



# Ampère

Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Électrique, Automatique et Bio-Ingénierie

---

Stage de fin d'étude Master 2 / Bac +5  
Début : 1<sup>er</sup> semestre 2024 ; Durée : 6 mois

## **Sujet : Étude comparative de machines synchrones multi-triphasées dans le plan couple-vitesse**

**Mots-clés** : machine synchrone, bobinage, multi-triphasé, éléments finis, fractionnement.

### **Contexte**

Plusieurs motivations amènent à considérer l'usage de multiples bus de tension continue indépendants pour alimenter une même machine électrique. Il peut s'agir, par exemple, de la volonté d'hybrider les éléments de stockage [1] (hydrogène, batterie d'accumulateurs, supercondensateurs), de donner de nouveaux degrés de libertés sur le dimensionnement de l'électronique de puissance [2] ou d'apporter plus de résilience à la chaîne de conversion électromécanique [3]. Pour rendre possible cette alimentation multiple, il existe plusieurs manières de subdiviser les bobinages d'une même machine électrique [4, 5, 6]. Les machines multi-triphasées seront considérées, ici, pour garantir la possibilité d'avoir recours aux technologies triphasées de contrôle et d'électronique de puissance, bénéficiant ainsi de leur maturité industrielle. Ces structures sont bien documentées et des articles récents montrent la possibilité de moduler l'usage des différentes sources directement au travers de la machine [6, 7, 8]. En revanche, il n'y a pas d'étude qui précise dans quelle partie du plan couple/vitesse de la machine il serait possible de gérer l'utilisation de ces sources. Pour y remédier, ce stage s'insèrera dans une démarche de comparaison des différentes structures de machine synchrone multi-triphasée.

### **Objectifs et démarche**

Ce stage a pour objectif le développement d'un outil de simulation permettant la comparaison de machines synchrone multi-triphasées.

- À l'aide d'une bibliographie centrée sur les bobinages des machines multi-triphasées, le ou la stagiaire pourra discerner les différentes techniques de subdivision de bobinage.
- La modélisation par éléments finis permettra d'identifier, à circuit magnétique donné, les paramètres électriques pertinents et les performances associées aux différents bobinages multi-triphasés envisageables.
- Des simulations circuits permettront de faire le lien entre les points de fonctionnement accessibles et la caractéristique couple-vitesse des machines étudiées.



## Profil du candidat ou de la candidate

Le ou la candidate aura suivi un cursus ingénieur ou un Master 2 en énergie électrique avec une spécialisation dans les machines électriques et l'électronique de puissance. Une expérience du langage Python et des outils d'analyse par éléments finis (FEMM ou Ansys) seront appréciés. Un bon niveau d'anglais écrit est attendu.

## Information pratiques et contact

Le stage se déroulera au sein du laboratoire Ampère dans les locaux de l'Université Claude Bernard Lyon 1 à Villeurbanne.

Contact : Antoine CIZERON, Maître de conférences, Ampère – UCBL  
[antoine.cizeron@univ-lyon1.fr](mailto:antoine.cizeron@univ-lyon1.fr)

## Références

- [1] Z. Huang, D. Zhou, L. Wang, Z. Shen, et Y. Li, « A Review of Single-Stage Multiport Inverters for Multisource Applications », *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 38, n° 5, p. 6566-6584, mai 2023, doi: [10.1109/TPEL.2023.3234358](https://doi.org/10.1109/TPEL.2023.3234358).
- [2] E. Hoang et E. Labouré : Electric machine supplied at low voltage and associated multicellular power train, novembre 28 2019. US20190363599A1
- [3] D. Golovanov *et al.*, « 4-MW Class High-Power-Density Generator for Future Hybrid-Electric Aircraft », *IEEE Trans. Transp. Electrific.*, vol. 7, n° 4, p. 2952-2964, déc. 2021, doi: [10.1109/TTE.2021.3068928](https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3068928).
- [4] A. Cizeron, J. Ojeda, E. Monmasson, et O. Bethoux, « Control of a Segmented Three-Phase Synchronous Motor With Highly Coupled Subwindings », *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 70, n° 5, p. 4405-4415, mai 2023, doi: [10.1109/TIE.2022.3183342](https://doi.org/10.1109/TIE.2022.3183342).
- [5] S. Rubino, O. Dordevic, R. Bojoi, et E. Levi, « Modular Vector Control of Multi-Three-Phase Permanent Magnet Synchronous Motors », *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, n° 10, p. 9136-9147, oct. 2021, doi: [10.1109/TIE.2020.3026271](https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3026271).
- [6] G. Sala, G. Valente, M. D. Nardo, M. Degano, P. Zanchetta, et C. Gerada, « Power-Sharing Control in Bearingless Multi-Sector and Multi-Three-Phase Permanent Magnet Machines », *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, n° 10, p. 9070-9080, oct. 2021, doi: [10.1109/TIE.2020.3026273](https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3026273).
- [7] I. Subotic, O. Dordevic, J. B. Gomm, et E. Levi, « Active and Reactive Power Sharing Between Three-Phase Winding Sets of a Multiphase Induction Machine », *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 34, n° 3, p. 1401-1410, sept. 2019, doi: [10.1109/TEC.2019.2898545](https://doi.org/10.1109/TEC.2019.2898545).
- [8] I. Zoric, M. Jones, et E. Levi, « Arbitrary Power Sharing Among Three-Phase Winding Sets of Multiphase Machines », *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, n° 2, p. 1128-1139, févr. 2018, doi: [10.1109/TIE.2017.2733468](https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2733468)