

# THÈSE/THESIS

## DURABILITÉ ET CYCLE DE VIE DE LA MACHINE ÉLECTRIQUE, AU COEUR DES ENJEUX D'UNE TRANSITION BAS-CARBONE

## SUSTAINABILITY AND LIFE CYCLE OF THE ELECTRIC MACHINE, AT THE HEART OF THE CHALLENGES OF A LOW CARBON TRANSITION

### Description du sujet/Project description:

Le monde s'électrifie en masse. De notre mobilité quotidienne, à nos industries en passant par les équipements de nos bâtiments, nombreux sont les secteurs qui misent sur l'électron pour tourner la page des énergies fossiles. Au coeur de ce grand processus d'électrification se trouve la machine électrique, qui remplit soit le rôle de générateur, pour transformer l'énergie mécanique en électricité, soit celui de moteur, pour faire le contraire.

Ce sujet de thèse est l'un des premiers lancés par le nouvel Institut TTI.5 (The Transition Institute) de Mines Paris - PSL. L'efficacité énergétique des machines électrique semble le facteur clé du point de vue environnemental. L'amélioration de cette efficacité doit commencer par l'élément le plus élémentaire, mais probablement le plus important : les enroulements filamenteux, qui sont par ailleurs à l'origine de près de 30% des défaillances. Des questions matériaux (usure par frottement, fatigue) à la performance du système en passant par les impacts environnementaux (ACV et incertitudes associées), ce sujet de thèse vise à investiguer les voies les plus favorables pour l'avenir des machines électriques qui sont amenées à transformer de très nombreux secteurs de notre planète électrique.

The world is going electrified. From our daily mobility, to our industries, or to the equipment in our buildings, many sectors are relying on the electron to turn the page on fossil fuels. At the heart of this great process of electrification is the electric machine, which either acts as a generator, to transform mechanical energy into electricity, or as a motor, to do the opposite.

*This thesis topic is one of the first launched by the new TTI.5 Institute (The Transition Institute) of Mines Paris - PSL. The energy efficiency of electrical machines seems to be the key factor from an environmental point of view. Improving this efficiency must start with the most basic, but probably the most important element: the filament windings, which are also the cause of nearly 30% of failures. From material issues (fretting, fatigue) to system performance and environmental impacts (LCA and associated uncertainties), this thesis aims to investigate the most favourable*

*paths for the future of electrical machines, which are set to transform many sectors of our electrical planet.*

## **Contexte / Context:**

Cette thèse se positionne sur l'axe 2 de l'Institut TTI.5, « Une planète électrique ? ». La trajectoire technologique d'une planète électrique passe nécessairement par le déploiement de « machines électriques » plus vertueuses. S'agissant des matériaux, cette thèse s'interrogera sur la pertinence des choix actuels mais surtout des choix à venir en s'intéressant à ce que pourrait être l'impact environnemental des futures machines (remplacement du cuivre par des fibres de carbone par exemple). L'imbrication entre le matériau, l'efficacité du système et son impact environnemental est très forte. Les outils d'Analyse du Cycle de Vie sont indispensables pour appréhender correctement ce sujet et identifier des leviers pour l'amélioration d'alternatives technologiques, comme point de départ d'un cadre plus large d'éco-conception. Comment prendre en compte la variabilité technologique, spatiale et temporelle de tels systèmes ? Comment intégrer les contraintes technologiques dans un environnement plus vertueux pour nos nouveaux usages et modes de vie ? Autant de réponses qui contribueront à la transition bas-carbone de notre société.

*This PhD thesis is in line with the TTI.5 Institute's axis 2, 'An electric planet?'. The technological trajectory of an electric planet necessarily involves the deployment of more virtuous 'electric machines'. With regard to materials, this thesis will examine the relevance of current choices, but above all of future choices, by looking at what the environmental impact of future machines could be (replacement of copper by carbon fibres, for example). There is a strong link between the material, the efficiency of the system and its environmental impact. Life Cycle Assessment tools are essential to correctly understand this subject and identify levers for improving technological alternatives, as a starting point for a broader eco-design framework. How to take into account the technological, spatial and temporal variability of such systems? How to integrate technological constraints into a more virtuous environment for our new uses and lifestyles? These are all answers that will contribute to the low-carbon transition of our society.*

## References:

[Boughanmi, 2014] Walid BOUGHANMI, Jean-Paul MANATA, Daniel ROGER, Jean-François BRUDNY « Écoconception des machines électriques tournantes à courants alternatifs » Techniques de l'Ingénieur IN174 v1, 2014

[Arnaud, 2022] Pierre ARNAUD et al. « Including fretting tests for cyclic plastic law identification to predict contact size evolution: the case of overhead conductor crossed aluminum wires », article soumis

[Pérez-López, 2021] Paula PEREZ-LOPEZ et al. « Incertitudes dans les méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des filières de production énergétique par ACV ». Rapport final du projet INCER-ACV, financé par l'ADEME, 2021. Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4448-incer-acv.html>

## Encadrement/Supervisors:

Sébastien JOANNES & Pierre ARNAUD | Centre des Matériaux (EVRY)

Paula PEREZ-LOPEZ | O.I.E. (SOPHIA ANTIPOLIS)



THIS PHD WILL TAKE PLACE WITHIN THE FRAMEWORK OF THE TRANSITION INSTITUTE 1.5 (TTI.5).

TTI.5 IS A RESEARCH INSTITUTE OF MINES PARIS - PSL DEDICATED TO THE LOW-CARBON TRANSITION.

FIND MORE INFORMATION ON OUR WEBSITE [THE-TRANSITION-INSTITUTE.MINESPARIS.PSL.EU](https://www.the-transition-institute.minesparis.psl.eu)