

Sujet de thèse : *Exploration des conditions de la circularité "absolue" en électronique de puissance*

Spécialité de la thèse : Génie électrique / Electronique de puissance

Laboratoire d'accueil : (affilié à l'école doctorale EEATS) G2ELab

Equipe d'accueil : Equipe électronique de puissance (EP)

Directeurs de thèse :

Co-direction de Pierre Lefranc (50%) et Jean-Christophe Crébier (50%)

Contacts :

Pierre Lefranc : pierre.lefranc@g2elab.grenoble-inp.fr

Jean-Christophe Crébier : jean-christophe.crebier@g2elab.grenoble-inp.fr

**Premier contact : les deux directeurs de thèse (CV + lettre de motivation).
Les candidats retenus par les directeurs de thèse seront ensuite auditionnés par l'Ecode Doctorale EEATS.**

Description du sujet :

La transition énergétique est en route et le vecteur électricité sera l'énergie omniprésente dans la société de demain à travers les énergies renouvelables, les mobilités, la climatisation et toutes les applications ICT. De nombreux dispositifs seront conçus, produits, utilisés puis arriveront en fin de vie. La maîtrise des émissions de CO2 risque de se traduire par des impacts environnementaux majeurs au niveau de la pression sur les matières premières (industrie minière) et les pollutions associées (industrie minière polluante et solutions de traitements en fin de vie). Egalement la fin de vie des nombreux convertisseurs statiques pourrait devenir un enjeu majeur compte tenu de la complexité, du coût et des impacts sur l'environnement du recyclage face à l'extrême hétérogénéité des dispositifs (jusqu'à 70 matériaux différents dans un convertisseur). La circularité, en amont du recyclage, vise à maîtriser la demande de nouveaux équipements et à réduire les volumes de matières en fin de vie. La favoriser à travers tous les scénarios de circularité est l'unique solution face aux impacts environnementaux que va induire la transition énergétique. La circularité absolue, vise à garantir une circularité totale, ou au moins maximale pour réellement faire entrer la technologie électronique de puissance dans les conditions de la soutenabilité.

La circularité « absolue » repose sur un travail en amont pour repenser la conception et la production des convertisseurs statiques dans la perspective de la préservation de la valeur résiduelle. Ou comment revoir les variables et les choix de conception, de production et de gestion des conditions d'usageS (S en majuscule car usages multiples) des convertisseurs statiques pour garantir une circularité à 100% à travers la réparation, le ré-emploi (total ou partiel) et le reconditionnement et le recyclage en boucle fermée (à l'infini ou presque).

Les enjeux étant exposés, il faut aborder la question des verrous qui devront être résolus durant la thèse. L'électronique de puissance a longtemps fait la

part belle à l'innovation technologique et l'optimisation des performances. Ce faisant, de multiples topologies, lois de commande, composants, technologies et matériaux ont été développés. Cette extrême diversité, ou encore hétérogénéité s'oppose frontalement à la circularité. L'absence de modularité, de standardisation, de rationalisation limite considérablement les options de réparation et réemploi. **Il faut remettre en question des piliers de la discipline tout en continuant de répondre aux enjeux de la transition énergétique.** Comment concevoir avec moins de diversité, moins d'hétérogénéité, moins d'options à tous les niveaux ? Comment faire en sorte de rendre l'électronique de puissance plus « accessible », pour envisager des boucles de circularité plus locales ? Peut-on créer et produire une EP qui pourrait par la suite être réparée par l'artisan-réparateur (analogie du cordonnier) de l'EP ? Est-il envisageable qu'un écosystème de la circularité puisse voir le jour via un modèle économique revu et amélioré pour satisfaire les contraintes des limites planétaires ? La thèse conduira à l'exploration des contraintes socio-économiques (choix technologiques avec le rapport performances/impacts environnementaux, moyens et outils pour l'accessibilité technologique et technique, maillage territorial de l'écosystème de la circularité en EP, compétences et formations du tissu industriel de la circularité en EP) pour établir les bases d'un nouvel espace de conceptions et de solutions.

Le sujet est très disruptif dans le domaine. Au niveau industriel, cette perspective reste lointaine, les acteurs se concentrant sur l'impact CO2 sur le cycle de vie (ce qui est déjà une avancée mais très risquée sur les autres catégories d'impacts). De tels sujets commencent tout juste à être évoqués dans les groupes de travail. L'équipe EP du G2ELab se positionne à cette interface technique-écologique-sociologique-économique et revendique le fait que l'expert en EP reste et restera au cœur des solutions de demain, mais ne se fera pas sans l'aide de disciplines connexes nouvelles dans l'écosystème de l'électronicien de puissance.

Références bibliographiques :

Salomez, F.; Helbling, H.; Almanza, M.; Soupremanien, U.; Viné, G.; Voldoire, A.; Allard, B.; Ben-Ahmed, H.; Chatroux, D.; Cizeron, A.; et al. « *State of the Art of Research towards Sustainable Power Electronics* ». Sustainability 2024, 16, 2221. <https://doi.org/10.3390/su16052221>

Li Fang, Pierre Lefranc, Maud Rio, « *Barriers for eco-designing circular Power Electronics Converters* », 30th CIRP Life Cycle Engineering Conference, May 15-17, 2023, New Brunswick, New Jersey.

Li Fang et al., « *Eco-design implementation in Power Electronics: a literature review* », SATES Conference, 2023.

Tugce TURKBAY ROMANO, Li FANG, Maud RIO, Thecle ALIX, Julien MELOT, Fabrice SERRANO, Alexandre DRAY, Pierre LEFRANC, Yves LEMBEYE, Nicolas PERRY, Jean-Christophe CREBIER, « *Évaluation de la démontabilité des convertisseurs électroniques de puissance pour une circularité améliorée* », SGE'23 (Symposium de Génie Electrique), 5-7 juillet 2023, Lille, France

ENGLISH VERSION

Topic : *Towards absolute circularity conditions in power electronics*

Topic description :

The energy transition is pushing electricity to be more and more used in our future society. Many products will be built and will arrive in end-of-life. CO2 emission control may certainly induce huge environmental impacts due to draw materials (mining industries) and induced pollutions. Therefore, the end-of-life of static converters could become a tremendous issue because of the complexity, cost and environmental impacts of recycling due to the heterogeneity of converters (up to 70 different raw materials in a converter). Circularity, among the recycling step, is willing to control the need of new equipments and decrease the flow of raw materials in the end-of-life. To reduce environmental impacts due to energy transition, support all the scenarios of the circularity is the only solution. Absolute circularity is willing to guarantee the full circularity to make power electronics technologies fully sustainable.

Absolute circularity will induce to modify the way of designing and producing static converters so as to preserve the residual value. How to make new design, production and use conditions of static converters to guarantee a 100% circularity with repair, reuse (full or partial), refurbish and closed-loop recycling ?

Technological innovations and optimisations of performances are the main philosophy of power electronics. Therefore, many topologies, control law, components, technologies and materials have been developed. This huge diversity and heterogeneity is opposed to the concept of circularity. The lack of modularity, standardisation and rationalisation limit the conditions of repairability and reuse. How to rethink the basics of power electronics discipline ? How to design power converters with less diversity, heterogeneity and options ? How to make power electronics more accessible and make circularity loops more local ? Can power converters be designed, produced and repaired by craftspersons ? Is it possible that circularity in power electronics can work with a modified and improved economic model to reach planetary boundaries ? The PhD thesis will lead to explore social and economic constraints (technological choices with performances/environmental impacts ratio, means and tools for accessibility of technologies, territorial meshing of circularity, skills and trainings of industrial ecosystem) so as to create a new area of designs and solutions.

This PhD topic is very disruptive in the power electronics domain. In an industrial point of view, this perspective is very ambitious because the today's accounts are mainly focused on CO2 emissions on the life cycle. The Power Electronics team of the G2Elab works on the new research area between technology-ecology-sociology-economy and claim that the power electronics expert will remain in the center of the tomorrow's solutions ; however this will not be possible without interrelated disciplines.