

Étude et conception d'une chaîne de conversion électromécanique robuste pour une application eVTOL

Nature de l'offre :	Thèse de doctorat
Localisation :	Laboratoire SATIE, site de Cergy CY Cergy-Paris Université 5 mail Gay-Lussac, 95000 Neuville sur Oise (RER A – Neuville université)
Équipe encadrante :	Sami HLIOUI, Laboratoire SATIE Lahoucine ID-KHAJINE, Laboratoire SATIE Stéphane SERFATY, Laboratoire SATIE
Rémunération	Contrat doctoral (~1975€ brut /mois) ¹
École doctorale	École doctorale Sciences et Ingénierie (SI) CY Cergy Paris Université
Durée	36 mois.
Date de démarrage	01 septembre 2023
Contacts	Sami.hlioui@cyu.fr / lahoucine.idkhajine@cyu.fr

1. Contexte

Durant ces dernières décennies, la mobilité aérienne urbaine (UAM, Urban Air Mobility) reconnaît un essor de plus en plus important et apporte des nouvelles solutions de déplacement et de transport qui pourront soulager la saturation actuelle des transports terrestres, principalement dans les grandes métropoles. La mobilité aérienne dans des zones urbaines existe déjà [1] pour le transport des personnes en utilisant des hélicoptères dans des zones urbaines et particulièrement des grandes métropoles comme New York, São Paulo, Mexico, Dubai, etc. Toutefois, ce mode de transport reste très limité à cause de son coût important et soulève différentes problématiques, comme les nuisances sonores engendrés ou encore le nombre très limité de sites de décollages/atterrissages. Au-delà de cet usage, le niveau de maturité actuel de différentes technologies, particulièrement électriques, rend possible l'extension de ce mode de mobilité à d'autres usages comme : le transport en cas d'urgence médicale, les opérations de sauvetage, les missions humanitaires, le constat et le suivi de l'état de trafic terrestre, le suivi des événements naturels (y compris les catastrophes) ou encore la livraison de colis [2]. Différentes études [3] se sont intéressées à ce nouveau mode de



Figure 1 Wingless Multirotor E-VTOL: Volocopter 2X [4]

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000044214369>

mobilité et montrent l'intérêt de son développement. Différents constructeurs (Volocoptère [4] - figure 1, Airbus [5], Archère etc.) essayent également de proposer des solutions technologiques pouvant répondre à ces nouveaux besoins en développant des engins hybrides ou purement électriques à décollage et atterrissage verticaux, dit eVTOL (pour electric powered vertical takeoff and landing). Ces engins doivent répondre à une multitude de contraintes aussi bien au niveau réglementaire², économique qu'au niveau technologique. Par ailleurs, pour que ces engins apportent des solutions soutenables, ils doivent encore répondre à différentes contraintes technologiques [3] qui sont en lien avec leurs autonomies, leurs performances (vitesse de croisière, durée des atterrissages et décollages), leurs fiabilités et leurs niveaux de sécurité (pour réduire les risques de collisions, par exemple). Des solutions devront être alors proposés pour respecter ces contraintes et améliorer globalement les performances de ces nouveaux engins.

2. Cadre des travaux de la thèse

Les eVTOL posent différentes problématiques scientifiques et/ou technologiques à résoudre. Parmi lesquels, *on s'intéressera particulièrement à la chaîne de conversion électromécanique*. En effet, ces engins utilisent un système de propulsion électrique distribuée basée sur des machines électriques couplées à des hélices. Chaque moteur électrique est associé à un convertisseur de puissance qui à son tour est alimenté par une ou plusieurs sources d'alimentation. Un système de contrôle assure la commande du convertisseur de puissance pour alimenter le moteur électrique selon les besoins du système global de contrôle de l'engin. Chaque chaîne de conversion doit alors, pour des raisons de performances et de résilience, respecter des contraintes sévères dont on pourra citer, à titre d'exemple [6], les éléments suivants :

- La puissance massique de chaque moteur associé à son convertisseur doit être maximisée
- Chaque moteur doit pouvoir assurer en mode dégradé un minimum de 25% de la puissance nécessaire au maintien du vol de l'appareil.
- Chaque moteur doit pouvoir être neutralisé quel que soit les conditions de fonctionnement.

Ainsi, dans le cadre des travaux de cette thèse, nous nous intéresserons au dimensionnement optimisé de machines spéciales dédiées à ce type d'application. Une attention particulière sera portée à l'amélioration de la fiabilité et la résilience des solutions proposées.

Le travail de thèse se déroulera selon le macro-planning suivant :

- Un état de l'art des différentes technologies et solutions existantes pour la propulsion des eVTOL devra être fait et permettra d'identifier les différents cahiers de charges qu'il faudra respecter dont les contraintes majeures à prendre en compte pour les études de fiabilités de ces chaînes de conversion.

² Il est important de souligner que le cadre réglementaire et de certification pour ce type d'engin n'est pas encore complètement défini.

- Une méthodologie de conception par optimisation sera mise en place pour proposer des structures optimisées et fiables de moteurs électriques en fonction du cahier des charges considéré.
 - Différentes architectures de propulsion seront envisagées et une approche systémique sera explorée.
 - Différentes topologies de moteurs électriques non conventionnelles seront étudiées pour cette application.
 - Pour assurer un niveau de fiabilité élevé de la chaîne de conversion électromécanique, des contraintes de conception seront ajoutées pour améliorer l'observabilité (saillance, niveaux d'inductances ...) de la machine électrique, notamment pour la commande sans capteur de position mécanique (sensorless.)
- Pour améliorer le suivi d'état de santé des machines électriques proposées, une étude de l'intégration de différents capteurs et de leurs positionnements sera également menée. Cette étude sera couplée à l'élaboration d'un jumeau numérique destiné au suivi de l'état de santé de la chaîne de conversion. Ce jumeau permettra également d'évaluer la consommation énergétique en fonction de l'état du système.

3. Connaissances préalables

Le candidat intéressé par cette thèse doit avoir suivi les enseignements en rapport avec les systèmes embarqués, l'électronique de puissance, l'électrotechnique et l'automatique. La maîtrise de logiciels tels que Matlab/Simulink et Ansys Maxwell est un vrai atout pour ce sujet. Une expérience en modélisation électromagnétique des machines électriques est un point positif pour ce stage.

4. Modalités de candidatures

Pour toute candidature, veuillez envoyer :

- Votre CV
- Une lettre de motivation
- Vos relevés de notes pour les 3 dernières années d'études + 2 derniers diplômes.

5. Références bibliographiques

[1] Lewis, J. and Magalhaes, L., "Here Come Helicopters on Demand," *The Wall Street Journal*, Jun. 20, 2017. <https://www.wsj.com/articles/here-come-helicopters-on-demand-1498010700>

[2] Thippavong, D. P., Apaza, R., Barmore, B., Battiste, V., Burian, B., Dao, Q., ... & Verma, S. A. (2018). *Urban air mobility airspace integration concepts and considerations*. In *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference* (p. 3676).

[3] Holden, J., and Goel, N., "Uber Elevate: Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation," Uber Inc., San Francisco, CA, 2016.

[4] Bacchini, A. and Cestino, E. "Electric VTOL Configurations Comparison" MDPI Aerospace article. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Politecnico di Torino, 10129 Turin, Italy. February 28, 2019.

[5] <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission-journey/urban-air-mobility>

[6] Jäger, Florian und Bertram, Oliver (2022) *Development of a Safe Powertrain System Architecture for the HorizonUAM Air Taxi Concept*. 2nd Urban Air Mobility Symposium, 01.-02. Dez. 2022, Braunschweig, Germany.