



Plastroniques 3D – IME : Modélisation et caractérisation multiphysique des déformations

Porteur : Philippe LOMBARD

(Le porteur s'engage à participer et présenter son projet aux journées de la GI-EIF)

Partenaires : IMP – UMR5223

Laboratoire : AMPERE – UMR5005

Composante : Département Composante Génie Électrique et des Procédés

Nature du financement demandé : Stage M2 de 5 mois

Dates : de février à juin 2026 – 5 mois

Résumé :

La plastronique 3D est une technologie innovante qui fusionne la plasturgie et l'électronique pour intégrer des circuits électroniques (pistes conductrices, capteurs, antennes, etc.) directement dans des pièces polymères en trois dimensions. Cette approche permet de créer des objets connectés et intelligents, tout en réduisant l'encombrement, le poids et en améliorant l'ergonomie des systèmes.

Parmi les techniques émergentes, l'In-Mold Electronics (IME) combine l'électronique imprimée et des procédés de plasturgie comme le thermoformage et le surmoulage.

L'objectif de ce stage est d'étudier l'impact des déformations induites par le thermoformage sur les réseaux conducteurs et composants, en développant des modèles de simulation multi-physiques. Ces modèles permettront d'anticiper et de corriger les déformations pour optimiser le routage 3D, garantir la précision des composants haute densité et faciliter l'intégration d'antennes radiofréquences et autres fonctions micro-ondes. Des démonstrateurs seront réalisés en polycarbonate (PC), puis adaptés à d'autres polymères techniques ou biosourcés (PEEK, PLA) pour répondre aux enjeux d'éco-conception. Ce stage bénéficiera des ressources de la plateforme « Packaging avancé et Plastronique 3D » du laboratoires AMPERE.

Sujet développé :

La plastronique 3D est une technologie qui combine la plasturgie (fabrication et mise en forme de pièces en polymères) et l'électronique afin d'intégrer directement des circuits électroniques dans des objets en polymères, souvent en trois dimensions. Elle consiste à déposer ou à imprimer des circuits électroniques fonctionnels (pistes conductrices, capteurs, antennes, LED, etc.) directement sur des pièces en polymère. Cette approche permet de créer des objets connectés et intelligents tout en réduisant le nombre de composants et en optimisant l'intégration des fonctions électroniques, ce qui réduit l'encombrement et le poids, et améliore l'ergonomie d'un système.

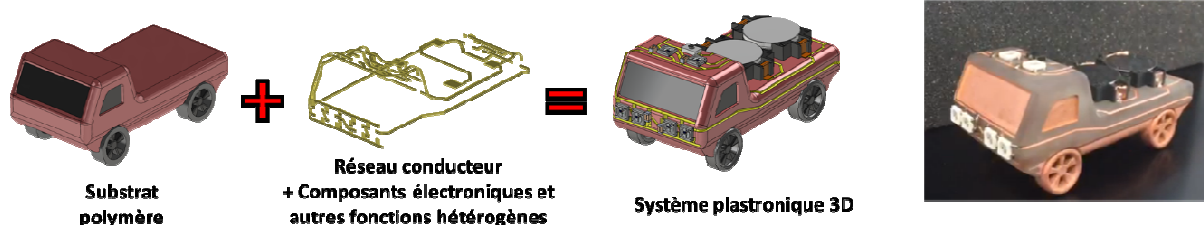


Fig.1. Elaboration d'un dispositif plastronique – Camion réalisé en fabrication rapide (impression 3D) au laboratoire AMPERE : www.youtube.com/watch?v=TBUt4eK3fdE&t=27s.

Parmi les techniques utilisées en plastronique, l'In-Mold Electronics (IME) est un procédé en forte émergence dans l'industrie dans des secteurs comme l'automobile, les transports et l'aéronautique. L'IME est une combinaison entre l'Electronique Imprimée (EI) et des procédés de transformation en plasturgie (thermoformage, surmoulage). Les étapes du procédé de fabrication sont typiquement : (i) impression du

réseau conducteur (encres conductrices et diélectriques) et d'éléments de décoration (encres décorative) sur un film thermoplastique mince ; (ii) report et assemblage des composants électroniques (en 2D) ; (iii) mise en forme en 3D par thermoformage ; pour finir (iv) par une étape de surmoulage de l'électronique par injection de thermoplastique.

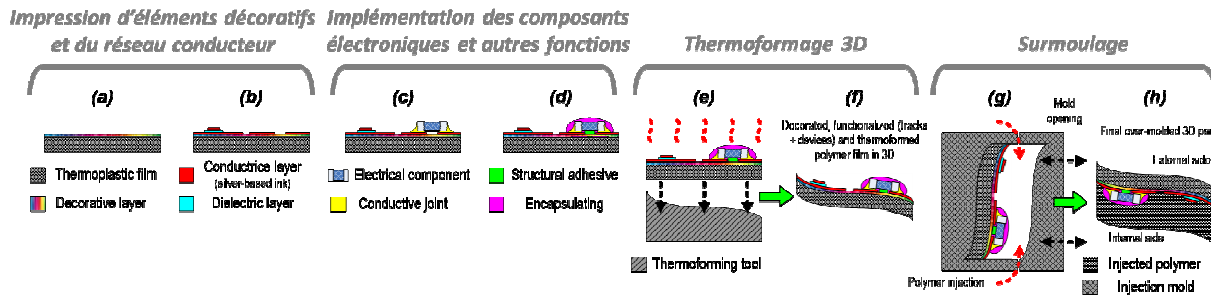


Fig.2. Etapes de fabrication du procédé plastronique ESS type : (a) impression d'une couche décorative sur un film polymère transparent mince ; (b) impressions du réseau conducteur : succession de couches conductrices et diélectriques ; (c) report des composants électroniques et autres fonctions sur un joint conducteur ; (d) collage structural et/ou encapsulation des composants ; (e) thermoformage 3D ; (f) détourage du système ; (g) surmoulage par injection ; (h) pièce finale fonctionnalisée.

L'objectif de ce stage sera d'étudier l'influence des déformations induites par le thermoformage du réseau conducteur sur le polymère (en lien avec les composants électroniques). Il conviendra alors de mettre en œuvre et d'améliorer des modèles de simulation prédictif multi-physiques en cours de développement au laboratoire sous Abaqus. Il s'agira notamment d'élaborer et de caractériser des véhicules de test (électrique et mécanique) afin d'alimenter et de valider le modèle théorique. Celui-ci permettra d'anticiper et de corriger les déformations 3D du réseau conducteur. Une pré-distorsion numérique du réseau permettra de répondre aux contraintes de conception pour : (i) améliorer la robustesse du routage 3D et du placement des composants (en anticipant les zones de contraintes physiques du substrat), (ii) garantir la géométrie des plages d'accueil des composants à haute densité, (iii) faciliter l'intégration d'antennes radiofréquences.

Les démonstrateurs d'étude seront, dans un premier temps, développés en Polycarbonate (PC - polymère de référence) et étendus, par ajustement des paramètres, à d'autres polymères, notamment des polymères très technique (ex. PEEK, PEI...) ou biosourcés (ex. PLA) afin de poursuivre la démarche d'éco-conception et de recyclabilité dans laquelle l'équipe est pleinement engagée.

Le stagiaire aura accès aux moyens de simulation, fabrication et caractérisation de la plateforme plastronique du laboratoire AMPERE (INSA Lyon, Villeurbanne) ainsi qu'aux moyens de plasturgie du laboratoire IMP (INSA Lyon, Oyonnax). Des moyens de caractérisation (MEB, fluorescence X, mouillage, adhésion, DSC, ATG, FTIR, DRX etc.) ainsi que des moyens de simulations multiphysiques seront mis en œuvre. De nombreux contacts sont prévus avec des industriels partenaires des laboratoires.

Les objectifs du travail :

- Compréhension du procédé de fabrication plastronique 3D en technologie IME ;
- Modélisation multi-physique : Prise en main des outils de simulations (ex : Abaqus/Explicit) simulations thermo-mécaniques, etc. ;
- Utilisation et amélioration des codes de pré-distorsion du motif avant thermoformage. (ex. Python) – Des travaux préliminaires ont déjà conduits à des résultats prometteurs ;
- Développement pratique de véhicules de tests pour valider les résultats des simulations ;
- Caractérisations : dimensionnelles et électriques des véhicules de tests ;
- Définition de règles de routage d'un dispositif plastronique IME ;
- Réalisation de démonstrateurs innovants permettant d'illustrer les avancées apportées (en collaboration avec les électroniciens du laboratoire).

[1] P. Lombard, H. Cauchy-Clerc, B. Allard, M. Cabrera

Etude de cas en plastronique IME – Alliance de la plasturgie et de l'électronique pour le packaging de systèmes 3D ; Journal sur l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes - J3eA, Volume 23, (Hors Série 1) 1003 (2024) <https://www.j3ea.org/articles/j3ea/abs/2024/02/j3ea20241003/j3ea20241003.html> - Accès libre : <https://doi.org/10.1051/j3ea/20241003>

[2] V. Semet, P. Lombard, H. Cauchy-clerc , J.Y. Charneau, M. Cabrera, Study of the resistance variation of IME circuit conductor tracks after thermoforming during manufacturing, LOPEC 2024, 5-7 mars 2024, Munich (pdf HAL en cours d'insertion).

[3] C. Goument, T. Gerges, P. Lombard, H. Lakhdar, M. Arli, V. M. Gilmus, S. A. Lambert, B. Allard, J.Y. Charneau, M. Cabrera, *In-Mold Electronics on Poly(Lactic Acid): towards a more sustainable mass production of plastronic devices* Int J Adv Manuf Technol 125, 2643–2660 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-10878-4> (hal-04069897 avec pdf)