

## Sujet Thèse RFI WISE

<b>MMCSiC — Intégration de composants grands gaps SiC dans les structures MMC: dimensionnement d'outils d'optimisation et monitoring des semi-conducteurs</b>		
Directeur de thèse	Nom	Nicolas GINOT
	Email téléphone	<a href="mailto:Nicolas.ginot@univ-nantes.fr">Nicolas.ginot@univ-nantes.fr</a>
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	Laboratoire IETR site de Nantes UMR CNRS 6164
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	CNRS, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	
Co-directeur	Nom	Jean-Christophe OLIVIER
	Email téléphone	<a href="mailto:Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr">Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr</a> +33 (0)2 40 17 26 92
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	IREENA (E4642) équipe Maitrise de l'Energie Electrique
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	IUT de Saint-Nazaire, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	
Co-encadrant	Nom	Frédéric POITIERS
	Email téléphone	<a href="mailto:Frederic.poitiers@univ-nantes.fr">Frederic.poitiers@univ-nantes.fr</a>
	Unité de recherche (avec sa labellisation)	Laboratoire IETR site de Nantes UMR CNRS 6164
	Unité de rattachement (Université, Ecole...)	CNRS, université de Nantes
	Nombre de thèses en cours	

### Résumé du sujet de la thèse

Les objectifs actuels de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 poussent l'ensemble des filières industrielles à développer des solutions de production d'énergie décarbonée. Le déploiement de nouvelles infrastructures de réseaux électriques doit permettre de répondre en partie à cette problématique en exploitant de nouvelles méthodes de conversion de l'énergie électrique. L'évolution technologique des composants de l'électronique de puissance, mettant en œuvre des matériaux limitant les pertes énergétiques, ouvre de nouveaux champs d'exploration scientifique. Ce projet s'intéresse plus particulièrement à l'exploitation de ces nouveaux composants en y associant la problématique de la sûreté de fonctionnement.

## **Descriptif du sujet de thèse**

### **MMCSiC — Intégration de composants grands gaps SiC dans les structures MMC: dimensionnement d'outils d'optimisation et monitoring des semi-conducteurs**

**Financement** — thèse de doctorat RFI WISE (Région PdL — Université de Nantes)

**Date de début du projet** — 01/10/2018

Les objectifs actuels de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 poussent l'ensemble des filières industrielles à développer des solutions de production d'énergie décarbonée. Les sources d'énergie électrique renouvelable vouées à se développer à moyen terme sont le photovoltaïque et l'éolien. Or, il se trouve que ces modes de production sont par nature décentralisés, puisque leur implantation est intimement liée à la disponibilité de la ressource et leur nature intermittente rend difficile toute prédiction de la production à moyen terme. Par ailleurs, le déploiement de nouvelles infrastructures de réseaux électriques doit donc intégrer en amont cette nature intermittente des énergies renouvelables. Les différentes améliorations en cours d'investigation visent donc à accroître la flexibilité du réseau de production d'électricité, par une gestion intelligente de l'énergie et par l'intégration de nouveaux systèmes de stockage. Ces derniers participeront inévitablement au développement des énergies renouvelables en offrant la flexibilité nécessaire à l'échelle du réseau et à l'amélioration des services. Ainsi, l'énergie électrique produite pourra être stockée en période de faible consommation ou de surproduction, et pourra être réinjectée sur le réseau à la demande. Les réseaux de production d'énergie électrique de demain, également appelés Smart-Grids, seront donc complexes, décentralisés et flexibles.

Actuellement, l'électronique de puissance est peu présente dans les réseaux de distribution électrique, notamment du fait de la configuration relativement classique de la production d'énergie centralisée, utilisant des centrales de forte capacité. Mais le déploiement des énergies renouvelables au cœur des futurs réseaux implique obligatoirement une gestion plus flexible des flux d'énergie et donc une intégration massive de convertisseurs d'électronique de puissance et d'organes de stockage. Le rôle des interfaces d'électronique de puissance sera essentiel puisqu'elles permettront d'assurer la gestion des flux d'énergies, l'amélioration de l'onde et la stabilité nécessaire au bon fonctionnement de ces réseaux. Les dispositifs de stockage permettront par contre d'aider à assurer l'équilibre entre la production et la demande, à stabiliser le réseau lors de forts transitoires de puissance, et enfin à améliorer la qualité de l'énergie à travers la compensation d'énergie réactive, la réduction des fluctuations de tension ou des perturbations harmoniques.

Depuis un certain nombre d'années, des solutions d'intégration de systèmes de stockage sur des réseaux de moyenne et haute tension sont étudiées, en s'appuyant notamment sur des architectures de convertisseurs multicellulaires, aussi appelés MMC1. Le principe est de mettre en série un nombre élevé de sous modules identiques, utilisant des technologies de composants Silicium classiques basse tension (de l'ordre de 1 kV). Cette structure apporte une très grande flexibilité, tant sur la capacité à monter en tension que sur les possibilités de stratégies de pilotage et de gestion des échanges énergétiques. Mais dans le cadre d'applications de forte tension et de forte puissance, outre la flexibilité et la modularité des solutions proposées, une des principales préoccupations reste l'efficacité énergétique et la

fiabilité de ces structures MMC. Depuis maintenant quelques années, de nouveaux composants en carbure de silicium (SiC), dits Grand Gaps, commencent à arriver à maturité et sont amenés à remplacer à moyen terme, pour un certain nombre d'applications, les technologies de transistors MOSFET ou IGBT à base de Silicium. Ces nouveaux composants ont pour principaux atouts la réduction drastique des pertes en commutation ainsi que leur tenue en tension et en température. Ils représentent donc un candidat idéal pour l'amélioration de ces convertisseurs MMC. Mais ces nouveaux composants, du fait de leur haute densité de puissance, s'accompagnent de contraintes thermiques beaucoup plus fortes qui rendent particulièrement complexe leur intégration optimale. S'ajoute à cela des profils d'usages pouvant être très variables et ayant une forte influence sur le vieillissement des composants de puissance et donc sur la fiabilité globale du dispositif.

Le travail de thèse que nous proposons ici vise ainsi à étudier l'intégration de ces nouveaux composants grand gap, sous l'angle de la fiabilité et de la durée de vie des composants, en fonction du ou des services réseaux envisagés. Ce travail permettra également de considérer la contrainte de vieillissement des composants SiC dans les outils d'optimisation et d'aide au développement de structures MMC. Nous nous intéresserons également aux grandeurs à monitorer au plus près de la puce de semiconducteur dans un objectif de suivi de vieillissement de cette dernière. La problématique du transfert des grandeurs monitorées depuis les cellules à haute tension vers le contrôle commande sera traitée par l'ajout de fonctions de communication adéquates au sein même du convertisseur de puissance.

## Références

- [1] A. Mahé, A. Houari, J.C. Olivier, M. Machmoum, J. Deniaud. Modulation technique highlight for state of charge balancing on a series cascaded converter. In Electrimacs, Toulouse, France, 2017.
- [2] A. Mahé, A. Houari, J.-C. Olivier, M. Machmoum, J. Deniaud. Optimal design of a multilevel cascaded converter for a grid-tied battery energy storage system, European Journal of Electrical Engineering, accepté pour publication, 2018.
- [3] C. Durand et al. Power Cycling Reliability of Power Module: A Survey, in IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, vol. 16, no. 1, pp. 80-97, March 2016.
- [4] L. Wu et al. Efficiency Evaluation of the Modular Multilevel Converter Based on Si and SiC Switching Devices for Medium/High-Voltage Applications, IEEE Trans. on Electron. Devices, vol. 62, no. 2, feb 2015.
- [5] O. Palizban et al. Microgrids in active network management—Part I: Hierarchical control, energy storage, virtual power plants, and market participation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 36, 2014.
- [6] C. Bouguet, N. Ginot, C. Batard, Communication Functions for a Gate Driver Under High Voltage and High dv/dt. IEEE Transactions on Power Electronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, PP (99), DOI : 10.1109/TPEL.2017.2750744.
- [7] J. Jousse, N. Ginot, C. Batard, E. Lemaire, Power Line Communication Management of Battery Energy Storage in a Small Scale Autonomous Photovoltaic System. IEEE Transactions on Smart Grid, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, 8 (5), pp.2129 – 2137, DOI : 10.1109/TSG.2016.2517129.

## **MMCSiC — Integration of Wide-bandgap SiC components in MMC structures: Optimization tools and monitoring of semiconductors**

**Funding** — RFI WISE (Region Pays de la Loire — University of Nantes)

**Beginning of the project** — 1st october 2018

The current targets for reducing greenhouse gas emissions for 2020 push all industrial sectors to develop carbon-free energy production solutions. The sources of renewable electric energy that are destined to be developed in the medium term are photovoltaics and wind power. However, it turns out that these production methods are decentralized by nature, since their location is closely linked to the availability of the resource and their intermittent nature makes it difficult to predict production in the medium term. In addition, the deployment of new power grid infrastructures must therefore integrate upstream this intermittent nature of renewable energies. The various improvements under investigation are therefore aimed at increasing the flexibility of the grid, through intelligent energy management and the integration of new storage systems. The latter will inevitably participate in the development of renewable energies by offering the necessary flexibility at the grid level and the improvement of services. Thus, the electrical energy produced can be stored during periods of low consumption or overproduction, and can be reinjected to the network on demand. The power generation networks of tomorrow, also called Smart-Grids, will be complex, decentralized and flexible.

Currently, the power electronics is not very present in power distribution networks, particularly because of the relatively conventional configuration of centralized power generation, using high capacity plants. But the deployment of renewable energy at the heart of future networks necessarily implies a more flexible management of energy flows and therefore a massive integration of power electronics converters and storage devices. The role of the power electronics interfaces will be essential since they will ensure the management of energy flows, the improvement of the power quality and the necessary stability for the proper functioning of Smart-Grids. On the other hand, the storage devices will help to ensure a balance between production and demand, to stabilize the network during strong power transients, and finally to improve the quality of energy through energy compensation: reactive, reducing voltage fluctuations or harmonic disturbances.

For a number of years, solutions for the integration of storage systems on medium and high voltage networks have been studied, based in particular on architectures of multicellular converters, also called MMC. The principle is to put in series a large number of identical submodules, using conventional silicon low voltage component technologies (of the order of 1 kV). This structure provides a great deal of flexibility, both in terms of the capacity to increase the voltage and the possibilities of strategies for managing and managing energy exchanges. But in the context of high voltage and high power applications, in addition to the flexibility and modularity of the proposed solutions, one of the main concerns is the energy efficiency and reliability of these MMC structures. For some years now, new silicon carbide (SiC) components, known as Wide-bandgap, have begun to mature and are being replaced in the medium term, for a number of applications, by Silicon base MOSFET or IGBT transistors. These new components have for main assets the drastic reduction of the

switching losses as well as their resistance in voltage and temperature. They are therefore an ideal candidate for improving these MMC converters. But these new components, because of their high power density, are accompanied by much stronger thermal stresses that make it particularly complex their optimal integration. Added to this are usage profiles that can be very variable and have a strong influence on the aging of the power components and therefore on the overall reliability of the device.

The thesis work that we propose here aims to study the integration of these new wide-bandgap components, in terms of the reliability and the life of components, depending on the network services envisaged. This work will also allow the aging stress of SiC components to be considered in the tools for optimizing and assisting the development of MMC structures. We will also focus on the quantities to be monitored as close as possible to the semiconductor chip in order to monitor the aging of the semiconductor. The problem of transferring the quantities monitored from the high voltage cells to the control will be dealt with by adding adequate communication functions within the power converter itself.

## References

- [1] A. Mahé, A. Houari, J.C. Olivier, M. Machmoum, J. Deniaud. Modulation technique highlight for state of charge balancing on a series cascaded converter. In *Electrimacs*, Toulouse, France, 2017.
- [2] A. Mahé, A. Houari, J.-C. Olivier, M. Machmoum, J. Deniaud. Optimal design of a multilevel cascaded converter for a grid-tied battery energy storage system, *European Journal of Electrical Engineering*, accepté pour publication, 2018.
- [3] C. Durand et al. Power Cycling Reliability of Power Module: A Survey, in *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, vol. 16, no. 1, pp. 80-97, March 2016.
- [4] L. Wu et al. Efficiency Evaluation of the Modular Multilevel Converter Based on Si and SiC Switching Devices for Medium/High-Voltage Applications, *IEEE Trans. on Electron. Devices*, vol. 62, no. 2, feb 2015.
- [5] O. Palizban et al. Microgrids in active network management—Part I: Hierarchical control, energy storage, virtual power plants, and market participation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 36, 2014.
- [6] C. Bouguet, N. Ginot, C. Batard, Communication Functions for a Gate Driver Under High Voltage and High dv/dt. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, PP (99), DOI : 10.1109/TPEL.2017.2750744.
- [7] J. Jousse, N. Ginot, C. Batard, E. Lemaire, Power Line Communication Management of Battery Energy Storage in a Small Scale Autonomous Photovoltaic System. *IEEE Transactions on Smart Grid*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, 8 (5), pp.2129 – 2137, DOI : 10.1109/TSG.2016.2517129.