

## Réduction de modèles numériques en électromagnétisme basse fréquence combinant les approches « Cauer Ladder Network » et de Loewner

**Objet :** Stage de niveau BAC+5

**durée :** 5 à 6 mois (Février-Mars à juillet)

**Mots clefs :** méthode des éléments finis, réduction de modèle, problèmes d'électromagnétisme.

### Cadre

Ce sujet de stage s'inscrit dans le cadre d'un projet du GDR (groupement de recherche) SEEDS (systèmes d'énergie électrique dans leurs dimensions sociétales) entre les laboratoires L2EP<sup>1</sup> de Lille et LAPLACE<sup>2</sup> de Toulouse.

### Contexte

Dans le domaine de la simulation numérique de dispositifs électrotechniques, le modèle mathématique est basé sur les équations de Maxwell en basse fréquence. Pour résoudre ce type de problème, la plupart des logiciels développés se basent sur la méthode des éléments finis (EF). Ce type d'outil numérique permet de disposer de véritables prototypes virtuels en vue d'en estimer les performances des systèmes électrotechniques. Dans un contexte industriel, ces modèles numériques doivent retranscrire au mieux la réalité tout en nécessitant un temps de calcul le plus faible possible. Or, la simulation numérique d'un dispositif électrotechnique tel qu'une machine électrique peut s'avérer coûteuse en temps de calcul. Pour résoudre ce type de problèmes, les méthodes de réduction de modèles numériques semblent bien adaptées afin de diminuer les temps de calcul. Ces méthodes consistent à construire une base réduite de la solution EF afin d'en déduire un modèle réduit à faible nombre d'inconnues qui peut être résolu dans des temps de calcul très courts.

### Objectifs

Le L2EP développe depuis de nombreuses années des méthodes de réduction de modèles numériques, notamment, basées sur l'approche « Cauer Ladder Network » (CLN). Basé sur un modèle EF issu d'un problème d'électromagnétisme, la méthode CLN permet d'en déduire un modèle réduit pouvant être représenté sous la forme d'un circuit équivalent formé d'éléments physiques simples tels que des matrices de résistances, d'inductances et/ou de capacités. Ce circuit peut alors être couplé facilement avec d'autres circuits représentatifs de l'environnement du dispositif électromagnétique étudié.

Néanmoins, la prise en compte des variabilités des lois de comportement telles que la conductivité électrique ou la perméabilité magnétique en fonction de la fréquence peut difficile être prise en compte par la méthode CLN. Les travaux déjà menés dans le cadre de ce projet ont permis de surmonter cette difficulté en utilisant la méthode de Loewner, implémentée et utilisée au LAPLACE. Afin de poursuivre ces travaux préliminaires prometteurs, l'objectif du stage proposé est de reconstruire le champs électromagnétique à partir du modèle réduit obtenu et de préserver certaines propriétés structurelles du système étudié dans la méthode de Loewner. En particulier, la méthode CLN permet par essence de représenter le modèle réduit sous forme de circuit, ce qui n'est pas le cas de la méthode de Loewner. Pour cela, il s'agira d'implémenter et d'utiliser des variantes de l'interpolation de Loewner préservant le caractère port-Hamiltonien du modèle complet. En effet, le formalisme port-Hamiltonien a déjà été utilisé dans la littérature pour décrire des champs électromagnétiques mais aussi des circuits RLC. Il s'agira donc de proposer une méthode pour faire le chemin inverse, c'est-à-dire passer d'un modèle numérique port-Hamiltonien obtenu par une variante de la méthode de Loewner à un circuit équivalent.

---

<sup>1</sup> Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance de Lille (<https://l2ep.univ-lille.fr>)

<sup>2</sup> Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie (<https://www.laplace.univ-tlse.fr>)

### **Profil recherché**

Le ou la candidat·e devra avoir des compétences en mathématiques appliquées et en calcul scientifique, et être capable de d'implémenter et développer des approches de réduction de modèles en langage Matlab. Une connaissance des problèmes d'électromagnétisme en basse fréquence n'est pas demandée. Le stage se déroulera au LAPLACE à Toulouse.

### **Contact**

[pauline.kergus@laplace.univ-tlse.fr](mailto:pauline.kergus@laplace.univ-tlse.fr)

Chargée de recherche CNRS / LAPLACE

[stephane.clenet@ensam.eu](mailto:stephane.clenet@ensam.eu)

Professeur des universités

Arts et Métiers ParisTech – Lille / L2EP

[thomas.henneron@univ-lille.fr](mailto:thomas.henneron@univ-lille.fr)

Maître de conférences

Université de Lille - Faculté des Sciences et Technologies / L2EP