

## Proposition de thèse (CIFRE) H/F

*Boîte à outils du concepteur pour l'enfouissement de composants de puissance dans des circuits imprimés / "Design Toolkit for the Embedding of Power Devices in Printed Circuit Boards"*

*Ref RPE\_PhD\_2020\_AMPERE*

Partenaire  
industriel:

MITSUBISHI ELECTRIC R&D CENTRE EUROPE (MERCE)

1 allée de Beaulieu, CS 10806, 35708 Rennes Cedex 7, France

Site web: <http://www.mitsubishielectric-rce.eu/>

Partenaire  
académique

Laboratoire AMPERE-INSA de Lyon

21, Avenue Jean Capelle

69100 VILLEURBANNE CEDEX

Type de contrat:

CDD de 3 ans, septembre 2020

Référence:

RPE\_PhD\_2020\_AMPERE

Thème de  
recherche:

Intégration en électronique de puissance

Sujet proposé par:

Rémi PERRIN, Mitsubishi Electric R&D Centre Europe, Rennes

Et

Cyril BUTTAY, Laboratoire AMPERE, INSA de Lyon, Villeurbanne

## Contexte de la thèse:

Ces dernières années, le circuit imprimé (PCB, pour Printed Circuit Board) est devenu intéressant pour la réalisation de convertisseurs de puissance, grâce à la technique de l'enfouissement de composants (figure ci-dessus). Elle permet en effet de réduire les éléments parasites de câblage (en particulier les inductances), et d'améliorer les capacités thermiques du substrat (en plaçant les composants plus près d'un radiateur).

L'effort de recherche a principalement été placé sur l'enfouissement des puces, pour lesquelles l'avantage est évident (elles sont les principaux éléments dissipatifs, et les plus sensibles aux inductances parasites) [1]. Néanmoins, l'enfouissement des autres composants (passifs, composants périphériques de pilotage, etc.) est également intéressant. Par exemple, au laboratoire Ampère, nous nous sommes intéressés à l'enfouissement de gros composants magnétiques (>50 mm de diamètre) [2, 3]. Un autre élément qui est peu traité dans la littérature scientifique concerne les méthodes de conception de convertisseurs à base de composants enfouis.

Dans le présent programme de recherche, nous proposons justement de nous concentrer sur les outils logiciels utilisés pour concevoir des convertisseurs de puissance à base de composants enfouis. En l'état actuel des choses, la conception est une opération complexe, qui nécessite en particulier de fréquents allers-retours de validation entre le concepteur et le fabricant (voir figure ci-dessous).

Le/la doctorant(e) s'appuiera aussi sur les compétences des membres du Laboratoire Ampère à Lyon et de l'équipe de recherche de Mitsubishi Electric R&D Centre Europe à Rennes.

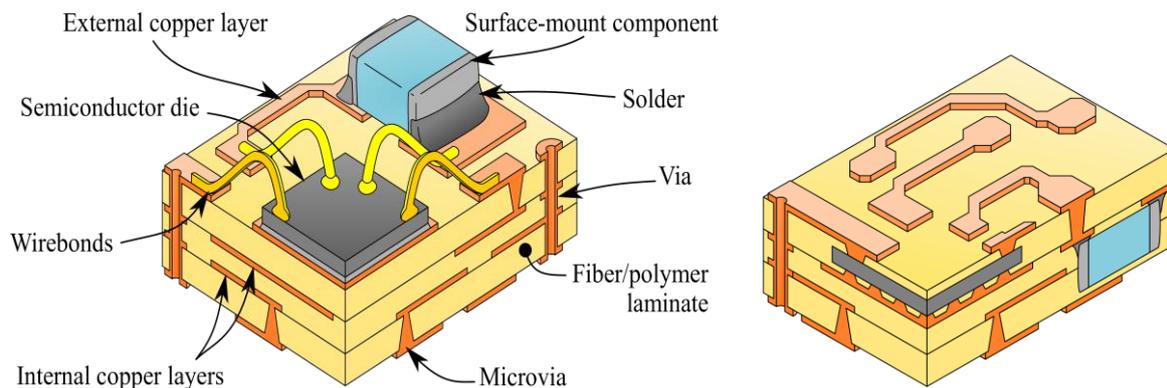


Figure 1 : *Gauche: un circuit imprimé standard, avec des composants montés en surface. Droite: les composants sont enfouis dans l'épaisseur du circuit imprimé, ce qui offre un ensemble plus compact et de meilleures performances thermiques et électriques.*

## Sujet de la thèse:

L'objectif du travail de thèse est de mettre en place une "boîte à outils" (toolkit library), bibliothèque de données permettant d'automatiser la génération de modèles et la vérification des règles de conception (validation), afin d'éviter les allers-retours entre concepteur et fabricant. La conception devient ainsi plus linéaire, comme indiqué ci-dessous: Cette organisation est directement inspirée de la microélectronique, pour laquelle des outils similaires ont été mis en place depuis plusieurs dizaines d'années

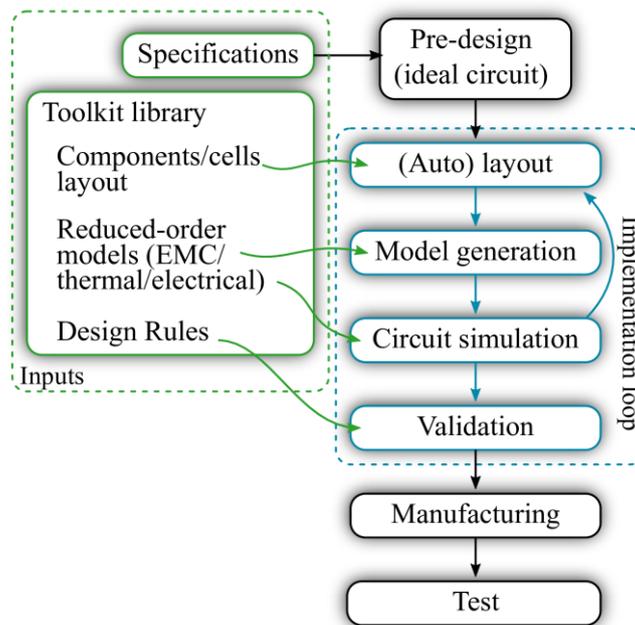


Figure 2 : Organisation type pour la conception

À l'heure actuelle, si la recherche est très active autour des composants de puissance, la très grande majorité des équipes de recherche s'intéresse uniquement à l'enfouissement des composants actifs de puissance. La prise en compte des autres composants du convertisseur est à elle seule une contribution originale.

L'outil de conception proposé dans ce sujet de thèse est également particulièrement original: il n'y a, à notre connaissance, aucun autre groupe travaillant sur le sujet pour l'électronique enfouie dans le circuit imprimé. Si la démonstration fonctionne, et qu'à l'issue de la thèse nous sommes effectivement capables d'automatiser une grande partie du processus de conception et la validation finale, cela constituera un résultat particulièrement marquant.

## Proposition de déroulement de la thèse :

### Démarrage:

à partir de septembre 2020 – rapports mensuels (1 page) et réunions trimestrielles (alternativement à Versailles et à Rennes) non inclus ci-dessous.

### Temps de présence :

Principalement au laboratoire AMPERE à Lyon (75% du temps).  
Des visites régulières sont prévues à MERCE, Rennes.

### Programme de travail

Le programme de travail se découpe comme suit:

T1: Etude bibliographique, avec pour objectif d'identifier les technologies d'enfouissement de composants existantes, les modèles thermiques, électriques, mécano-thermiques utilisables, les outils logiciels les plus adaptés, et d'une manière générale les travaux de recherche portant sur la conception assistée par ordinateur de convertisseurs de puissance. On se basera notamment sur les travaux réalisés au laboratoire Ampère et sur une étude bibliographique existante

T2: Routage en technique conventionnelle (composants montés en surface, sans enfouissement) du démonstrateur, de manière à prendre en main les outils de conception et à réaliser le convertisseur de référence.

T3: Implémentation d'outils de génération de modèles à partir de fichiers de CAO électronique: génération de modèles thermiques, de modèles électromagnétiques (éléments parasites de câblage), et éventuellement de modèles thermo-mécaniques.

T4 : Caractérisation du démonstrateur en technologie conventionnelle, pour acquérir les techniques de métrologie et acquérir les données de référence

T5: Génération d'un premier lot de démonstrateurs, accompagnés de leur modélisation. Dans cette phase, on n'aura pas recours à la validation automatique. Ce lot de fabrication inclura également des motifs de test destinés à être caractérisés pour l'établissement des règles de conception

T6: Implémentation des outils de validation, destinés à la vérification automatique du respect des règles de conception;

T7: Caractérisation du premier lot, définition des règles de conception, et évaluation des performances de la modélisation. Retour d'expérience pour améliorer les outils de modélisation

T8: Conception d'un second lot de démonstrateurs, incluant la modélisation automatique et la validation automatique. Ce second lot sera lancé en fabrication, mais probablement pas testé au vu des délais de fabrication observés (6 mois en moyenne)

R: Rédaction de thèse

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
|  | Y1 | Y2 | Y3 |
|--|----|----|----|

|    | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T1 | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T2 |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T3 |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T4 |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T5 |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| T6 |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |
| T7 |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |
| R  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    | ■  |

### **Compétences requises :**

- Diplôme d'Ingénieur ou Master universitaire avec une orientation en Génie Electrique et informatique
- Bonne maitrises des outils logiciels de simulation (2D, 3D, Spice, Matlab)
- Connaissances scientifiques généralistes solides et ouverture pluridisciplinaire (électrique, mécanique, thermique, mathématique)
- Des compétences en électronique de puissance seraient un plus
- Qualités de communication et de rédaction en anglais
- Motivation et dynamisme pour travailler dans un environnement de recherche
- Ouverture d'esprit
- Capacité à travailler dans un environnement multiculturel et international

**Merci d'adresser CV et lettre de motivation en format pdf par mail (en précisant en objet : votre nom et la référence RPE\_PhD\_2020\_AMPERE) au contact suivant:**

[jobs@fr.mercede.mee.com](mailto:jobs@fr.mercede.mee.com)

## **Références bibliographiques:**

[1] Alderman, A.; Burgyan, L.; Narveson, B. & Parker, E. "3-D Embedded Packaging Technology" IEEE Power Electronics Magazine, 2015, 30-39

[2] Caillaud, R.; Buttay, C.; Le Lesle, J.; Morel, F.; Mrad, R.; Degrenne, N.; Mollov, S. & Combettes, C. "High power PCB-embedded inductors based on ferrite powder" 5th Micro/Nano-Electronics, packaging and assembling, design and manufacturing forum MiNaPAD 2017, 2017

[3] Caillaud, R.; Buttay, C.; Mrad, R.; Le Lesle, J.; Morel, F.; Degrenne, N. & Mollov, S. "Comparison of planar and Toroidal PCB integrated inductors for a multi-cellular 3.3 kW PFC" Integrated Power Packaging (IWIPP), 2017 IEEE International Workshop On, 2017, 1-5

De Jong, E.; Ferreira, B. & Bauer, P. "Toward the Next Level of PCB Usage in Power Electronic Converters Power Electronics", IEEE Transactions on, 2008, 23, 3151-3163

Marxgut, C.; Muhlethaler, J.; Krismer, F. & Kolar, J. W. "Multiobjective optimization of ultraflat magnetic components with PCB-integrated core" IEEE Transactions on Power Electronics, IEEE, 2013, 28, 3591-3602

Randoll, R.; Asef, M.; Wondrak, W.; Böttcher, L. & Schletz, A. "Characteristics and aging of PCB embedded power electronics" Microelectronics Reliability, 2015, 55, 1634 – 1639

Brizoux, M.; Grivon, A.; Maia Filho, W.; Monier-Vinard, E.; Stahr, J. & Morianz, M. "Industrial PCB development using embedded passive & active discrete chips focused on process and DfR1 PLUS". Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2010, 12, 2670

Hofmann, T.; Gottschling, S.; Wondrak, W. & Randoll, R. "Integration of electronic components into PCB for electromobility application" Electric Drives Production Conference (EDPC), 2012 2nd International, 2012, 1-4