

Formation en Plastronique et aux dispositifs MID ;
Plateforme pédagogique et scientifique ;
Exemple de conception, réalisation et caractérisation d'un capteur
inductif multidirectionnel de proximité pour la détection d'approche 3D

Ph. Lombard^{1,a}, M. Cabrera^{2,a}, V. Semet^{1,a}, B. Allard^{2,a}, S. Kamotesov^{1,a,b},
Maël Moguedet^b, J-Y Charneau²

⁽¹⁾ Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBL),

⁽²⁾ Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA)

(a) Laboratoire AMPERE UMR 5005 CNRS, INSA, ECL, UCBL, Villeurbanne, France

(b) Smart Plastic Products (S2P), Oyonnax, France

(c) Laboratoire IMP UMR 5223 CNRS, INSA, UJM, UCBL, Villeurbanne, France

philippe.lombard@univ-lyon1.fr, michel.cabrera@insa-lyon.fr, mael.moguedet@s-2p.com,
jean-yves.charneau@insa-lyon.fr, contact@plastronique.com

Dans un contexte concurrentiel accru, les industries doivent développer de nouvelles solutions pour répondre à des défis majeurs (innovation, design, fonctionnalité, consommation...). La plastronique, qui est au confluent des domaines de la plasturgie et de l'électronique, permet de répondre à ces nouvelles attentes, en proposant des objets intelligents et connectés. Elle offre la possibilité de concevoir des systèmes de forme complexe 3D. Dans ce contexte de rupture technologique, l'innovation est à l'interface du génie électrique, de la mécatronique et de la plasturgie. Elle fait également appel à des domaines connexes et indispensables tels que la physique et la chimie. La convergence de ces domaines rend indispensable l'acquisition de nouvelles connaissances et compétences transverses dans les métiers de demain. Pour répondre à ces besoins, une formation en plastronique est en émergence à l'Université de Lyon. Les modalités seront décrites dans cet article. Les compétences initiales des apprenants seront élargies pour acquérir les bases théoriques et pratiques de la conception de systèmes plastroniques. Cette formation s'appuiera sur des projets concrets en lien direct avec les acteurs variés de la filière (aéronautique, médical, robotique, etc.). Le prototypage y tiendra une place importante, en permettant de confronter les apprenants à des problématiques industrielles concrètes.

I. Introduction- contexte

La miniaturisation, l'augmentation de la densité d'intégration, la baisse de consommation, l'intégration de fonctions supplémentaires à un coût toujours moindre, nécessitent de développer de nouvelles solutions. Ainsi, les technologies traditionnelles « traversantes » sont remplacées par des technologies de surface ; les systèmes électroniques 2D font place à des systèmes plus complexes : souples, étirables, 3D...

Les éléments, autrefois simple support mécanique ou dont la fonction était purement esthétique s'enrichissent, se complexifient, s'imbriquent au point de devenir

indissociables. L'électronique s'invite, les plastiques deviennent intelligents, la plastronique est née.

Dans ce contexte de rupture technologique, l'innovation est à l'interface du génie électrique, de la mécatronique et de la plasturgie.

De nouvelles connaissances et compétences transverses doivent impérativement être développées et incluses dans les formations du futur. Aussi, une offre de formation en plastronique, initiée dans (1), est en émergence à l'Université de Lyon. Elle est développée en collaboration entre les électroniciens (AMPERE (2)), les plasturgistes (IMP (3)) tout en bénéficiant du soutien du monde industriel (dont S2P (4) et le Centre Technique Industriel IPC (5)). Celle-ci mettra en œuvre la plateforme pédagogique et scientifique « Plastronique et packaging avancé » d'AMPERE et les autres plateformes plus industrielles d'Oyonnax.

Cette action, menée en association avec des acteurs de l'enseignement et des industriels, permettra (en 2017-2018) de mettre en place un apprentissage pédagogique par projet, au niveau Licence, Master, Doctorat (LMD). Des partenariats sont à l'étude afin de décliner cette offre, pour de la formation continue et des stages professionnels.

Dans cet article, nous présentons : (i) La plastronique, orientée 3D ; (ii) L'offre de formation en émergence ; (iii) Un exemple concret de maquette pédagogique avec les étapes de conception, de réalisation et de caractérisation ; (iv) Les plateformes supports, dont la plateforme « Plastronique et packaging avancé » ; (v) Les initiatives de promotions pour diffuser et faire connaître le plus largement possible cette action et ce domaine technologique.

II. Plastronique – Caractéristiques et avantages

Génératrice de produits à haute valeur ajoutée la plastronique est également connue sous le terme anglais de Molded Interconnected Devices (MID). Elle est le creuset d'une nouvelle industrie et fera émerger les métiers de demain. En effet, la plastronique est une nouvelle technologie dont le but est d'associer des composants électroniques (« l'intelligence ») à des pièces plastiques tridimensionnelles (substrat, fonctions mécaniques et packaging). Elle permet l'intégration optimale de fonctions hétérogènes : mécatronique, optique, RF (Radio Fréquence), thermique, fluide, etc. Autrefois annexes, ces fonctions deviennent parties intégrantes du système.

La figure 1 illustre deux exemples de système plastronique 3D (6). La convergence entre la plasturgie et l'électronique est réalisée en structurant sur un substrat polymère plastique des pistes électriques conductrices ; le substrat est généralement obtenu par un procédé d'injection de thermoplastique. Des composants électroniques, notamment des Composants Montés en Surface (CMS), peuvent ensuite être rapportés par collage (usuellement des colloïdes d'argent) ou par brasage (avec des procédés appropriés aux limites de températures acceptées par les substrats polymères).

En termes d'innovation de procédé, la technologie plastronique a de multiples avantages. Nous pouvons citer par exemple :

- ✓ une grande liberté de design par l'exploitation de la troisième dimension,
- ✓ une intégration de fonctions multi-physiques (mécanique, électronique...),
- ✓ une nouvelle hiérarchisation entre système et sous-systèmes (le circuit électronique devient le système à proprement parler, et vice et versa),
- ✓ des possibilités élargies en matière de packaging, pistes conductrices, capteurs, actionneurs...,
- ✓ une réduction du nombre d'étapes de fabrication et d'assemblage,

- ✓ une meilleure efficacité en écoconception (diversité des matériaux, recyclabilité, réduction des composants : diminution en nombre et quantité...),
- ✓ les perspectives en design et esthétique,
- ✓ etc.

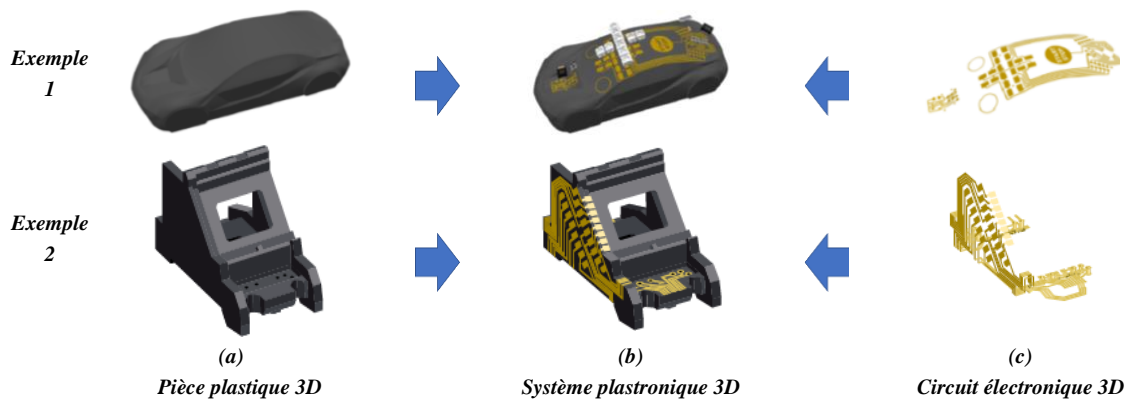


Fig. 1 : Exemples de deux systèmes réalisés en plastronique 3D (b), convergence entre : une pièce plastique (a) et un circuit électronique (c) en 3D. (Sources : association 3D-MID et Panasonic)

Il est clair que certains de ces avantages découlent les uns des autres. L'idée est ici de rendre le lecteur attentif au potentiel de la technologie plastronique. Il est important de noter que certains de ces avantages ne sont valables que lorsque le système plastronique est la meilleure solution pour un produit donné. A titre d'exemple, lorsque nous parlons de « meilleure fiabilité », cela va de pair avec :

- ✓ une meilleure intégration des composants = Meilleure répartition des contraintes (mécanique, thermique, rayonnement...),
- ✓ une réduction des interconnexions (fils, connecteurs...), connus pour occasionner des dysfonctionnements (oxydation, rupture, déconnexion...),
- ✓ l'intégration optimale de fonctions multi-domaines,
- ✓ une meilleure interface entre le dispositif et le monde extérieur,
- ✓ la réduction du nombre d'étapes d'implémentation (diminution des risques induits et cumulés à chacune des étapes d'assemblage),
- ✓ etc.

Un système plastronique 3D forme un tout. Les bénéfices sont globaux et imbriqués. Nous comparons, dans l'exemple de la figure 2, un commodo (système permettant la commande manuel des clignotants, appel de phare, position d'éclairage, klaxon, etc.) de moto réalisé en technologie traditionnelle câblée, avec une solution plastronique 3D.

L'intégration globale et le caractère 3D de ce dispositif a permis :

- ✓ d'orienter les contacteurs et interrupteurs dans l'espace,
- ✓ d'utiliser efficacement la surface disponible et d'augmenter le nombre de fonctions,
- ✓ de supprimer les fils de connections.

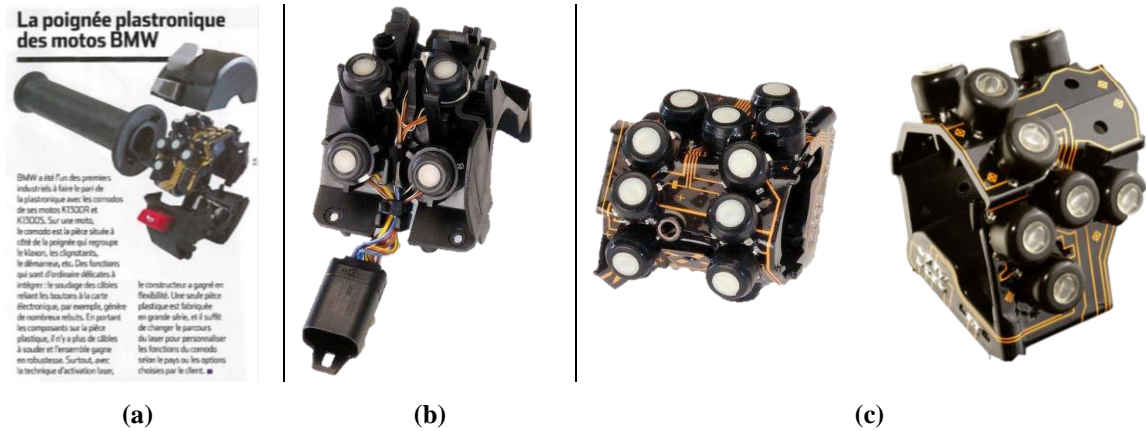


Fig. 2 : Exemple de réalisation d'un commodo électrique de moto BMW (a). Réalisé en technologie traditionnelle câblée (b) versus une technologie plastronique 3D (c). (Sources : article de l'Usine Nouvelle de mai 2012, BMW)

Pour d'autres systèmes, il serait envisageable :

- ✓ d'orienter ou d'auto-aligner dans l'espace les composants : actionneurs, capteurs (effet hall, optique), lentilles, caméras, éclairage..., dès la conception de l'objet = Réduction des coûts de positionnement, de réglage, de calibration, etc.,
- ✓ d'accroître le nombre de fonctions (augmentation du service rendu) ou de réduire l'encombrement (poids, gain énergétique...) pour un volume donné,
- ✓ d'utiliser plus efficacement la surface disponible (ex. capteurs solaires, antennes...),
- ✓ d'augmenter les performances et la sécurité du système (ex : redondance et accroissement du nombre de capteurs/actionneurs dans un volume constant),
- ✓ etc.

La plastronique n'a pas vocation à supplanter les technologies traditionnelles. Elle doit être perçue comme un véritable tremplin pour la conception et l'intégration globale d'un système. Il est primordial d'exploiter les formes 3D du système :

- d'une part pour justifier le choix de la technologie plastronique au détriment de technologies plus conventionnelles (même si celles-ci peuvent rentrer dans le processus de réalisation pour constituer in fine des systèmes hybrides),
- d'autre part pour tirer profit du relief des pièces et permettre l'intégration des éléments et optimiser leur performance et intégration.

Novateur, l'objet conçu doit, dès le début, être pensé comme étant un tout. L'électronique doit épouser formes et contours pour s'intégrer le plus justement possible. Designer, électronicien, plasturgiste et intégrateur doivent dès lors travailler de concert.

III. Projet pédagogique – Formation en plastronique

Afin de présenter ce projet, une vidéo a été réalisée (Fig. 3). L'objectif de celle-ci est d'une part, de présenter la plastronique dans sa globalité : du granulé de polymère à la pièce plastique ; du circuit électronique 2D au circuit 3D. D'autre part, nous introduisons l'offre de formation. Elle montre que la convergence de l'électronique et de la plasturgie, rend indispensable l'acquisition de nouvelles connaissances et compétences transverses dans les formations de demain.

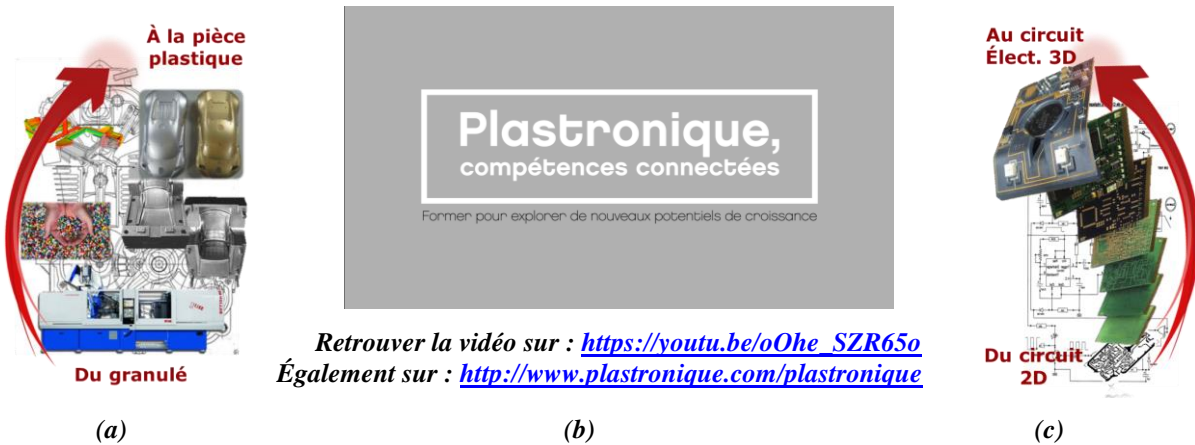


Fig. 3 : Vidéo présentant l'action de formation en plastronique en cours d'émergence (b) : Du granulé à la pièce plastique (a) ; Du circuit électronique 2D au circuit électronique 3D (c).

Les champs d'action de ce projet sont multiples :

- ✓ former largement : formation continue et permanente ; au niveau Licence, Master, Doctorat (LMD),
- ✓ mixer, au sein d'une même formation, des apprenants issus de cursus et de domaines différents (plasturgie, électronique, mécatronique et physicochimie),
- ✓ concevoir et réaliser, globalement, des systèmes multi-physiques et multi-domaines : du prototypage à la caractérisation de systèmes, du packaging avancé à la fabrication additive,
- ✓ ouvrir la formation et la plateforme technologique et technique : à l'ensemble de la communauté académique et scientifique, aux partenariats et aux échanges nationaux et internationaux : publiques et privés,
- ✓ affirmer des liens avec les industriels : apprentissage autour de problématiques et projets concrets favorisant les stages et l'insertion professionnelle,
- ✓ assoir nos compétences et notre savoir-faire « made in France » en exportant la « French touch » dans l'élargissement de nos actions à l'international : programmes d'échange (contacts avec l'Allemagne) et de transferts de compétences.

IV. Objectifs et compétences visés - Formation initiale de niveaux Master 2

Suite à une enquête prospective menée sous l'égide de la Fondation pour l'Université de Lyon (7) auprès d'une centaine d'industriels, la formation envisagée, dans un premier temps, est celle de « Chef de projet plastronique ». Elle s'adresse à des étudiants de niveaux Ingénieurs et Master 2.

Dans un contexte d'apprentissage par projet, cette formation permettra aux apprenants d'avoir une vue globale d'un projet plastronique : de la conception d'une pièce jusqu'à l'intégration de fonctions avancées.

A l'issue de ce cursus, les compétences généralistes développées par les apprenants permettront, entre autres, d'être capable de :

- ✓ connaître le potentiel et la valeur ajoutée d'un système plastronique par rapport à des systèmes conventionnels,

- ✓ savoir dialoguer avec les acteurs des filières qui composent et gravitent autour du domaine : être conscient des opportunités, contraintes, enjeux et problématiques à chacune des étapes (conception, fabrication et tests),
- ✓ prendre part à la réalisation du dossier technique de fabrication : être capable de faire des choix technologiques de conception, de fabrication, de composants et matériaux, selon une logique 2D et 3D,
- ✓ avoir une approche systémique et une vision globale, depuis la conception des pièces plastiques jusqu'à l'intégration de fonctions électroniques,
- ✓ avoir des compétences en CAO, notamment sur des aspects multi-physiques.

Les projets collaboratifs permettront de réaliser et d'implémenter des démonstrateurs sur des problématiques concrètes : du matériau brut jusqu'à l'intégration de fonctions électroniques. Le savoir-faire acquis, théorique et pratique, ainsi que le rapprochement avec les industriels, sera garant d'une employabilité accrue.

Secteurs d'activité concernés

Cet enseignement sera décliné par la suite pour la formation initiale et continue pour des niveaux BAC+2 à BAC+4. En effet, la plastronique peut intervenir à tous les niveaux : cadre, assistant ingénieur ou technicien en bureau d'études ou ateliers de production.

Les secteurs d'activités concernés sont : les objets high-tech à forte valeur ajoutée, la robotique et la domotique, les télécommunications, la connectique, le transport et l'aéronautique, le biomédical, les biens d'équipements ménagers ou de loisirs, le packaging...

Atypique, le profil transdisciplinaire des techniciens et ingénieurs formés sera idéal pour mener à bien des missions d'innovation et de conduite de projets.

Les connaissances acquises, transverses, permettront d'avoir une vision globale, de dialoguer et travailler avec un ensemble de corps de métiers (designers, électroniciens, plasturgistes, mouliste, intégrateurs...).

Contenu de la formation - Formation initiale de niveaux Master 2

Découpée en deux semestres, la fiche de formation générale est présentée sur la figure 4. Nous faisons apparaître l'ensemble des modules qui la compose. Une fois validé, chaque module permet d'engranger des crédits ECTS (European Credit Transfer System) reconnus au niveau européen.

Le premier semestre est découpé en deux périodes. La première se déroule sur le site de Lyon Tech (campus de la Doua) et permet d'acquérir les bases théoriques et pratiques de la plastronique. Elle commence par une phase de remise à niveau en fonction de l'origine des apprenants (issus majoritairement de filières en plasturgie et en génie électrique), puis elle se poursuit dans un tronc commun. Dans celui-ci, des enseignements spécifiques à la plastronique sont couplés à des enseignements plus généraux : chimie, mécanique, etc., et plus largement à l'ingénierie et au management de l'innovation.

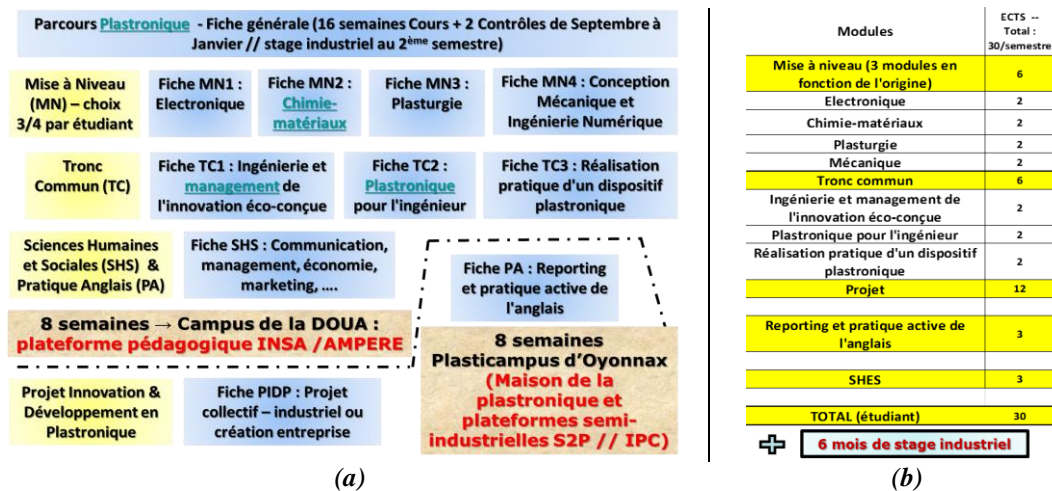


Fig. 4 : Fiche générale de la formation initiale de niveau Master 2: Modules de formation (a) et crédits ECTS associés (b).

Les aspects pratiques sont très présents. Ils donnent aux étudiants des compétences indispensables aux projets qu'ils mèneront, en équipe regroupant les différentes compétences de bases, durant le reste de leur formation.

Les projets, en lien étroit avec le monde de l'industrie, seront plus particulièrement développés durant la deuxième période sur le site d'Oyonnax. Ils faciliteront la recherche de stage, l'employabilité et l'insertion professionnelle des apprenants.

Un stage de six mois, en immersion professionnelle, se déroulera durant le second semestre et clôturera l'année de formation.

V. Réalisation d'un système plastronique 3D

Il existe de nombreuses méthodes et procédés permettant de réaliser un système plastronique : bi-injection, de décoration dans le moule (in mould labelling), de thermoformage (hot embossing), de structuration ou d'ablation laser, de plasma, d'impression par aérosol ou jet d'encre, de microtamponnage, etc. (8). Ces méthodes (listées de manière non exhaustive) permettent de structurer (créer) des pistes conductrices d'interconnexion à la surface 3D d'objets en polymère. Bien qu'elles diffèrent sur de nombreux aspects (rendement, précision, flexibilité, complexité géométrique, coût de mise en œuvre, etc.), le résultat obtenu par ces méthodes est comparable à un circuit imprimé vierge. Les problématiques de report et d'assemblage sont communes.

La technologie industrielle de référence est aujourd'hui la structuration laser ou Laser Direct Structuring (LDS), de la société allemande LPKF (9). Un faisceau laser balaie la surface de l'objet de façon à activer un catalyseur contenu dans la matrice polymère de la pièce injectée. L'utilisation du procédé de métallisation auto-catalytique (electroless) permet de faire croître les pistes conductrices (épaisseur comprise entre 5 et 10 μm). Cette méthode nécessite de développer un moule d'injection (coûteux) pour produire la pièce dans la bonne matière. Elle est donc adaptée à une production de masse.

Pour une production plus petite, il est possible d'utiliser des méthodes d'outillage rapide pour diminuer le coût du moule (10).

Pour produire quelques pièces, dans un projet de recherche ou d'enseignement, il est possible d'utiliser une imprimante 3D. Dans ce cas, la matière utilisée ne comporte pas de

catalyseur. Afin de la rendre compatible avec le procédé LDS, une solution consiste, à coût réduit, à enduire la pièce d'un vernis chargé en catalyseur (par spray). Les pistes conductrices sont ensuite structurées de manière habituelle par le procédé LDS.

Dans le cadre de cet article, nous nous sommes focalisés sur cette solution. Durant la formation, d'autres techniques, comme par exemple le microtamponnage (11), seront considérées. Nous mettrons alors en relief les points forts et faibles de ces technologies.

Présentation du dispositif et principe de fonctionnement

Le dispositif est basé sur un circuit microélectronique TI LDC1000 (12). Celui-ci permet de mesurer une inductance et de convertir sa valeur en données numériques, ce qui facilite l'interface avec un microcontrôleur (dans ce projet : un ATmega62).

La présence d'une cible métallique à proximité de l'inductance induit des courants de Foucault qui modifient l'impédance du système. Il est ainsi possible d'en déduire la distance cible-inductance (Fig. 5.a).

Ce dispositif est souvent utilisé avec des inductances planaires. La technologie plastronique 3D permet de réaliser des inductances non planaires avec un facteur de qualité suffisant et de les disposer par exemple sur une sphère (13). En l'occurrence, le dispositif prévu est composé de deux demi-sphères avec 11 inductances réparties à la surface. Il permet de détecter la présence d'un objet dans le champ 3D qui entoure la sphère. D'autres possibilités pourront être ultérieurement exploitées (nature et forme de la cible, sens du mouvement et vitesse, etc.).

Etapas de réalisation

Les étapes de réalisation seront choisies en fonction de l'orientation pédagogique souhaitée et du niveau des étudiants :

- ✓ CAO mécanique (SolidWorks) et électronique (OrCAD) (Fig. 5b et 5c),
- ✓ fabrication des deux demi-sphères par impression 3D,
- ✓ dépôt par spray du vernis, définition des pistes conductrices en 3D par structuration laser (Fig. 5d) et dépôt d'une couche de cuivre d'épaisseur 5 μm par voie auto-catalytique (electroless) : étapes confiées au partenaire S2P,
- ✓ dépôt (électrodéposition) d'une couche de cuivre d'épaisseur 20 μm (Fig. 5e),
- ✓ report et brasage de composants et connecteurs (Fig. 5f),
- ✓ conception, développement, réalisation et tests électriques de la carte électronique de mise en œuvre du dispositif (Fig. 5g) avec programmation,
- ✓ mise en œuvre : intégration du dispositif et visualisation de la position de la cible à l'aide d'un cube de LED (Fig. 5h).

Une cible de référence permet l'étalonnage du système. La caractérisation du dispositif met en évidence l'intérêt d'une intégration du réseau d'inductances sur une sphère 3D (Fig. 5i). L'éclairage du cube montre l'angle d'incidence de la cible et sa proximité par rapport au capteur. L'attrait et l'aspect pédagogique du système sont alors renforcés. Retrouver un aperçu de son fonctionnement sur : <https://youtu.be/gErXAxIyLpk> (03'38'').

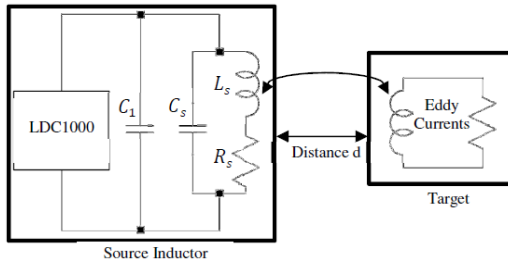
Possibilités pédagogiques complémentaires

Ce système laisse envisager de nombreuses évolutions et possibilités pédagogiques complémentaires, dont voici quelques exemples :

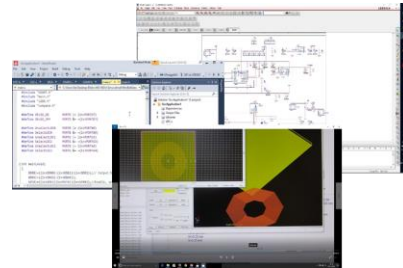
- ✓ simulations : multiphysiques (COMSOL) ; électromagnétiques (ADS et HFSS),
- ✓ interconnexion de plusieurs dispositifs en réseau de capteurs,

- ✓ utilisation d'autres substrats que le polymère (ex. verre, céramique, etc.) ;
- ✓ détection de la nature de la cible (fer, cuivre, cobalt, etc),
- ✓ topologies des inductances du capteur ; influence de la forme de la cible,
- ✓ étude du vieillissement du capteur : initiation à la fiabilité.

Nous travaillons également sur un système beaucoup plus ambitieux. Orienté autour de l'automobile, modulable et mobile, il articulera différentes technologies.



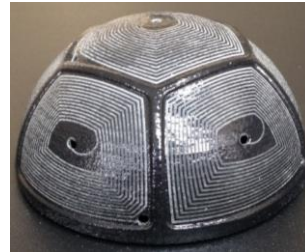
(a) Principe de base du capteur.



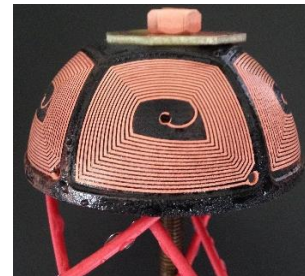
(b) CAO, simulations (électrique, électromagnétique...) et schématique du circuit électronique du 2D vers le 3D.



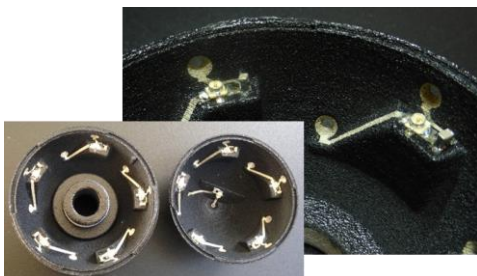
(c) CAO mécanique des deux demi-sphères du capteur avec leur embase. Projection du circuit électronique en 3D.



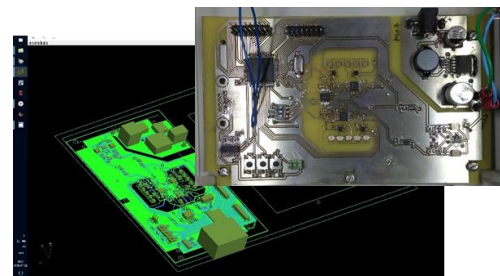
(d) Support polymère imprimé en 3D avec définition des pistes conductrices par structuration laser.



(e) Amenées de courant pour l'épaississement des pistes par électrodéposition de cuivre (épaisseur de 20 µm).



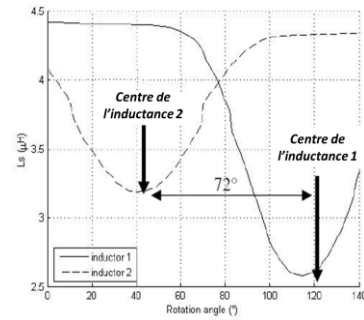
(f) Report et brasure des composants et connecteurs sur les deux demi-sphères.



(g) Prototypage du circuit test piloté par µC ATMega64 en technologie conventionnelle 2D CMS.



(h) Capteur complet avec finition par étamage à froid
Retrouver un aperçu de son fonctionnement dans le
générique de la vidéo suivante : <https://youtu.be/gErXAxlyLpk>



(i) Réponse de deux inductances au déplacement
d'une cible d'aluminium en rotation.

Fig. 5 : Flot de conception d'un capteur inductif multidirectionnel de proximité pour la détection d'approche 3D : Conception, réalisation et caractérisation

VI. Plateformes pédagogiques et scientifiques

Avec le soutien du laboratoire AMPERE et du Centre Interuniversitaire de Microélectronique de la Région de Lyon (CIMIRLY, pôle du Groupement d'Intérêt Public pour la Coordination Nationale de la Formation en Micro et nanoélectronique (GIP-CNFM) (14)), une plateforme pédagogique plastronique orientée plus largement vers le prototypage et le packaging avancé est en cours d'émergence. Elle est basée sur le site INSA d'AMPERE sur le campus scientifique Lyon Tech de La Doua (Villeurbanne).

Idéalement localisée entre la vallée de la plasturgie (Oyonnax, dans l'Ain) et celle de la microélectronique (Grenoble, dans l'Isère avec le CIME et le siège du GIP), ce projet de plateforme (Fig. 6) fédère de nombreux acteurs.

Complémentaire et connexe aux domaines de spécialités des autres pôles du GIP-CNFM, cette plateforme vient compléter le réseau universitaire et l'offre de formation déjà existante. Elle a pour vocation de favoriser les liens et échanges entre les communautés scientifiques (électronique et plasturgie). De plus, elle permet de faire converger en un même lieu l'ensemble des outils et compétences nécessaires en électronique pour développer des dispositifs plastroniques (de la conception aux tests et caractérisations).

Pour la partie plasturgie, les partenariats (plateformes dédiées aux polymères et aux composites, centres techniques, laboratoires, etc.) et moyens de fabrication et de caractérisation présents à Oyonnax seront mis à contribution. Nous pourrions également compter sur l'appui et l'expertise du laboratoire IMP ainsi que sur le soutien du lycée Arbez Carne, Plasti-CAMPUS, de la Maison de la Plastronique et la Maison des Alternants. Ces derniers apporteront des réponses techniques et humaines pour l'accueil et l'insertion des apprenants.

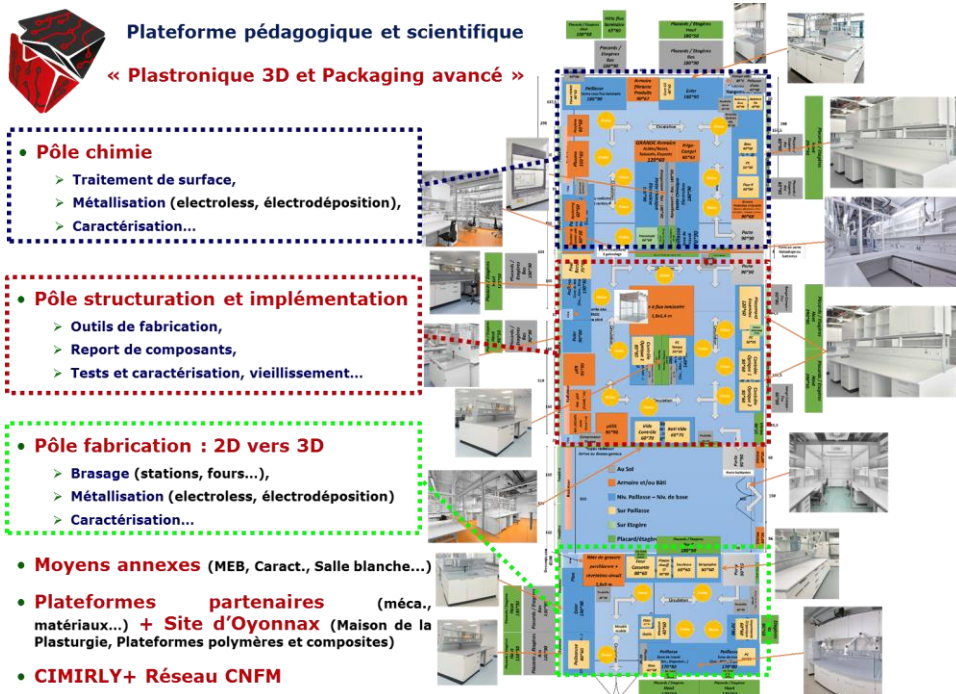


Fig.6 : Illustration de l'aménagement et des ressources de la Plateforme pédagogique et scientifique « Plastronique 3D et Packaging avancé ». Cette plateforme est localisée au laboratoire AMPERE (site INSA). Elle bénéficie du soutien, de l'aide et de l'expertise de nombreuses autres plateformes ; qu'il s'agisse du site de Lyon (campus Lyon Tech de la Doua, Villeurbanne) ou d'Oyonnax.

Promotion et diffusion de l'action

Pour promouvoir et faire connaître le plus largement possible cette action, nous avons développé les supports de communication suivant :

- un « teaser » (Fig. 7), vidéo promotionnelle à destination des étudiants,
- la création d'un blogue et du site internet www.plastronique.com (Fig. 8). Cet espace est dédié au partage et à la valorisation des technologies plastroniques. Toutes les contributions qui nous parviendront seront considérées avec grande attention et viendront compléter les informations et renseignements déjà disponibles,
- des prospectus et flyers promotionnels pour les salons et diverses manifestations.



Fig. 7 : « Teaser – Formation plastronique », vidéo promotionnelle à destination des étudiants.
 Retrouver la vidéo sur : <https://youtu.be/gErXAxIyLpk>



Fig. 8 : Page d'accueil du blog et site internet www.plastronique.com dédié au partage et à la valorisation des technologies plastroniques.

VII. Conclusion et perspectives

Fort du soutien de nombreux industriels et représentants de branches (Plastipolis, ACSIEL (15), FIEEC, Fédération de la Plasturgie et des composites...), un groupe de travail ; rassemblant des acteurs académiques et industriels, s'est investi pour proposer une offre de formation « plastronique ». Celle-ci doit permettre de mener à bien des projets, de niveau LMD, dans leur intégralité (de la conception à la caractérisation).

Pour ce faire, nous pouvons nous appuyer sur des compétences et moyens techniques de plusieurs sites (à Lyon et à Oyonnax). Une plateforme pédagogique relative au prototypage, à la plastronique et au packaging avancé est également en phase d'émergence au laboratoire AMPERE. Les moyens techniques sont mutualisés et l'expertise scientifique des équipes partagée.

L'élaboration du dispositif présenté ci-dessus permet d'initier les étudiants à des technologies innovantes en les plongeant dans des problématiques concrètes : couplage CAO électronique et mécanique 3D, simulations numériques, électroniques analogiques et numériques, reports et assemblage de composants, tests et caractérisation (électronique et mécanique), etc. Il permet aussi de leur faire prendre conscience que, pour s'adapter à l'évolution des techniques, quel que soit leur cœur de métier, ils auront besoin de faire appel à des disciplines complémentaires comme l'électronique, les sciences des matériaux, la mécanique, la plasturgie, les traitements de surface et la métallisation...

D'une manière générale la méthodologie apprise avec ce projet de capteur servira de matrice à des projets collaboratifs associant activement des industriels.

Nous envisageons de développer d'autres dispositifs réalisés avec des techniques de fabrication différentes afin d'enrichir l'offre de formation.

L'apprentissage par projet tiendra à ce titre une place importante. La collaboration avec le milieu industriel et l'ouverture à l'échange international est également une volonté affichée.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les membres du groupe de travail qui nous accompagnent au quotidien, ainsi que l'ensemble des acteurs qui suivent ou avec attention son évolution.

Nous pensons tout particulièrement à la Fondation pour l'Université de Lyon (notamment Anne Merle), au GIP-CNFM, au pôle de compétitivité Plastipolis et à la Fédération de la Plasturgie et des Composites.

Dans un projet ambitieux, au-delà des origines et des cultures dont ils sont issus, ce projet a su rassembler de nombreux acteurs : Université de Lyon (INSA, UCBL, CPE...); Laboratoires de recherche et centre technique (AMPERE, IMP, CNRS, CTI IPC...); S2P; CIMIRLY; Autres organismes d'enseignement (lycée Arbez Carme, CIRFAP...); La région Auvergne-Rhône-Alpes; Communauté de Commune du Haut Bugey; Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche; Programme d'Investissement d'Avenir et ANR FINMINA (16).

Pour toutes ces raisons et pour votre soutien au quotidien : merci.

Références

1. Ph. Lombard, V. Semet, M. Cabrera. « Formation au prototypage de systèmes électroniques 2D et 3D. Initiation à la Plastronique 3D et aux dispositifs MID ». J3eA, 14, 2013 (2015)
2. <http://www.ampere-lab.fr/>

3. <http://www.imp.cnrs.fr/>
4. <http://www.s-2p.com/>
5. <http://www.ct-ipc.com/>
6. www.3d-mid.de/
7. <http://www.fondation-pour-universite-lyon.org/>
8. F J. Franke, « *Three-Dimensional Molded Interconnected Devices (3D-MID) Materials, Manufacturing, Assembly, and Applications for injection Molded Circuit Carriers* », 2014.
9. <http://www.lpkf.com/applications/mid/>
10. M. Cabrera and M. Shellabear, « Fabrication, outillage et prototypages rapide : le choix de la technologie appropriée ; Selecting appropriate techniques for rapid prototyping, tooling and manufacturing », 5th European Conference on Rapid Prototyping, Centre International de l'Automobile, Pantin (France), 2-3 octobre 1996
11. K. Cheval, J. Coulm, S. Gout, Y. Layouni, P. Lombard, D. Léonard, F. Bessueille, V. Semet, M. Cabrera, « *Progress in the manufacturing of molded interconnected devices by 3D Microcontact Printing* », *Advanced Materials Research*, Vol 1038 (2014) pp 57-60
12. Texas Instruments, "LDC1000 inductance to digital converter", *Datasheet revised Sept. 2015*
13. S. Kamotesov , P. Lombard, C. Vollaire, V. Semet, M. Cabrera, R. Dahmani, A. Veille, M. Moguedet « Modelization and characterization of 2D and 3D MID inductors for multidirectional inductive proximity sensing ». In: *Molded Interconnect Devices (MID), 2016 12th International Congress. IEEE*, 2016. p. 1-6 DOI: 10.1109/ICMID.2016.7738936
14. GIP-CNFM: Groupement d'Intérêt Public - Coordination Nationale pour la formation en Microélectronique et en nanotechnologies. Website: <http://www.cnfm.fr>
15. ACSIEL Alliance Electronique: website: <http://www.acsiel.fr/en-GB/index.aspx>
16. IDEFI-FINMINA : Initiative d'Excellence - Formation Innovante en Microélectronique et Nanotechnologies, ANR-11-IDFI-0017. Website: <http://www.cnfm.fr/VersionFrancaise/actualites/FINMINA.htm>