

Proposition de stage M2R - 2020/2021

Modèle numérique de calcul des pertes dans une éolienne supraconductrice

Contexte :

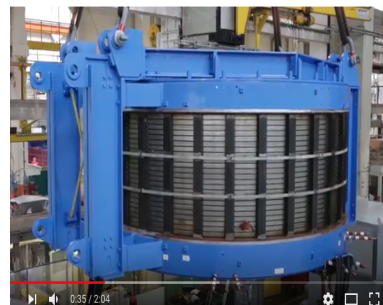
L'énergie éolienne est l'une des principales technologies de production d'énergie renouvelables, sa puissance installée est en croissance dans le monde entier. Les générateurs utilisés dans ces dispositifs sont de type synchrone à entraînement direct dont les puissances sont de plusieurs mégawatts. Ils ont l'avantage de requérir moins d'opérations de maintenance. Cependant, dans ces dispositifs éoliens, le poids du générateur et le prix de la tour augmentent plus vite que la puissance, d'où la nécessité de développer des générateurs à forte puissance massique. L'utilisation des supraconducteurs à haute température critique HTC est l'une des solutions technologiques en cours de développement pour réduire le poids de ceux-ci.



(a) Champ d'éoliennes offshore



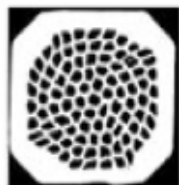
(b) Génératrice d'une éolienne supraconductrice de Jeumont Electric



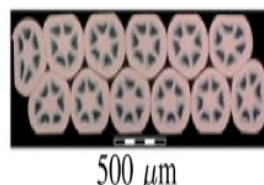
(c) Rotor de la génératrice de Jeumont Electric

Problématique :

Dans le cadre du projet *EolSupra20* nous menons une étude de faisabilité pour une éolienne supraconductrice de 20 MW dont la viabilité dépendra fortement à la fois du coût d'investissement et du coût d'exploitation. Une inconnue majeure pour l'estimation du coût d'exploitation est la puissance de refroidissement requise pour pouvoir maintenir l'état supraconducteur dans le dispositif. Afin de mieux dimensionner le système de refroidissement il est nécessaire de bien estimer l'énergie dissipée et notamment celles des câbles supraconducteurs utilisés dans les bobines.



(a) Un conducteur constitué de 91 filaments supraconducteurs dans une matrice conductrice



(b) Section d'un câble de Rutherford constitué de 12 conducteurs

La modélisation des câbles supraconducteurs HTC s'appuie sur une loi de comportement non linéaire qui relie la densité de courant au champ électrique :

$$\frac{\vec{E}}{E_c} = \left\| \frac{\vec{J}}{J_c(\mathbf{B}, T)} \right\|^{n(\mathbf{B}, T)-1} \frac{\vec{J}}{J_c(\mathbf{B}, T)}$$

avec $J_c(\mathbf{B}, T)$ la densité de courant critique qui dépend de l'induction magnétique locale et de la température, et $n(\mathbf{B}, T)$ un paramètre qui caractérise l'agitation thermique dans le matériau. L'approche est multi-physique car nécessite de résoudre à la fois un problème magnétique et un problème thermique. Les modèles numériques utilisés pour estimer les pertes dans les câbles supraconducteurs se heurtent à des difficultés liées à la non-linéarité des équations. De plus, la topologie des conducteurs et les dimensions caractéristiques des filaments supraconducteurs conduisent à traiter de grands systèmes d'équations. Les temps de calculs observés sont généralement très longs et peuvent atteindre plusieurs jours.

Objectif :

L'objectif de ce stage qui pourra se poursuivre en thèse est de développer un modèle rapide et précis permettant d'évaluer les pertes en courant alternatif de ces câbles supraconducteurs multi-filamentaires, dans le but d'affiner l'estimation des coûts d'exploitation de ces dispositifs éoliens. Les câbles qui nous intéressent sont des câbles de Rutherford fabriqués à partir de filaments supraconducteurs *MgB2*. Ils ont l'avantage de pouvoir transporter des courants de fortes intensités et produisent de faibles pertes AC. Le travail sera développé pour traiter plus généralement ce type de câbles et devra être validé sur un modèle de câble de 16 conducteurs ayant 80 filaments supraconducteurs chacun.

On s'intéressera particulièrement à la méthode des éléments finis qui est très utilisée pour la résolution de la formulation en champ magnétique des équations de Maxwell dans les matériaux supraconducteurs. Pour mener ce travail, on pourra s'appuyer sur des travaux réalisés au laboratoire GeePs autour de la modélisation des câbles supraconducteurs [1] et des bobines supraconductrices ayant des centaines de spires [2].

Profil recherché : Etudiant en Master 2 recherche ou dernière année d'école d'ingénieurs, intéressé par la simulation numérique, ayant une bonne maîtrise de la méthode des éléments, sachant programmer (C, C++,....), et possédant quelques connaissances en électromagnétisme.

- **Laboratoire d'accueil (lieu de stage) :**

*GeePs UMR 8507 11, rue Joliot Curie, Plateau de Moulon
91192 Gif sur Yvette. <http://www.geeps.centralesupelec.fr>*

- **Contacts :**

*Abelin KAMENI : abelin.kameni@geeps.centralesupelec.fr
Loic QUEVAL : loic.queval.kameni@geeps.centralesupelec.fr*

- **Durée :** 5 – 6 mois

Références

- [1] L.D. Makong Hell Nkatak, *3D modelling of twisted multi-filamentary superconductors*, PhD thesis, Université Paris-Saclay, 2017.
- [2] L. Quéval, V.M.R. Zermeño, F. Grilli, *Numerical models for AC loss calculation in large-scale applications of HTS coated conductors*, Superconductor Science and Technology, vol. 29, no. 2, Jan. 2016.