

Optimisation topologique de convertisseurs électromécaniques sans terre rare et réalisation par impression 3D

Objectifs et hypothèses de recherche

Objectif :

Avec l'évolution récente des techniques d'impression 3D métallique et en considérant toute la liberté que cette dernière offre en matière de conception mécanique, l'objectif de cette thèse est de développer une nouvelle méthodologie d'optimisation de convertisseurs électromécaniques capable de générer des designs performants et non conventionnels en rupture avec les architectures classiques. Cette méthode, libérée des contraintes de fabrication usuelles, s'appuiera sur l'association complémentaire d'un code d'optimisation topologique et d'un autre code permettant l'interface avec la réalisation par impression 3D et ses contraintes propres.

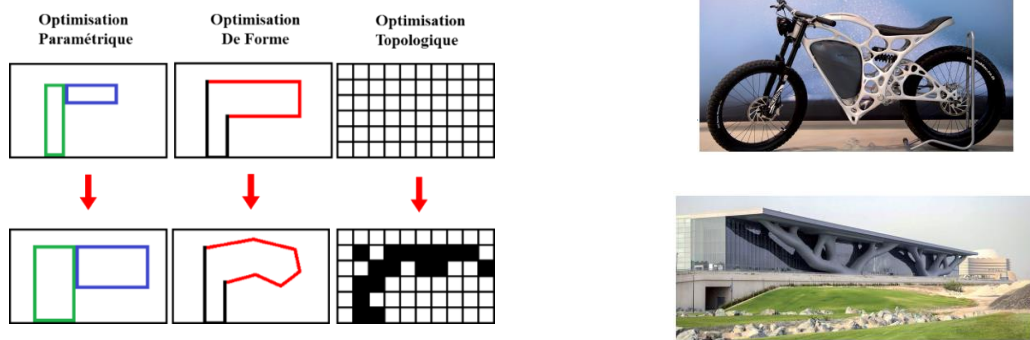


Figure 1 : Les différents types d'optimisation et quelques exemples de résultats d'optimisations topologiques appliquées au domaine de la mécanique : Centre national des congrès à Doha (Qatar) et Moto électrique Light Rider d'AP Works (filiale d'Airbus).

Motivations :

Le but final de cette thèse est donc d'améliorer les performances des convertisseurs électromécaniques à l'aide d'une nouvelle méthode d'optimisation topologique et de permettre leur réalisation par l'impression 3D. Trois points en particulier peuvent être optimisés : (i) le rendement des convertisseurs électromécaniques dont l'amélioration, que ce soit pour la génération électrique ou la motorisation, pourrait offrir un gain substantiel en matière d'énergie convertie ou consommée. (ii) La puissance massique des convertisseurs électromécaniques, dont le plafond usuellement admis par la communauté se situe autour des 5 kW/kg, ce qui limite encore leur utilisation au transport terrestre. Enfin, (iii) les ondulations de couple, génératrices de bruit et favorisant l'usure mécanique prématurée par les vibrations qu'elles induisent.

L'accent sera particulièrement porté sur l'optimisation de la machine à réluctance variable afin que cette dernière fournisse une alternative plus écologique aux machines synchrones à aimants permanents. En effet, son rotor n'est constitué que de matériaux ferromagnétiques (alliages à base de fer) et ne nécessite pas l'utilisation de terres rares comme le néodyme ou le samarium dont sont constitués les aimants actuels. Afin de pousser cette logique encore plus loin, les matériaux ferromagnétiques étudiés pour l'impression 3D ne contiendront pas de métaux cancérogènes tels que le nickel ou le cobalt couramment utilisés dans les convertisseurs. Les circuits magnétiques seront réalisés en fer pur.

Verrous à lever :

Cet objectif comporte trois verrous majeurs qui constituent les trois grands objectifs de cette thèse :

Verrou 1 : Les codes d'optimisation topologique pour la conversion électromécanique sont lents et ne sont pas adaptés à des problèmes de grande taille comme par exemple l'optimisation de design en 3D. **Objectif 1 : Élaborer une méthode d'optimisation topologique efficace pour le design de convertisseurs électromécaniques en 3D.** Cette méthode s'inspirera de la méthode développée par notre groupe de recherche GREM3 (Groupe de Recherche en Électrodynamique) du laboratoire LAPLACE-UMR 5213 (LABoratoire PLAsma et Conversion d'Énergie) pour des problématiques en magnétostatique et notamment pour des propulseurs plasmas à effet Hall : la méthode d'optimisation topologique de densité avec problème adjoint. Cet objectif sera traité en collaboration avec la startup Deeper Pulse dont le but est de promouvoir l'optimisation topologique en milieu industriel.

Verrou 2 : Les designs issus de l'optimisation topologique ne sont pas mécaniquement réalisables (somme de pixels). **Objectif 2 : Développer une méthode d'interface entre l'optimisation topologique et l'impression 3D.** Cette méthode aura pour objectif de faire en sorte que les résultats issus de l'optimisation topologique soient rendus réalisables par impression 3D en prenant en compte un certain nombre de contraintes mécaniques (imprimabilité, résistance aux efforts en fonctionnement). Une telle méthode n'existe pas à l'heure actuelle et permettrait de systématiser et d'objectiver un processus actuellement réalisé manuellement. L'approche envisagée se basera, entre autres, sur les travaux de reconnaissance de forme avec phase d'apprentissage (machine learning) couplée à un réseau de neurones (intelligence artificielle) utilisé notamment dans le contrôle qualité des pièces industrielles.

Verrou 3 : Les propriétés des pièces de convertisseurs réalisées par impression 3D ne sont pas encore comparables à celles obtenues par usinage classique. **Objectif 3 : Améliorer la qualité des pièces électromécaniques réalisées par impression 3D.** Pour cet objectif, plusieurs pistes sont envisagées en collaboration étroite avec le laboratoire CIRIMAT-UMR 5085 (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des MATériaux / Institut Carnot Chimie Balard Cirimat) spécialisé en impression 3D métallique : (i) adapter le processus d'impression afin d'optimiser les propriétés magnétiques des pièces en fer pur encore aujourd'hui très peu étudiée en électromécanique. (ii) Diminuer les pertes au sein des pièces de fer pur soumises à un champ variable (pertes fer : hystérésis + courants de Foucault). Pour cela trois idées originales vont être testées : jouer avec une oxydation locale contrôlée des poudres de fer, imprimer des pièces à gradient de propriété et enfin imaginer de nouvelles géométries capables de réduire les courants induits (barrières de flux).

Informations pratiques

Contacts

Coordinateur : Thomas Huguet thomas.huguet@laplace.univ-tlse.fr
Co-coordonateur : Clément Nadal clement.nadal@laplace.univ-tlse.fr

Pièces à fournir pour candidater

1 CV
1 lettre de motivation
Le relevé de notes des 2 dernières années universitaires

Lieu de la thèse

ENSEEIH - Toulouse INP
2 rue Charles Camichel 31071 Toulouse

Présentation de l'équipe

[Grem3 - Présentation](#)
[Grem3 - YouTube](#)

Topological optimization of electromechanical converters without rare earth and realization by 3D printing

Research objectives and hypotheses

Objective:

With the recent evolution of metallic 3D printing techniques and considering the freedom that the latter offers in terms of mechanical design, the objective of this thesis is to develop a new methodology for optimizing electromechanical converters capable of generating efficient and unconventional designs that break with conventional architectures. This method, liberated from the usual manufacturing constraints, will rely on the complementary association of a topological optimization code and another code allowing the interface with the 3D printing realization and its own constraints.

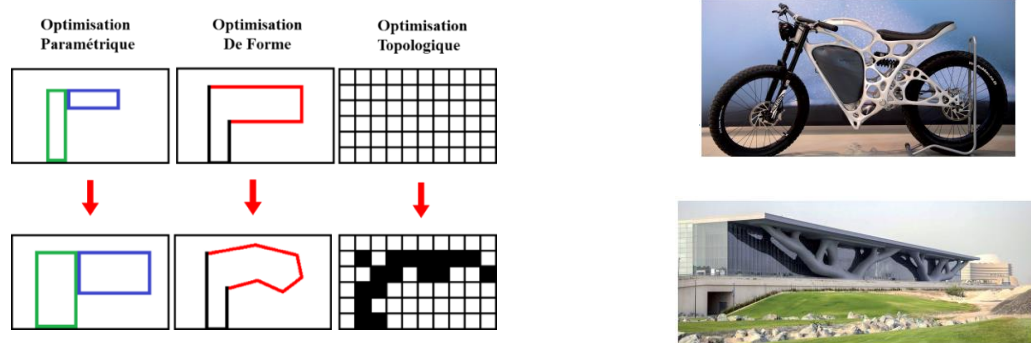


Figure 2 : The different types of optimization and some examples of topological optimization results applied to the mechanical domain: National Convention Center in Doha (Qatar) and Light Rider electric motorcycle from AP Works (filiale of Airbus).

Motivations:

The final goal of this thesis is therefore to improve the performance of electromechanical converters using a new method of topological optimization and to allow their realization by 3D printing. Three points in particular can be optimized: (i) the efficiency of the electromechanical converters whose improvement, whether for electrical generation or motorization, could offer a substantial gain in converted or consumed energy. (ii) The power density of electromechanical converters, whose limit is usually around 5 kW/kg, which still limits their use to ground transportation. Finally, (iii) torque ripples, which generate noise and promote premature mechanical wear due to the vibrations they induce.

The focus will be on the optimization of the synchronous reluctance machine so that it provides a more environmentally friendly alternative to permanent magnet synchronous machines. Indeed, its rotor is only made of ferromagnetic materials (iron-based alloys) and does not require the use of rare earths such as neodymium or samarium, which are used in current magnets. In order to push this logic even further, the ferromagnetic materials studied for 3D printing will not contain carcinogenic metals such as nickel or cobalt commonly used in converters. The magnetic circuits will be made of pure iron.

Locks to be solved:

This objective has three major locks that constitute the three main objectives of this thesis:

Lock 1: Topological optimization codes for electromechanical conversion are slow and are not suitable for large problems such as 3D design optimization. **Objective 1: Develop an efficient topological optimization method for the design of 3D electromechanical converters.** This method will be inspired by the method developed by our research group GREM3 (Groupe de Recherche en Électrodynamique) of the laboratory LAPLACE-UMR 5213 (Laboratoire PLAsma et Conversion d'Énergie) for problems in magnetostatics and in particular for Hall effect plasma thrusters: the method of topological optimization of density with adjoint problem. This objective will be treated in collaboration with the startup Deeper Pulse whose goal is to promote topological optimization in industrial environments.

Lock 2: The designs resulting from topological optimization are not mechanically feasible (sum of pixels). **Objective 2: Develop an interface method between topological optimization and 3D printing.** The objective of this method will be to ensure that the results of topological optimization are realizable by 3D printing, taking into account a certain number of mechanical constraints (printability, resistance to operating forces). Such a method does not exist at present and would allow to systematize and to objectify a process currently carried out manually. The envisaged approach will be based, among others, on the work of shape recognition with learning phase (machine learning) coupled with a neural network (artificial intelligence) used in particular in the quality control of industrial parts.

Lock 3: The properties of converter parts produced by 3D printing are not yet comparable to those obtained by conventional machining. **Objective 3: Improve the quality of electromechanical parts made by 3D printing.** For this objective, several approaches are considered in close collaboration with the CIRIMAT-UMR 5085 laboratory (Interuniversity Center for Research and Engineering of Materials / Carnot Institute Chemistry Balard Cirimat) specialized in metallic 3D printing: (i) adapting the printing process to optimize the magnetic properties of pure iron parts, which are still very little studied in electromechanics (ii) Reduce the losses within the pure iron parts subjected to a variable field (iron losses: hysteresis + eddy currents). For this purpose, three original ideas will be tested: play with a controlled local oxidation of iron powders, print parts with a property gradient and finally imagine new geometries capable of reducing induced currents (flux barriers).

Useful information

Contacts

Coordinator : Thomas Huguet thomas.huguet@laplace.univ-tlse.fr
Co-coordinator : Clément Nadal clement.nadal@laplace.univ-tlse.fr

Documents required to apply

1 curriculum vitae
1 motivation letter
The transcripts of grades from your last 2 academic years

Location of the thesis

ENSEEIH - Toulouse INP
2 rue Charles Camichel 31071 Toulouse, FRANCE

Team presentation

[Grem3 - Presentation](#)
[Grem3 - YouTube](#)