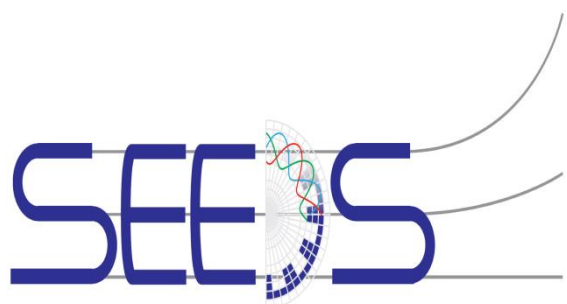


École Thématique CNRS 2019

Fiabilité et Sûreté de Fonctionnement

*De la physique d'endommagement des composants de puissance  
à la sûreté de fonctionnement des convertisseurs statiques*



Depuis 80 ans, nos connaissances  
bâtissent de nouveaux mondes

Contenu de la formation

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
08:00-08:30					
08:30-10:00		CM: Technologie des composants actifs <b>C. Buttay (Ampère)</b> <b>F. Morancho (LAAS)</b>	CM: Estimation de la durée de vie des composants de puissance <b>Z. Khatir (SATIE-IFSTTAR)</b>	CM: Technologie et vieillissement des composants passifs <b>M. Makdessi (KEMET)</b>	CM: sécurisation des convertisseurs de puissance <b>F. Richardeau (Laplace)</b>
10:00-10:30	Point rencontre à La Rochelle	Pause café/Session poster doctorant			
10:30-12:00	Accueil et transfert vers le centre "La Vieille Perrotine"	CM: Robustesse des composants actifs <b>M. Berkani (SATIE)</b>	TD: Estimation de la durée de vie des composants de puissance <b>Z. Khatir (SATIE-IFSTTAR)</b>	CM: Diagnostic <b>P. Venet (Ampère)</b> <b>F. Richardeau (Laplace)</b> <b>J. Brandelero (MITSUBISHI ELECTRIC)</b>	CM: Reconfiguration des convertisseurs de puissance <b>A. Gaillard (FEMTO-ST)</b>
12:00-13:30	Pause déjeuner				
13:30-14:00	Présentation de l'école				
14:00-15:00	CM: Méthodes usuelles pour déterminer les taux de défaillance des composants <b>P. Venet (Ampère)</b> <b>F. Bayle (Thales Avionics)</b>	CM/TD: Robustesse des composants actifs <b>D. Trémouilles (LAAS)</b>	Atelier doctorants <b>François Boige (Laplace)</b> <b>Shengrong Zhuo (FEMTO-ST)</b> <b>Antoine El Hayek (Ampère)</b>	Atelier-table ronde: Point de vue multidomains des industriels, aujourd'hui et demain! <b>M. Piton (ALSTOM)</b> <b>S. Azzopardi (SAFRAN)</b> <b>J. Brandelero (MITSUBISHI ELECTRIC)</b>	Bilan et Evaluation de l'école
15:00-15:30	Pause café/Session poster doctorant				
15:15-17:30	TD: Méthodes usuelles pour déterminer les taux de défaillance des composants <b>L. Théolier (IMS)</b> <b>F. Bayle (Thales Avionics)</b>	CM: Vieillessement des composants actifs <b>L. Dupont (SATIE-IFSTTAR)</b>	Activité culturelle en groupe (16h15) (Croisière autour du Fort Boyard)		Transfert vers La Rochelle

Module 1	Méthodes usuelles pour la détermination du MTBF des circuits électroniques et limites de leur utilisation
Module 2	Technologies et vieillissement des composants de puissance
Module 3	Robustesse des composants actifs
Module 4	Diagnostic, pronostic, sécurisation et reconfiguration des topologies
Atelier doctorants	Présentation des travaux de doctorants
Atelier-Table ronde	Point de vue multi-domaines des industriels: aujourd'hui et demain!



<b>Module 1 :</b> <b>Méthodes usuelles pour la détermination du MTBF des convertisseurs statiques et limites de leur utilisation</b>	Format	Durée
	CM	1h30
	TD	2h

**CM1 :**

- Quelques notions et rappels sur la sûreté de fonctionnement (importance de la sûreté de fonctionnement, les grandeurs de la sûreté de fonctionnement, notions de défaillance, les temps moyens, taux de défaillance, lois de probabilités du taux de défaillance), les essais de vieillissement accéléré (intérêt et principe des essais de vieillissement accéléré, loi d'Arrhenius, d'Eyring, exemples de vieillissement accéléré pour des composants), estimation de la fiabilité des composants d'électronique de puissance (utilisation des recueils de fiabilité, limite d'utilisation des recueils)
- dimensionnement d'un essai accéléré, dimensionnement des intervalles de mesures, prise en compte de l'effet de la maintenance, du profil de vie considéré.

**TD1 :**

- Dimensionnement d'un essai accéléré, prise en compte de l'effet de la maintenance, du profil de vie considéré.
- Exemple d'utilisation du recueil FIDES, calcul de coefficient de Coffin-Manson.

Franck Bayle  
Expert fiabilité THALES  
Avionics  
Franck.bayle@fr.thalesgroup.com



Loic Theolier  
Maître de Conférences à  
l'Université de Bordeaux  
loic.theolier@ims-bordeaux.fr



Pascal Venet  
Professeur à l'Université  
Claude Bernard Lyon 1,  
pascal.venet@univ-lyon1.fr

Expert fiabilité chez Thales Avionics, ses activités concernent la fiabilité prévisionnelle (FIDES), la fiabilité opérationnelle (RETEX), les essais accélérés, les essais aggravés et le déverminage. Il étudie en particulier la prise en compte des mécanismes de vieillissement, l'estimation des paramètres du modèle et leurs propriétés statistiques.

Maître de Conférences à l'Université de Bordeaux, il est chercheur au laboratoire IMS dans le groupe FIABILITE et enseignant à l'IUT GEII de Bordeaux. Ses activités de recherche concernent la compréhension et la modélisation des mécanismes de défaillance des composants de puissance. Il étudie en particulier les semi-conducteurs grand-gap, les interconnexions et les joints de brasures, sous différentes contraintes environnementales.

Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1, il est chercheur au laboratoire Ampère, responsable de la priorité « Systèmes et Energies Sûrs » et enseignant à l'IUT Lyon 1, chef du département « Génie Industriel et Maintenance ». Ses activités de recherche concernent l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des systèmes de stockage d'énergie électrique, c'est à dire des batteries, des supercondensateurs et des condensateurs. Il étudie en particulier pour ces composants leurs caractérisations, leurs modélisations, les mécanismes de vieillissement, les moyens pour estimer leur durée de vie et pour pronostiquer leur défaillance.

	Format	Durée
<b>Module 2 :</b> <b>Technologies et vieillissement des composants de puissance</b>	CM	2h00
	CM	1h30
	CM	1h30
	TD	1h30
	CM	2h00

A partir du constat fait dans le module 1 et les limites en robustesse des composants actifs abordées dans le module 3, il s'agit de présenter dans ce module **la technologie des composants actifs et passifs** utilisés dans les convertisseurs statiques, les mécanismes de vieillissement et les signatures correspondantes.

**CM2.1 : Technologie des composants actifs et leur assemblage** (F. Morancho / C. Buttay)

- Etat de l'art sur les nouveaux composants de puissance (Si, SiC, GaN)
- Etat de l'art sur les technologies d'assemblage, d'interconnexion et d'encapsulation des composants et modules de puissance

**CM2.2 : Vieillessement des composants actifs** (L. Dupont)

- Méthodologies de vieillissement des composants actifs
- Contraintes thermiques et électriques: profil de mission
- Les critères de défaillance et les indicateurs de vieillissement

**CM2.3 : Physique de la défaillance et modèles de durée de vie** (Z. Khatir)

- Modèles Physique de la défaillance
- Modèles de durée de vie restante (RUL)

**TD2.3 : Etude de cas : Durée de vie restante d'un module de puissance** (Z. Khatir)

**CM2.4 : Technologie et vieillissement des composants passifs** (M. Makdessi)

- Les différentes technologies de condensateurs utilisés en électronique de puissance
- Procédés de fabrication
- Les mécanismes de vieillissement des condensateurs
- Vieillessement : paramètres influents et signatures



Frédéric MORANCHO  
(Professeurs des  
Universités)  
LAAS-CNRS, Toulouse  
[morancho@laas.fr](mailto:morancho@laas.fr)

Frédéric MORANCHO est docteur en microélectronique de l'Université Paul Sabatier (Toulouse 3) depuis 1996 et habilité à diriger des recherches (HDR) depuis 2004. Depuis 1997, il est enseignant-chercheur (Maître de Conférences de 1997 à 2009, Professeur des Universités depuis 2009) à l'Université Paul Sabatier et au laboratoire LAAS-CNRS dans l'équipe "Intégration de Systèmes pour la Gestion de l'Énergie" (ISGE). Son domaine de recherche est l'invention, l'étude, la conception, la fabrication, la caractérisation et la modélisation de nouvelles architectures d'interrupteurs de puissance en silicium (Si) et en nitrure de gallium (GaN). Il a coordonné trois projets ANR : MOreGaN, ToPoGaN1 et SUPER SWITCH. De 2012 à 2016, il a été responsable de l'équipe ISGE qui regroupe une trentaine de chercheurs. Depuis novembre 2015, il est le directeur du département "Gestion de l'Énergie" du LAAS-CNRS, composé de trois équipes de recherche et d'une soixantaine de chercheurs. Il est l'auteur et le coauteur de plus de 100 publications dans des revues et conférences scientifiques internationales.



Cyril Buttay  
Laboratoire Ampère,  
Lyon  
[cyril.buttay@insa-lyon.fr](mailto:cyril.buttay@insa-lyon.fr)

Cyril BUTTAY est docteur en génie électrique de l'INSA de Lyon depuis 2004 et habilité à diriger des recherches depuis 2015. Il est auteur ou co-auteur de plus de 100 publications dans des revues et conférences scientifiques (disponibles sur <https://scholar.google.fr/citations?user=qMeCUkAAAAJ> et <https://cv.archives-ouvertes.fr/cyril-buttay> )

De 2005 à 2007, il a été chercheur associé avec les universités de Sheffield puis Nottingham, au Royaume-Uni. Depuis janvier 2008, il est chargé de recherche CNRS au Laboratoire Ampère, à Lyon. Sa thématique de recherche est le packaging en électronique de puissance, que ce soit pour les applications haute température (plus de 200°C), haute tension (plus de 10 kV), ou à fort niveau d'intégration.



Laurent DUPONT  
(Chargé de recherche)  
SATIE-IFSTTAR  
Versailles

Laurent DUPONT est ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers (75003 Paris) depuis 2002 et a obtenu le titre de docteur en électronique, électrotechnique et automatique de l'École Normale Supérieure de Cachan (ENS-Cachan) en 2006. Après dix années d'expérience dans l'industrie jusqu'en 2002, il exerce actuellement les fonctions de chercheur du ministère de la Transition écologique et solidaire à l'IFSTTAR depuis 2007 au sein du laboratoire SATIE à Versailles. Ses travaux s'attachent à améliorer la fiabilité et la disponibilité des modules à semi-conducteurs de puissance. Les actions portent particulièrement sur l'évaluation de paramètres thermosensibles et de ceux utiles pour évaluer l'endommagement des composants électroniques de puissance dans leurs conditions d'utilisation.



Zoubir Khatir  
Directeur de recherche  
[zoubir.khatir@ifsttar.fr](mailto:zoubir.khatir@ifsttar.fr)

Responsable du groupe de recherche TEMA du laboratoire SATIE, il s'intéresse au vieillissement des structures de puissance vis-à-vis de la fatigue thermique et à la modélisation du vieillissement.



Maawad MAKDESSI  
Ingénieur d'application  
KEMET Electronics  
[maawadmakdessi@kemet.com](mailto:maawadmakdessi@kemet.com)

Maawad MAKDESSI a obtenu son doctorat en génie électrique de l'Université de Lyon (France) en 2014. Il s'est spécialisé dans la modélisation, caractérisation, vieillissement et la surveillance de l'état de santé des condensateurs films utilisés dans des applications de l'électronique de puissance. Ses travaux chez Exxelia consistaient à l'étude, la conception, la fabrication, la caractérisation et la modélisation d'architecture de condensateurs de puissance utilisant les films métallisés et le mica comme diélectrique. Depuis septembre 2018, il a rejoint le groupe KEMET Electronics en tant qu'ingénieur d'application pour assurer la relation technique avec les différentes entités du Groupe (R&D, Production, Qualité, Commercial) et l'utilisateur final, réaliser les offres techniques des nouveaux projets en réponse aux appels d'offres, assurer les formations techniques internes et externes, et identifier les technologies et les marchés que l'entreprise devrait mieux développer et exploiter afin d'offrir de la valeur et un avantage concurrentiel.

<b>Module 3 :</b> <b>Robustesse des composants actifs</b>	Format	Durée
	CM - TD	03h00

**Pré-requis:**

- Connaissance de base sur les interrupteurs de puissance

**Objectifs du cours:**

- Rappel sur les principaux tests de vieillissement et modes de défaillance des composants et modules de puissance à base de silicium.
- Décrire les principales spécificités des composants à grand gap (SiC et GaN).
- Faire un état de l'art sur les «faiblesses» constatées sur les composants actifs (Si et SiC), les principaux modes de défaillance constatés.
- Faire un état de l'art des études portant sur la robustesse de ces composants
- Comprendre ce qu'est la robustesse ESD (ElectroStatic Discharge); comment et pourquoi la caractériser

**Référence utile au module**

- M. Berkani, L. Dupont, Fatigue des composants électroniques de puissance, Techniques de l'ingénieur, D3126, 2010
- D. Tournier, Composants de puissance en SiC-Applications, Techniques de l'ingénieur, D3122V1, 2007

## Liste des intervenants :



David Trémouilles  
(Chargé de recherche LAAS-  
CNRS)  
[david.tremouilles@laas.fr](mailto:david.tremouilles@laas.fr)

David Trémouilles est chargé de recherche CNRS au LAAS. Ses travaux actuels portent sur la caractérisation et la compréhension des mécanismes physiques de dégradation dans les nouveaux composants de puissance dit grand-gaps (SiC, GaN, Diamant).



Mounira Berkani  
(Maître de conférences à l'UPEC,  
SATIE)  
[mounira.berkani@satie.ens-cachan.fr](mailto:mounira.berkani@satie.ens-cachan.fr)

Mounira Berkani est maître de conférences à l'UPEC-ESPE de Créteil et rattachée au laboratoire SATIE. Elle mène ses travaux de recherche portant sur la robustesse des composants de puissance sous contraintes thermiques et électrique au sein du groupe «Électronique de Puissance et Intégration».

Depuis juin 2016, elle co-anime le GT FiabSurF (de la physique d'endommagement des composants à la sûreté de fonctionnement des convertisseurs statiques de puissance) au sein du GDR SEEDS.



<b>Module 4 :</b> <b>Diagnostic, pronostic, sécurisation et reconfiguration</b>	Format	Durée
	CM Diagnostic	1h30
	CM Sécurisation	2h00
	CM Reconfiguration	1h30

**Pré-requis:**

- Physique du semi-conducteur, électronique et circuits de base de l'électronique de puissance.

**Objectifs du cours Diagnostic (3 intervenants)**

- Pascal Venet (Lab. AMPERE) : paramètres influençant les signatures du vieillissement des condensateurs, suivi du vieillissement en ligne des condensateurs utilisés en électronique de puissance, approche locale (condensateur intelligent) et globale (méthode de diagnostic, pronostic des condensateurs utilisés dans un équipement).

- Frédéric Richardeau (Lab. LAPLACE) : diagnostic thermique et électrique sur puce et observables, méthodes off-line et on-line. Diagnostic temporel "grand-signal" et fréquentiel "harmonique dédié" sur onduleur 2 niveaux et multiniveaux.

- Julio Brandelero (Mitsubish Electric) : Contrôle de la température de jonction avec estimation de la température de jonction à l'aide d'un pilote de grille pour prolonger la durée de vie d'un module multichip. Un contrôle d'équilibre de la température de jonction est déployé pour lutter contre le vieillissement inégal des puces sur des modules avec de multiples transistors et augmenter ainsi la durée de vie de ces derniers. Pour mesurer la température de jonction, la résistance de la grille interne de chaque transistor est utilisée comme paramètre sensible.

**Objectifs du cours Sécurisation** (Frédéric Richardeau) : connaissance des limites physiques et technologiques des semi-conducteurs (Si et WBG), du niveau de robustesse en régime extrême (court-circuit et haute température) et des modes de défaillances associés, des méthodes de protection à l'échelle du composant et d'un onduleur, des principes de sécurisation par isolement de sécurité et de redondance simple et directe (back-up) par connexion secours et poursuite de mission. Etudes de cas et illustrations par des résultats issus de projets. Compléments : fiabilisation d'un onduleur, relations circuit onduleur (avec ou sans back-up) – diagramme de fiabilité – lois de fiabilité.

**Objectifs du cours Reconfiguration** (Arnaud Gaillard) : connaissance des structures de l'onduleur de tension 2 niveaux sans redondance (avec neutre ou phase connectée au point milieu du bus continu) et avec redondance (active, passive, mutualisation, système). Algorithmes de détection et d'identification de défauts d'interrupteurs par diagnostic temporel et fréquentiel. Modification de la commande associée à l'onduleur de tension pour retrouver un fonctionnement nominal. Impact sur les pertes et le dimensionnement (onduleur et passif). Compléments : diagramme de fiabilité, lois de fiabilité (Markov,...), extrapolation vers une structure similaire en DC/DC.

**Références utiles au module**

- [1] Introduction à la sûreté de fonctionnement de l'onduleur de tension. Modes de défauts principaux et principes de sécurisation, Frédéric Richardeau, Arnaud Gaillard, Techniques de l'Ingénieur, fascicule n°D3179, 10 mai 2017.
- [2] Introduction à la sûreté de fonctionnement de l'onduleur de tension. Structures de redondance et principes de reconfiguration, Frédéric Richardeau, Arnaud Gaillard, Techniques de l'Ingénieur, fascicule n°D3180, 10 mai 2017.

## Intervenants



Pascal Venet  
Professeur à l'Université Claude  
Bernard Lyon 1  
[pascal.venet@univ-lyon1.fr](mailto:pascal.venet@univ-lyon1.fr)

Pascal Venet est Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1 et chercheur au laboratoire Ampère, responsable de la priorité « Systèmes et Energies Sûrs » et enseignant à l'IUT Lyon 1, chef du département « Génie Industriel et Maintenance ». Ses activités de recherche concernent l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des systèmes de stockage d'énergie électrique, c'est à dire des batteries, des supercondensateurs et des condensateurs. Il étudie en particulier pour ces composants leurs caractérisations, leurs modélisations, les mécanismes de vieillissement, les moyens pour estimer leur durée de vie et pour pronostiquer leur défaillance.



Frédéric Richardeau  
Directeur de Recherche au CNRS  
[richard@laplace.univ-tlse.fr](mailto:richard@laplace.univ-tlse.fr)

Frédéric Richardeau est Chercheur CNRS et chargé de cours en électronique de puissance depuis une vingtaine d'années au LEEI-ENSEEIH puis au LAPLACE. Animateur du pôle GDR ME<sup>2</sup>-MS (Maîtrise de l'Énergie Électrique – des Matériaux aux Systèmes) de 2001 à 2005. Fondateur et animateur de l'action transversale intergroupe FIDIAG au sein du LAPLACE de 2006 à 2013 et responsable de l'équipe Convertisseurs Statiques de 2009 à 2015 (30 personnes). Membre du CoNRS de 2016 à 2018. Ses travaux portent sur la caractérisation, la modélisation et la conception de composants actifs semi-conducteurs plus robustes et aux modes de défaillances maîtrisés en lien avec leur driver comme organe évolué de surveillance – diagnostic jusqu'à la recherche de structures de conversion sécurisées, reconfigurables et à tolérance de panne pour applications critiques.



Julio Brandelero  
Ingénieur de recherche  
Mitsubishi Electric  
[j.brandelero@fr.mercede.mee.com](mailto:j.brandelero@fr.mercede.mee.com)

Julio Brandelero a reçu le diplôme d'ingénieur électrique de l'Université Fédérale de Santa Catarina, au Brésil, et également le diplôme d'ingénieur et master recherche de l'ENSEEIH, à Toulouse, France. Il a obtenu son grade de doctorat en électronique de puissance de l'Université de Toulouse en 2015 dans le cadre d'une thèse CIFRE entre le laboratoire Laplace et la société Cirtem. La même année, il a rejoint Mitsubishi Electric R&D Centre Europe à Rennes où il mène ses recherches sur la surveillance de fonctionnement, la fiabilité et la robustesse des convertisseurs de puissance.



Arnaud Gaillard  
Maître de Conférences à  
l'Université de Technologie de  
Belfort-Montbéliard (UTBM)  
[arnaud.gaillard@utbm.fr](mailto:arnaud.gaillard@utbm.fr)

Arnaud Gaillard est docteur en génie électrique de l'Université de Lorraine depuis 2010. Depuis 2011, il est enseignant-chercheur (Maître de Conférences) à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). Il anime le pôle thématique Convertisseurs Statiques au sein de l'équipe SHARPAC du département Energie de l'Institut FEMTO-ST/CNRS. Ses travaux de recherche concernent la sûreté de fonctionnement des convertisseurs de puissance et l'intégration de fonctionnalités avancées pour la surveillance et le diagnostic des composants actifs et des sources pour des applications critiques.

Depuis juin 2016, il co-anime le GT FiabSurF (de la physique d'endommagement des composants à la sûreté de fonctionnement des convertisseurs statiques de puissance) au sein du GDR SEEDS.

<b>Atelier Industriels :</b> <b>La fiabilité des convertisseurs de puissance traitée dans les différents domaines d'activités (aéronautique, ferroviaire, automobile...)</b>	Format	Durée
	Séminaire	2h00
	Table ronde	1h30

**Fiabilité des convertisseurs de puissance pour la traction ferroviaire : enjeux, méthodes et défis**

par Michel Piton, Alstom Transport

Résumé : Les convertisseurs de puissance sont des organes essentiels de la chaîne de conversion d'énergie embarquée à bord des engins de traction ferroviaire. L'évolution des semi-conducteurs de puissance a permis d'améliorer les performances des engins au fil du temps. Les semi-conducteurs de puissance sont également très critiques pour la fiabilité de l'équipement tout au long de la vie du véhicule (typiquement 20 à 40 ans). C'est pourquoi la prise en compte de la fiabilité, de la phase de conception au suivi des équipements en service est un enjeu majeur pour le constructeur de matériel ferroviaire. Après un rappel des contraintes spécifiques des convertisseurs ferroviaires embarqués, la présentation détaillera l'approche « Design for Reliability » actuellement déployée et introduira les nouveaux défis associés à l'introduction de nouvelles technologies de modules semi-conducteurs de puissance intégrant notamment des dispositifs à base de SiC. Enfin, les perspectives de développement d'une stratégie de maintenance prédictive rendue possible par la digitalisation seront discutées.

**L'anti-fragilité en Electronique de Puissance**

par Julio Brandelero, Mitsubishi Electric

Résumé : Certains secteurs, tels que la traction et l'éolien, exigent une surveillance accrue de l'état de santé des convertisseurs de puissance afin de maximiser leur taux de disponibilité. Quels sont les développements actuels et les voies envisagées afin de réaliser une électronique de puissance anti-fragile?

**More Electrical Aircraft & More Electrical Propulsion : les défis relevés par Safran dans l'électronique de puissance pour les applications aéronautiques de 2020+**

par Stéphane Azzopardi, SafranTech

Résumé : Tout comme le secteur de l'automobile, le domaine de l'aéronautique est impacté par les enjeux liés à l'énergie : réduction de la consommation de kérosène, réduction de la pollution, réduction du niveau sonore... Afin de contribuer à cet effort mondial, des programmes d'électrification des aéronefs ont vu le jour il y a une quinzaine d'année. More Electrical Aircraft pour l'électrification des systèmes non propulsifs (commande de vol, roue électrique e-taxiing, inverseur de poussée ...) avec pour objectifs le remplacement des systèmes hydrauliques ou pneumatiques avec notamment un gain sur la masse, l'encombrement, la maintenance des systèmes. More Electrical Propulsion pour l'électrification des systèmes propulsifs : comment suppléer une turbomachine en l'association avec une machine électrique ? Et comment rendre un aéronef tout électrique ? Ces défis sont de taille pour les électroniques de puissance qui vont devoir évoluer dans des environnements sévères (température, vibration, humidité, dépression), contraints en disponibilité, en maintenabilité, en facteur de forme, ... La fiabilité de ces électroniques est un enjeu majeur et devient prépondérante dans la conception de ces systèmes. Après avoir présenté les systèmes applicatifs et rappelé les différents enjeux attendus au niveau des systèmes non propulsifs et propulsifs, quelques axes de recherche développés dans le Groupe Safran seront présentés : outils de pré-dimensionnement de modules de puissance, deux exemples de modules de puissance avec systèmes de refroidissements optimisés et un circuit de commande gate driver intelligent pour MOSFET SiC.

## Intervenants :



Michel Piton  
Ingénieur R&D – Expert  
Alstom Transport  
[michel.piton@alstomgroup.com](mailto:michel.piton@alstomgroup.com)

Michel Piton a obtenu un diplôme d'Ingénieur ENSIEG en 1989. Il a rejoint ALSTOM Transport en 1990. Il a participé au développement des premières chaînes de traction à IGBT ONIX™ et occupé le poste de Chef de Service Validation Composants et Convertisseurs de Puissance à Tarbes de 2002 à 2009. Michel Piton est actuellement responsable de programmes R&D visant notamment à évaluer les performances, la robustesse et la fiabilité des composants à base de SiC pour la traction ferroviaire. Il contribue au projet européen Shift2Rail notamment sur la thématique de « la fiabilité des semi-conducteurs de puissance ». Michel PITON est représentant ALSTOM à ECPE (European Center for Power Electronics) depuis 2013.



Julio Brandelero  
Ingénieur R&D - Expert  
Mitsubishi Electric  
[j.brandelero@fr.mercedes-mee.com](mailto:j.brandelero@fr.mercedes-mee.com)

Julio Brandelero a reçu le diplôme d'ingénieur électrique de l'Université Fédérale de Santa Catarina, au Brésil, et également le diplôme d'ingénieur et master recherche de l'ENSEEIH, à Toulouse, France. Il a obtenu son grade de doctorat en électronique de puissance de l'Université de Toulouse en 2015 dans le cadre d'une thèse CIFRE entre le laboratoire Laplace et la société Cirtem. La même année, il a rejoint Mitsubishi Electric R&D Centre Europe à Rennes où il mène ses recherches sur la surveillance de fonctionnement, la fiabilité et la robustesse des convertisseurs de puissance.



Stéphane Azzopardi  
Ingénieur R&D - Expert  
Safran Tech  
[stephane.azzopardi@safrangroup.com](mailto:stephane.azzopardi@safrangroup.com)

Stéphane Azzopardi est Ingénieur de l'INSA Toulouse et Docteur - HDR de l'Université de Bordeaux. De 2003 à 2015, il a été Enseignant – Chercheur à Bordeaux INP et au Laboratoire IMS. Aujourd'hui, il est Responsable de l'équipe Composants, Modules Electronique et Matériaux à sein de Safran Tech. Ses thématiques de recherche s'inscrivent dans le cadre des évolutions vers du More Electrical Aircraft, More Electrical Propulsion. En particulier ses Axes de recherche portent sur : la caractérisation et l'étude de la robustesse des composants à semi-conducteur de puissance grand gap, les circuits de commande, les assemblages de puissance à haute densité - haute intégration, la fabrication additive appliquée au génie électrique, la conception de module de puissance haute tension, la fiabilité des assemblages de puissance, les isolants et conducteurs pour la haute tension, la modélisation multi-physique. Il est également Expert Société Safran sur les assemblages de puissance, Membre du comité d'évaluation scientifique de l'ANR "CE05 - Une énergie durable, propre, sûre et efficace" et Expert packaging pour la commission européenne (Space call H2020).

<b>Atelier Doctorants :</b> <b>Fiabilité dans les convertisseurs de demain</b>	Format	Durée
	Séminaire	1h30

Trois doctorants de troisième année de thèse présenteront leurs travaux en session plénière.

**Propriétés singulières sur Mosfet SiC relatives à sa robustesse et à ses modes de défaillance. Caractérisations, modélisation, analyse technologique et applications à un driver numérique dédié. Topologie fail-safe (LAPLACE).**

**Résumé :** Aujourd'hui, le transistor de puissance, du type MOSFET, en carbure de silicium (SiC) est une technologie de rupture permettant de répondre aux enjeux d'intégration et d'efficacité par un faible niveau de perte et une vitesse de commutation élevée. Cependant, leur fiabilité non maîtrisée et leur faible robustesse aux régimes extrêmes du type court-circuit répétitifs freinent aujourd'hui leur pénétration dans les applications industrielles. Dans cette thèse, une étude poussée du comportement en court-circuit d'un ensemble exhaustif de composants commerciaux, décrivant toutes les variantes structurelles et technologiques en jeu, a été menée sur un banc de test spécifique développé durant la thèse, afin de quantifier leur tenue au court-circuit. Cette étude a mis en lumière des propriétés à la fois génériques et singulières aux semi-conducteurs en SiC déclinés en version MOSFET tel qu'un courant de fuite dynamique de grille et un mode de défaillance par un court-circuit grille-source amenant, dans certaines conditions d'usage et pour certaines structures de MOSFET, à un auto-blocage drain-source. Une recherche systématique de la compréhension physique des phénomènes observés a été menée par une approche mêlant analyse technologique interne des composants défaillants et modélisation électrothermique fine. Une modélisation électrothermique compacte étendue à la prise en compte des modes de défaillance a été établie et implémentée dans un logiciel de type circuit. Ce modèle a été confronté à de très nombreux résultats expérimentaux sur toutes les séquences temporelles décrivant un cycle de court-circuit jusqu'à la défaillance. Ce modèle offre un support d'analyse intéressant et aussi une aide à la conception des circuits de protection. Ainsi, à titre d'application, un driver doté d'une partie de traitement numérique a été conçu et validé en mode de détection de plusieurs scénarii de court-circuit mais aussi potentiellement pour la détection de la dégradation de la grille du composant de puissance. Ce travail ouvre la voie à la conception de convertisseurs intrinsèquement sûrs et disponibles en tirant parti des propriétés atypiques et originales des semi-conducteurs en SiC et du MOSFET en particulier.



Après une classe préparatoire au Lycée Rouvière à Toulon, François Boige intègre l'École Normale Supérieure de Cachan en 2012. Il en sort diplômé en génie électrique en 2016 et major de promotion après avoir été reçu 6<sup>ième</sup> au concours de l'agrégation de science industrielle en 2015. Depuis 2016 il prépare son doctorat au laboratoire LAPLACE (INP Toulouse) en électronique de puissance et plus particulièrement la fiabilité de composant à large bande interdite (MOSFET SiC). Il enseigne aussi la conversion d'énergie en niveau Master à l'école d'ingénieur ENSEEIHT.

## Fault Tolerant Control of DC-DC Power Converter for Fuel Cell Application (Institut FEMTO-ST)

**Abstract:** Due to the fuel cell nonlinear volt-ampere characteristic, a dc-dc power converter is generally interfaced to regulate a constant dc bus. The power semiconductor is one of the most fragile components of the power converter. The switch failure could lead to degraded control performance or even unstable, component overstress, reduced efficiency and large current ripple. The objective of the thesis is developing the fault tolerant control to protect the converter circuit and ensure the proper operation of the post-fault converter system. The first part is developing a robust fault tolerant control based on active disturbance rejection control algorithm. Within this control framework, the switch fault uncertainty, together with the converter circuit parameter uncertainties and external disturbances, are treated as the total disturbance, which is estimated and then canceled in the control law in real time. Thus, the converter can achieve almost consistent performance before and after the switch fault, without the need of fault information. The second part, which is underway, is designing an active fault tolerant control, including fault detection & diagnosis and fault reconfiguration, to cope with the component overstress and undesired high input current ripple caused by the switch fault.



**Shengrong Zhuo** received the bachelor's degree in electrical engineering from the China University of Mining and Technology, Xuzhou, China in 2014, and the master's degree in electrical engineering from Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China, in 2017. He is currently working toward the Ph.D. degree in electrical engineering with the FEMTO-ST Institute and FCLAB, University of Technology of Belfort-Montbéliard, Belfort, France. His main research interests include modeling and control of power converters and fuel cell systems.

## Détermination en ligne de la durée de vie restante des condensateurs électrolytiques dans un convertisseur d'énergie sans essais de vieillissement accéléré (AMPERE-Schneider Electric)

Les condensateurs électrolytiques font partie des composants électroniques qui ont la durée de vie la plus sensible. Une grande partie des défauts des convertisseurs statiques est due aux condensateurs électrolytiques. Il est donc nécessaire de se doter d'outils de diagnostic et de prévision de durée de vie restante de ces condensateurs. La thèse a pour objectif de créer une méthode capable d'estimer la durée de vie restante des condensateurs sans la nécessité de réaliser des essais de vieillissement accéléré préalables. Pour atteindre cet objectif, nous avons procédé comme suit :

### 1. Analyse du vieillissement des condensateurs électrolytiques

L'analyse englobe une étude sur les caractéristiques électriques des condensateurs électrolytiques, sur leurs principaux modes de défauts ainsi que sur les conditions de fonctionnement qui affectent leur durée de vie. On a choisi comme indicateurs de vieillissement les évolutions de la capacité et de la résistance équivalente série du condensateur.

### 2. Construction d'un algorithme permettant de calculer la durée de vie restante des condensateurs

Cet algorithme se base sur des méthodes simples et efficaces de pronostic qui, sans des essais préalables de vieillissement accéléré, permettent d'identifier l'allure d'évolution du vieillissement en fonction du profil de fonctionnement.

### 3. Réalisation de plusieurs essais de vieillissement sous différentes conditions de fonctionnement

Ces essais permettent d'étudier l'influence de chaque condition (température, tension et courant d'ondulation) sur le vieillissement des condensateurs pour pouvoir mettre au point la méthode de pronostic étudiée. Des caractérisations fréquentielles et temporelles sont réalisées périodiquement pour enregistrer la variation des caractéristiques des condensateurs au cours du vieillissement.

#### 4. Étude d'un cas pratique et réalisation d'un prototype

Les condensateurs utilisés pour la fonction de filtrage dans un variateur de vitesse présentent un cas qui nous intéresse. À partir de différentes mesures on arrive à la détermination de l'évolution des indicateurs de vieillissement et des conditions de fonctionnement pour enfin déterminer la durée de vie restante des condensateurs dans l'équipement.



**Antoine El Hayek** né à Beit Chabab, Liban en aout 1993. Il a reçu son diplôme d'ingénieur en électrique et automatique de l'INP – ENSEEIHT en 2016. Actuellement, il fait son doctorat en génie électrique au sein du groupe Schneider Electric et le laboratoire Ampère de Lyon sous contrat CIFRE. Son travail de recherche s'oriente vers l'analyse de vieillissement et l'estimation de durée de vie des condensateurs électrolytiques.