

Proposition de stage de recherche

Étude d'une nouvelle structure de machine à commutation de flux

- **Présentation et contexte :**

Les actionneurs électromagnétiques jouent un rôle de premier plan dans la transition énergétique et de l'électrification massive des usages. Cette électrification s'accompagne d'exigences de performance de plus en plus élevées ; par exemple, la densité massique de puissance des machines électriques doit être multipliée par près de 10 pour viser une aviation tout électrique [1]. Une solution pour augmenter cette densité de puissance consiste à augmenter la vitesse de rotation de la machine à couple constant, ce qui s'accompagne nécessairement de contraintes mécaniques importantes. Les structures de **machines à commutation de flux**, sur lesquelles le laboratoire SATIE possède une expertise historique reconnue [2], [3], sont de bonnes candidates. En effet, leur rotor est passif, ce qui lui permet d'avoir la résistance mécanique nécessaire à la haute vitesse, tout en bénéficiant de l'assistance d'aimants permanents situés au stator comme représenté à la figure 1.

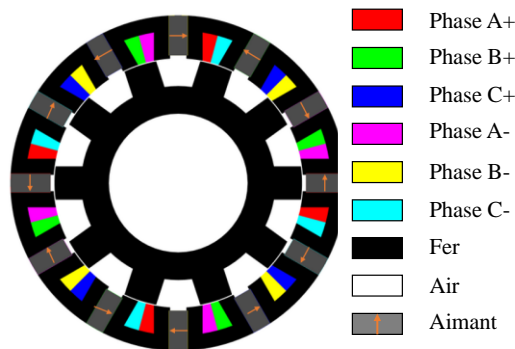


Figure 1: Machine à commutation de flux classique [2]

Aux exigences de performances se rajoutent des contraintes supplémentaires sur l'approvisionnement en matériaux critiques (dont les aimants terres rares). Les cahiers des charges constituent alors de véritables casse-têtes pour lesquels l'expérience du concepteur peut ne plus suffire. Pour en relever les défis, les laboratoires SATIE et GeePs développent des approches automatiques **d'optimisation topologique** [4]. Ces méthodes non-paramétriques ne nécessitent pas d'*a-priori* sur la définition géométrique de la machine, et offrent ainsi une liberté de conception quasi-totale, ce qui favorise l'émergence de structures innovantes. L'utilisation de ces méthodologies a permis d'obtenir une structure de machine à commutation de flux inédite comportant une **quantité réduite d'aimants terres-rares**.

- **Objectifs du stage :**

Ce stage vise à étudier le comportement de la nouvelle machine à commutation de flux, relever ses performances et explorer les possibilités qu'elle offre (en termes de densité de puissance, rendement, coût économique et écologique, facilité de fabrication et de commandabilité, etc.). Il s'agira également de déterminer les domaines d'application dans lesquels l'utilisation de cette machine serait pertinente.

Dans un premier temps, une recherche bibliographique permettra de se familiariser avec les différents types de machines à commutation de flux, les équations physiques en œuvre, et l'étude magnétique de la machine par la méthode des éléments finis [5]. Une fois ce travail préparatoire réalisé, le/la stagiaire effectuera

une étude globale des propriétés de la machine, ainsi que son optimisation paramétrique afin de juger de sa compétitivité dans différents cas d'applications.

- **Profil souhaité :**

Ce stage s'adresse à des étudiants niveau M1/M2 (ou 2^e-3^e année d'école d'ingénieur), intéressés dans la conversion d'énergie et la simulation numérique. Le/la candidat(e) doit avoir suivi une ou plusieurs UE en rapport avec la conversion d'énergie, et doit ainsi être familier des problèmes magnétostatiques (grandeurs physiques, théorème d'Ampère, lois matériaux...). Une bonne maîtrise du langage MATLAB est requise. Des connaissances sur la méthode des éléments finis sont un plus.

- **Déroulement du stage :**

Ce stage se déroulera sur le site du laboratoire SATIE de l'ENS Paris-Saclay (4, avenue des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette) au sein d'une équipe spécialisée dans l'étude et la conception de machines non-conventionnelles. Le stage durera 4 à 6 mois, à compter de 01/03/2025. Le SATIE étant une ZRR, il est nécessaire de commencer les démarches administratives environ 2 mois avant le début du stage.

Le/la stagiaire aura à sa disposition un bureau, un ordinateur fixe équipé de MATLAB et d'outils de calcul magnétostatique par éléments finis. Le/la stagiaire aura également accès à un grand nombre de ressources bibliographiques (IEEE, Springer, Elsevier...) pour l'accompagner dans son travail.

- **Contacts :**

- *Encadrant - SATIE* : Sami Hlioui (sami.hlioui@ens-paris-saclay.fr)
- *Encadrant - GeePs* : Théodore Chérière (theodore.cherriere@centralesupelec.fr)

Références :

- [1] "Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research." National Academies Press, 2016. doi: 10.17226/23490.
- [2] E. Hoang, H. Ben Ahmed, and J. Lucidarme, "Switching flux permanent magnet polyphased synchronous machines," in *EPE 97*, Trondheim, 1997, pp. 3903–3908.
- [3] B. Gaussens, E. Hoang, M. Lecrivain, P. Manfe, and M. Gabsi, "A hybrid-excited flux-switching machine for high-speed DC-alternator applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 6, pp. 2976–2989, 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2281152.
- [4] T. Chérière, "Élaboration de méthodes et d'outils logiciels pour l'optimisation topologique magnéto-mécanique de machines électriques tournantes," Université Paris-Saclay, 2023. [Online]. Available: <http://www.theses.fr/2023UPAST159/document>
- [5] A. Nobahari and A. Lehtikainen, "Finite Element Analysis of Electrical Machines: Recent Trends and Developments," *Electromechanical Energy Convers. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 16–25, 2022, doi: 10.30503/eecs.2023.398206.1040.