



LABORATOIRE PLASMA ET CONVERSION
D'ENERGIE
UMR 5213

Objet : Offre de Sujet de Thèse.

Toulouse, le 12 octobre 2021

Titre : Etude d'une chaîne de traction électrique tolérante aux pannes pour le véhicule électrique.

Le contexte :

Les enjeux :

L'obtention d'une chaîne de traction électrique tolérante aux pannes et à haut niveau de sûreté de fonctionnement devient un enjeu majeur aujourd'hui pour le marché automobile. Il est en effet nécessaire de pouvoir garantir à l'utilisateur, en toutes circonstances, de disposer du temps nécessaire pour pouvoir mettre à l'arrêt son véhicule en toute sécurité dans un endroit également sûr (voie de dégagement, d'arrêt d'urgence). Il est alors impératif, en cas de défaillance technique, de garantir la disponibilité du moteur et des organes de conduite (direction, freinage), au moins le temps nécessaire pour pouvoir se garer.

Si les véhicules électriques haut de gamme le permettent, c'est au prix d'une redondance systématique des éléments de puissance embarqués (plusieurs moteurs, onduleurs, batteries). Cette duplication des électroniques de puissance induit un coût élevé et contribue à augmenter également le poids global du véhicule. Une telle solution pour les véhicules de milieu et bas de gamme n'est pas envisageable, la disponibilité de la chaîne de traction électrique ne pouvant pas, pour des raisons de coût, être assurée par de la redondance. Des approches plus modernes, de modularité et de reconfiguration des organes de puissance par exemple (convertisseurs multicellulaires, stack de batteries), doivent être investiguées afin de faire émerger des solutions appropriées pour le marché de l'automobile grand-public.

Dans les groupes motopropulseurs du véhicule électrique actuel, une défaillance provenant soit de la batterie Haute-Tension (400V), soit de l'onduleur moteur, entraîne une perte immédiate de propulsion et de disponibilité des organes de conduite. Les tendances des futures plates-formes d'électrification sont d'augmenter cette disponibilité avec des systèmes tolérants aux pannes pour cibler le marché de la conduite autonome. Les notions de réutilisation, de

INP ENSEEIHT - 2, rue Camichel - BP 7122 - 31071 Toulouse cedex 7 (France)

Tél. : (33) (0)5 34 32 24 03 - Télécopie : (33) (0)5 61 63 88 75 – sec-n7@laplace.univ-tlse.fr - <http://www.laplace.univ-tlse.fr>



maintenance et de reconfiguration active, en cours d'utilisation, du pack de batteries HT feront partie des étapes incontournables pour obtenir la disponibilité inconditionnelle de la propulsion souhaitée. Avec un tel pack de batteries HT évolutif, l'onduleur de traction devra être capable de fournir l'énergie au moteur tout en gérant une reconfiguration des organes amonts de stockage d'énergie pouvant entraîner des variations de niveaux de tension disponibles dans une large gamme de valeurs. Les deux systèmes associés, batterie HT plus onduleur, doivent être à la fois tolérants aux pannes, reconfigurables et adaptatifs pour supporter des changements importants de point de fonctionnement. Ils ont en commun des exigences croissantes en matière de sécurité fonctionnelle, le niveau le plus élevé exigé étant le niveau ASIL-D. Notons que, dans le même temps, NXP propose un portefeuille évolutif de microprocesseurs MCU, CMU et GDU pour l'automobile qui offrent des solutions à la fois pour les systèmes PIM (Power Inverter Module) et BMS (Battery Management System).

L'objectif de ces travaux de thèse sera d'identifier un système de groupe motopropulseur tolérant aux pannes pour le véhicule électrique et autonome. Le concept sera basé sur l'usage de structures modulaires au sein des éléments batterie et onduleur de traction, modularité offerte par l'usage de topologies multi-niveaux par exemple, permettant d'envisager des modes de reconfiguration. Ces approches de conception modulaire devraient permettre d'atteindre le niveau de sûreté de fonctionnement souhaité sans pour autant imposer un surcoût de production important.

Les verrous techniques à lever:

Aujourd'hui, à l'issue des études de conception menées au sein d'NXP, les principaux points bloquants sont :

- La perte de l'ensemble du pack de batteries HT signifie la perte du système de propulsion,
- L'utilisation de deux modules de batterie ou plus garantit plus de disponibilité de la fonction, cependant la perte d'un module de batterie imposera plus de contraintes sur les semi-conducteurs,
- Aujourd'hui, le niveau de sûreté de fonctionnement de l'onduleur dans le groupe motopropulseur est ASIL D, ce qui signifie que la perte de cette fonction implique un problème majeur en termes de sécurité pour les passagers du véhicule,
- En cas de réduction de la tension disponible, due à une reconfiguration du nombre de cellules de batteries connectées, l'ajout d'un étage Boost en amont de l'onduleur induirait une augmentation de la taille des inductances et/ou des condensateurs ainsi que plus de distorsion sur les signaux de courant et de tension de sortie.

Le cadre de l'étude :

[La société NXP semiconductors](#) est un leader mondial des solutions intégrées de l'électronique embarquée servant les marchés de l'automobile, du grand public, de l'industrie et des réseaux. Elle réalise depuis de nombreuses années des systèmes électroniques intégrés sur silicium pour la gestion de l'énergie des cartes électroniques, que ce soit pour les segments châssis, moteur, sécurité, confort et loisirs. La division CTO Fusa (Functional Safety) en collaboration avec la division AA (Advance Analog) sur le site de Toulouse (100 personnes) étudie/réalise depuis plus de 10 ans des circuits intégrés pour la gestion de l'énergie, les commandes de puissances, les capteurs et les actionneurs utilisés dans les systèmes embarqués automobiles. Parmi ces circuits intégrés, on trouve principalement des circuits intégrés (Gate Driver) qui permettent de piloter des transistors de puissance de type IGBT ou MOSFET SiC utilisés par exemple dans des onduleurs de traction à fort courant forte tension (400V, 400A) pour la propulsion des voitures électriques ou encore des solutions de contrôle des convertisseurs de puissance AC/DC

(220V/400V) ou DC/DC (400V/12V) pour charger les batteries embarquées. Ces circuits intégrés de commande de puissance nécessitent des fonctions de sûreté intégrées pour détecter des défaillances de composants afin d'éviter par exemple des départs de feu. NXP propose également des capteurs intelligents BMS (Battery Management System) qui permettent de mesurer l'état de charge de toutes les cellules lithium-ion d'une batterie afin de gérer et surveiller en temps réel l'état de la batterie HV et ainsi de protéger le véhicule et ses occupants en cas de défaillance. Dans ce registre, NXP développe également des circuits de commande de contacteurs de puissance pour connecter et configurer la batterie HV de la voiture électrique pour tous les modes de fonctionnement nécessaires (précharge, charge, équilibrage des cellules, maintenance, etc...).

[Le laboratoire LAPLACE](#) (Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie) est une Unité Mixte de Recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et de l'Université Toulouse 3-Paul Sabatier (UPS). Les recherches menées au laboratoire vont de l'étude des mécanismes physiques de conversion d'énergie jusqu'aux systèmes qui les mettent en œuvre. Les grands domaines d'applications englobent la production, le transport, la gestion, la conversion et l'usage de l'électricité. Depuis de nombreuses années, le [groupe Convertisseurs Statiques](#) (CS) du LAPLACE étudie, conçoit et optimise de nouvelles architectures de convertisseurs pour assurer une amélioration constante en termes de coût, de rendement et d'encombrement de ces dispositifs. Ses activités concernent les études menant de la cellule de commutation (structure élémentaire d'un convertisseur statique) aux dispositifs les plus optimisés (en volume, rendement, performances CEM).

Le [laboratoire commun SEMA](#) : Afin de renforcer leurs forces et compétences autour des problématiques émergentes du véhicule électrique autonome, le laboratoire LAPLACE et la société NXP créent en février 2020 le laboratoire commun SEMA (Systèmes Embarqués pour la Mobilité Autonome). Le SEMA est une structure de type LCOM INSIS CNRS. La mission du SEMA concerne « l'étude, la conception et le développement amont des électroniques de puissance haute performance du véhicule électrique et autonome du futur ». Quatre champs thématiques scientifiques sont alors couverts : intégration de puissance, sûreté de fonctionnement, robustesse et fiabilité prédictive, distribution de la puissance au sein du véhicule.

Objectifs et organisation des travaux de la thèse :

Les phases à entreprendre :

Afin de répondre à la problématique évoquée précédemment, il semble opportun de dresser ici la liste des étapes importantes à entreprendre lors de cette thèse:

- faire un inventaire des solutions existantes dans d'autres domaines d'application (avionique, industrie, médical...) afin de déterminer les solutions les plus adaptées aux contraintes automobile,
- analyser les brevets et articles existants sur les onduleurs multiniveaux ainsi que sur la reconfiguration de la batterie,
- analyser les enjeux que représente la sûreté de fonctionnement pour une chaîne de traction électrique tolérante aux pannes,
- définir et concevoir une architecture de stack de batteries HT offrant à la fois modularité, aptitude à la reconfiguration et tolérance aux pannes,
- définir et concevoir une topologie d'onduleur de traction tolérante aux pannes,
- évaluer le type d'interrupteur de puissance le plus approprié (IGBT, SiC, GaN)

- définir le dispositif de contrôle fonctionnant en boucle fermée (MPC) de l'onduleur et effectuer une validation de concept à l'aide d'outils de simulation tels que Matlab Simulink,
- obtenir une preuve de concept de la chaîne de traction complète tolérante aux pannes,
- réaliser, en fin d'étude, un démonstrateur, association batterie/onduleur, incorporant un circuit de contrôle hautement intégré sur une technologie silicium de type SMARTMOS de l'entreprise NXP et d'apporter par la mise en œuvre d'un banc de caractérisation la preuve de la pertinence des solutions proposées.

Planning Prévisionnel :

Aussi, le planning préliminaire suivant peut d'ores et déjà être proposé (activité, durée, livrable) :

- Bibliographie sur l'inventaire des solutions existantes : activité au LAPLACE, 4 mois suivi d'un rapport sur état de l'art des solutions dans le domaine d'étude,
- Identification des solutions permettant d'améliorer les topologies de conversion actuelles (1ère partie scientifique de la thèse) : activité partagée LAPLACE/NXP, 7 mois suivi d'un rapport énumérant les travaux effectués et solutions identifiées,
- Identification des solutions adaptées aux besoins de sûreté de fonctionnement / tolérance aux fautes (2ème partie scientifique de la thèse): activité partagée LAPLACE/NXP, 7 mois suivi d'un rapport énumérant les travaux effectués et solutions identifiées,
- Réalisation d'un démonstrateur et validation expérimentale : activité NXP, 7 + 5 mois suivi d'un rapport de conception et de test,
- Rédaction du manuscrit de thèse : activité LAPLACE, 6 mois et livraison du manuscrit en fin de thèse.

Informations pratiques pour toute candidature :

Contexte : [Laboratoire Commun SEMA](#) (NXP Toulouse – Laplace) Systèmes embarqués pour la mobilité autonome.

Contacts : Marc Cousineau marc.cousineau@laplace.univ-tlse.fr
Erik Santiago erik.santiago@nxp.com

Profil du candidat : Formation Ingénieur ou Master (BAC +5) dans les domaines du EEA. Une formation avancée en génie-électrique/électronique de puissance est requise (topologies de convertisseurs, conception et mise en œuvre de circuits de puissance).

Des compétences en automatique avancée (loi de commande, programmation μ C) sont également attendues.

Acte de candidature : CV détaillé (incluant les coordonnées des référents de stage) avec lettre de motivation et relevés de notes (Bac +3 à Bac +5).

Financement : Les travaux de thèse et le salaire du ou de la doctorante seront financés pendant 36 mois, dans le cadre d'une convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE).