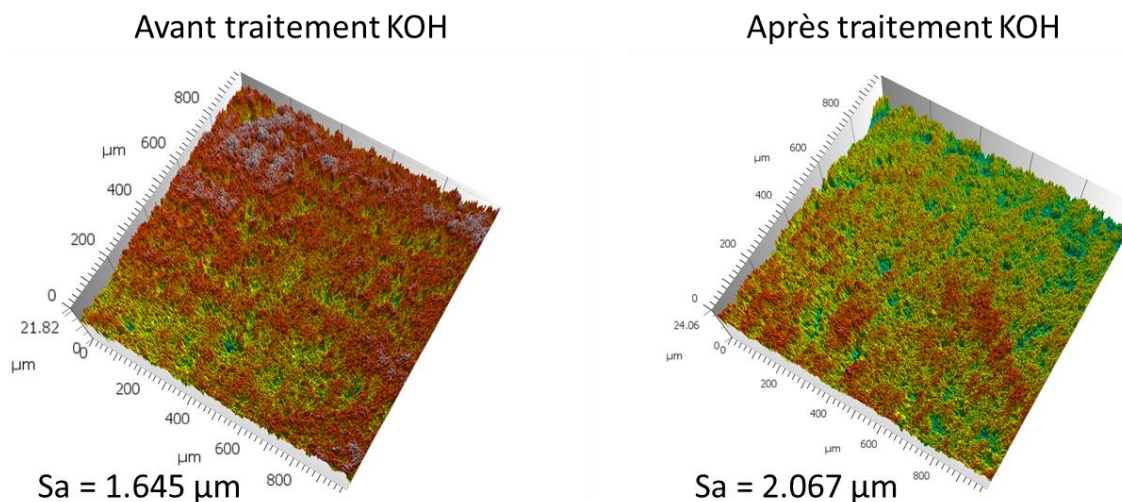


Fig 4 : Mesure de la rugosité de surface avant et après traitement.

ii) La métallisation

Les étudiants métallisent entièrement la tasse dans un premier temps, pour cela ils se sont servis du protocole de métallisation mis à leur disposition :

- a) Dépôt du catalyseur (solution chargée en Palladium ionique) sur la surface entière en plongeant la tasse pendant 3 minutes dans un bécher contenant la solution du catalyseur (figure 5(a)).
- b) Métallisation de la tasse en la plongeant pendant au moins 1 heure dans la solution du cuivre autocatalytique (figure 5(b)).

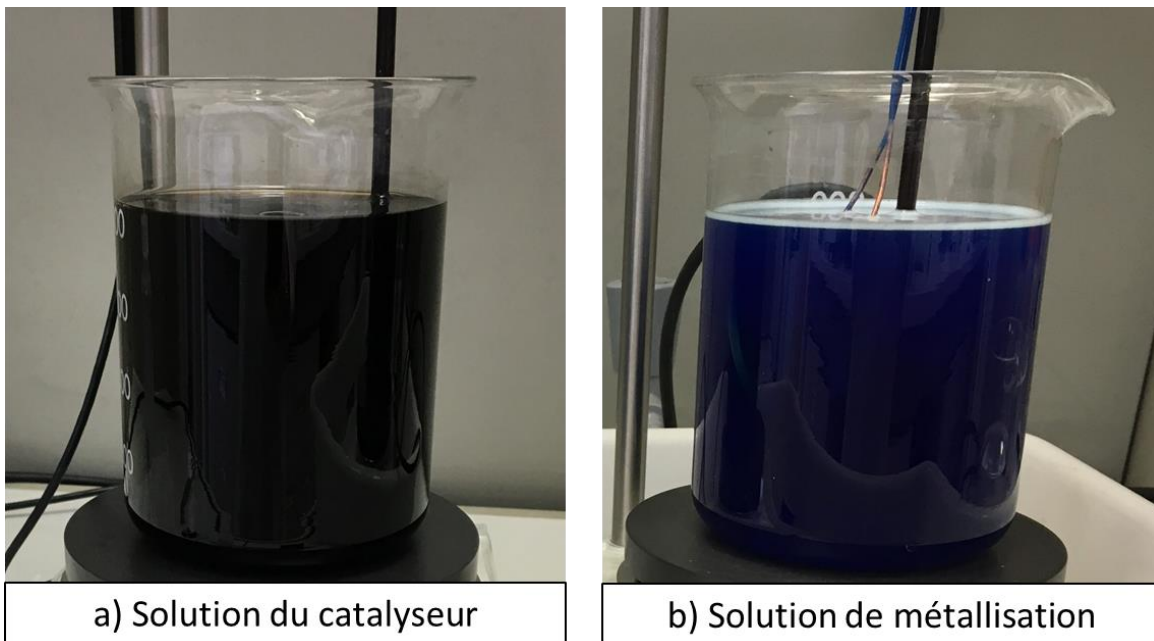


Fig 5 : Les deux béchers contenant (a) la solution du catalyseur et (b) la solution de métallisation.

iii) Identification des polymères

Les étudiants ont profité du temps libre pendant l'étape de métallisation autocatalytique pour se former sur une technique d'analyse très utilisée pour l'identification des polymères qui est la spectroscopie Infra-Rouge à Transformer de Fourier (IRTF). Les étudiants ont utilisé l'instrument (Lumos II – Bruker) pour analyser le matériau de la tasse et ont pu identifier qu'il s'agit du LCP à partir de la librairie du logiciel de la machine. Ils ont eu aussi la curiosité d'analyser d'autres échantillons : par exemple une carte de transport, un billet de banque, une bouteille d'eau vide et son bouchon, etc. Ils étaient satisfaits et parfois étonnés de pouvoir identifier le(s) matériau(x) utilisé(s) dans la fabrication de chaque échantillon.

iv) Épaisseur et conductivité électrique

La figure 6 montre la tasse après 1 heure et demi de métallisation (temps pratique pris par les mesures sur IRTF). Les étudiants ont procédé par la suite à la mesure de l'épaisseur par fluorescence X. L'appareil utilisé (Bowman B-XRF) permet de mesurer une épaisseur de cuivre en dessous de $30\mu\text{m}$. Les étudiants ont mesuré une épaisseur de $3\mu\text{m}$ et ont déduit donc une vitesse de métallisation de $2\mu\text{m/h}$ ce qui est cohérent avec la valeur annoncée par le fournisseur des solutions. Cette vitesse faible de dépôt incite les étudiants à chercher dans la littérature d'autres méthodes de métallisation permettant d'épaissir la couche déposée en un temps plus court, et ils réussissent à proposer d'autres méthodes comme la métallisation par électrodéposition.



Fig 6: La tasse après 1 heure et demi de métallisation

La conductivité électrique est un paramètre important pour juger la qualité du dépôt métallique. Les étudiants ont fait la mesure de la résistivité en utilisant la méthode de 4 pointes sur une surface plane de la tasse. La résistivité obtenue de $2.2 \mu\Omega.cm$ est supérieure à celle du cuivre massif ($1.72 \mu\Omega.cm$) mais largement suffisante pour assurer le bon fonctionnement d'un circuit électronique.

III. Discussion et perspectives

Le TP décrit un protocole précis permettant aux étudiants de réussir une métallisation d'une pièce en polymère. Cette expérience leur permet de découvrir les bases de la plastronique dans un environnement équipé des appareils nécessaires pour différentes applications technologiques. La métallisation autocatalytique est une méthode lente, mais elle permet un dépôt métallique sur une surface non conductrice. Ainsi, la découverte de cette méthode permet de susciter la curiosité des étudiants à s'intéresser à la composition des objets polymères qu'ils utilisent dans leur quotidien, leur permettant ainsi d'imaginer leur transformation possible en produits électroniques.

Ce TP offre aux étudiants une base pratique leur permettant de réussir la métallisation d'un objet plastronique. Le TP sera suivi par un mini projet de 8h où les étudiants auront pour mission de fonctionnaliser la tasse métallisée en définissant un circuit électronique. La figure 7 montre la réalisation finale de la tasse. Sur la surface un circuit électronique basé sur un microcontrôleur 8 bits, ATtiny85, (programmé par les étudiants) avec 3 boutons capacitifs métallisés directement sur la tasse. Le rôle des boutons est d'allumer/éteindre progressivement les 4 LEDs ainsi que de changer leurs couleurs. La vidéo 1 jointe à ce document montre le fonctionnement du circuit de la tasse.

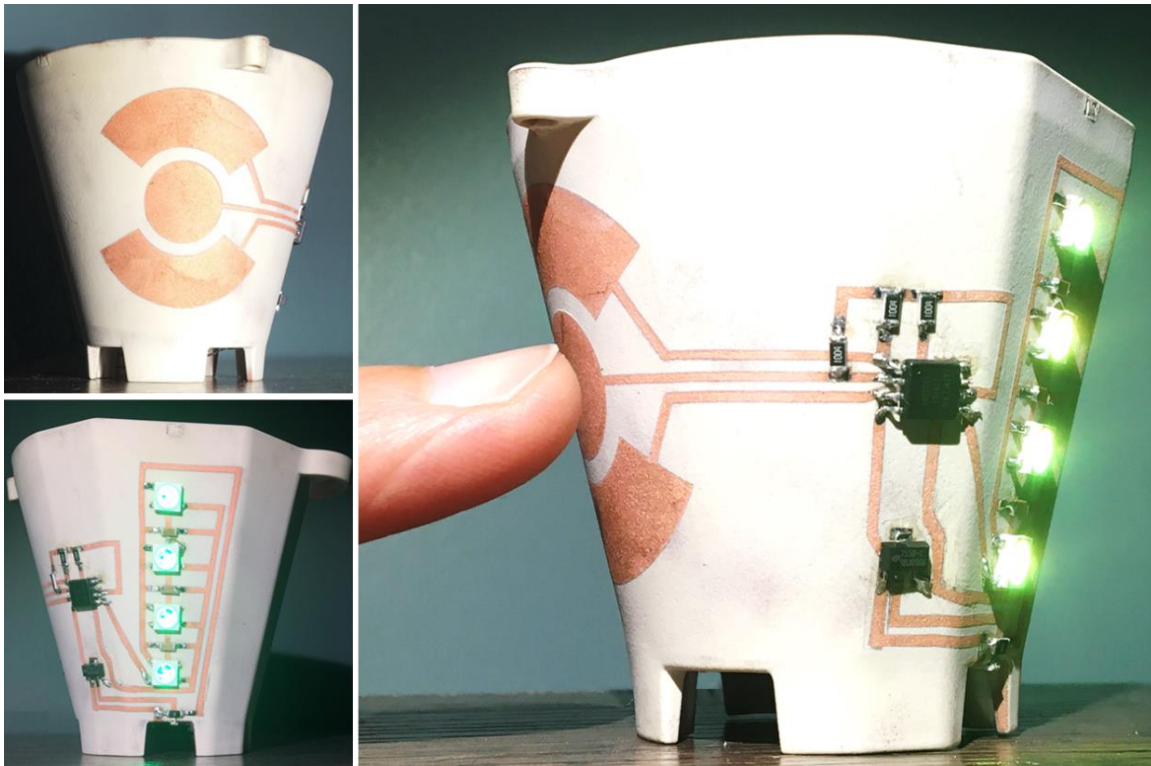


Fig 7 : La tasse fabriquée intégrant un circuit électronique basé sur un microcontrôleur 8 bits avec 3 boutons capacitifs et 4 LEDs RGB.

IV. Conclusion

L'article décrit l'application d'une méthode référencée dans le domaine de la métallisation. Cependant, en appliquant les différentes étapes, les étudiants ont appris à suivre une méthodologie, la comprendre et utiliser leurs recherches et connaissances pour l'améliorer. Ceci constitue un exemple concret sur la démarche de recherche et développement en plastronique. Un tel projet offre aux étudiants un moyen de mettre leurs connaissances au service de l'application expérimentale. Il leur permet également de révéler leur potentiel de questionnement et d'avoir un recul technique dans le but de faire évoluer la méthode technologique.

Remerciements

Les auteurs remercient tout particulièrement le Ministère français de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ; la Région Auvergne Rhône-Alpes pour son soutien financier dans le cadre du programme COMSUP et du projet PIA « The Plast to Be » réalisé en partenariat avec la Communauté du Haut-Bugey et tous les membres de son comité de pilotage.

Les auteurs sont également reconnaissants au GIP-CNFM ; à la Fondation pour l'Université de Lyon ; au soutien de nombreux acteurs institutionnels et académiques comme l'Université de Lyon, l'INSA Lyon, l'école CPE, Polytech'Lyons ; L'université de Bourgogne avec l'ESIREM ; INSAVALOR, le lycée Arbez Carme ; les laboratoires, et centres techniques partenaires (AMPERE, IMP, CT-IPC), ainsi que les représentants de

branches et organismes de valorisation (POLYVIA, POLYMERIS, ACSIEL, UIMM, Cap'tronic).

Références

1. Ph. Lombard, T. Gerges, B. Allard, S. A. Lambert et M. Cabrera1, *Plastronique 3D et 3D-MID, programme innovant d'enseignement supérieur et de formation à l'Université de Lyon*, J3eA 18, 1014 (2019) <https://doi.org/10.1051/j3ea/20191014>.
2. Website <https://www.universite-lyon.fr/formation/formations-innovantes/plastronique-3d-10618.kjsp?RH=1486387482944>
3. T. Gerges, P. Lombard, B. Allard, et M. Cabrera, *Attirer l'étudiant vers l'électronique à l'aide de la plastronique 3D et de la fabrication additive*, CETSIS-14^{ème} Edition, p280-283, 8-10 Juin 2021. <https://cetsis2021.sciencesconf.org/>
4. Cheval, Kevin. « *Étude et réalisation de circuits imprimées sur substrats polymères 3D (MID 3D) par microtamponnage* » Thèse de doctorat, UCBL, 2015.