Génération et dimensionnement d'architecture système en phase de conception préliminaire d'un avion léger électrique/hybride

1. Contexte du stage

Les principales écoles du groupe ISAE (ISAE-Supaéro, ISAE-Ensma, ISAE-Supméca, Estaca et Estia) travaillent ensemble sur la conception, la fabrication et l'essai en vol d'un avion léger électrique/hybride biplace de type ULM Multiaxe dans le cadre de l'initiative Lilienthal du projet PEGASE. Nous nous intéressons dans ce stage à la phase de conception préliminaire (appelée également avant-projet avion). Le stage s'effectuera au laboratoire QUARTZ d'ISAE-Supméca sur la thématique synthèse de systèmes à base de modèles, en collaboration avec le groupe de recherche Conception des Véhicules Aérospatiaux (DCAS) d'ISAE-Supaéro.

2. Présentation du sujet

Un avion léger électrique-hybride est un aéronef dont la propulsion est assurée par une architecture hybride thermique + électrique. Les méthodes usuelles de conception de tels systèmes demandent au concepteur de proposer manuellement une architecture pour la pré-dimensionner de manière à évaluer ses performances voire de les optimiser. Une autre manière de procéder consiste à disposer d'un outil permettant au concepteur d'exprimer les contraintes que doivent satisfaire les solutions architecturales puis de générer automatiquement les architectures de propulsion de telle sorte qu'elles satisfassent les contraintes exprimées. Les contraintes sont topologiques, fonctionnelles et comportementales. Elles peuvent s'exprimer entre composants, entre fonctions mais aussi entre composants et fonctions. L'approche est dite « correcte par construction ».

Les problèmes seront représentés en DEPS. DEPS [1] est un langage de modélisation de problème de conception en vue de leur résolution par la machine. Il est textuel, déclaratif et à base de modèles. Il apporte des capacités de structuration (héritage, agrégation, composition, polymorphisme et surcharge de modèles) et d'encapsulation que n'ont pas les langages actuels de programmation mathématique ou de CSP qui proposent une formalisation « à plat » des problèmes. Il permet notamment de séparer clairement la représentation sous-définie d'un système (avec des degrés de liberté et des inconnues structurelles) de sa représentation comportementale [2]. DEPS est associé à l'environnement de modélisation, de compilation et de résolution DEPS Studio qui intègre un solveur de programmation par contraintes en domaines mixtes natif et dédié (www.depslink.com). Il a été utilisé pour représenter et résoudre des problèmes de dimensionnement, de configuration et d'allocation (déploiement). Concernant le domaine de l'aéronautique il a été utilisé pour modéliser et résoudre des problèmes de dimensionnement [3,4].

Le stage se déroulera en deux parties :

- Dans un premier temps, l'étude portera sur la formalisation et le développement d'un ensemble de modèles DEPS permettant de construire une architecture de propulsion hybride puis de pré-dimensionner automatiquement cette architecture à l'aide de techniques de programmation par contraintes en domaines mixtes (booléen + domaines finis + intervalles continus). Des critères de performance à optimiser seront également à envisager (durée de mission, …). L'accent sera mis sur la généricité et l'extensibilité des modèles. Les travaux seront validés sur quelques architectures de propulsion hybrides classiques de la littérature.

- Dans un deuxième temps, le travail s'orientera vers la possibilité d'exprimer en DEPS un problème de génération automatique d'architecture c'est-à-dire intégrant des degrés de liberté et des contraintes d'architecture en sus des contraintes comportementales. Cela devrait permettre simultanément la génération d'une ou plusieurs architectures de propulsion admissibles et leur pré-dimensionnement automatique.

Les travaux pourront donner lieu à des propositions quant à l'enrichissement des traits du langage DEPS ou bien à l'amélioration du solveur de DEPS Studio. De plus, un couplage avec des outils d'optimisation multidisciplinaire (MDAO) sera envisagé [5,6] de telle sorte que les solutions générées par le solveur de DEPS Studio puissent-être vérifiées à l'aide de modèles grains fins en conception détaillée.

3. Durée et date de démarrage

Durée du stage : 6 mois

Date de démarrage possible : A partir de mars 2027

4. Profil et compétences

Ce stage pourrait convenir à un(e) candidat(e) en dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2. Des connaissances solides en modélisation de problème, en approche orientée objet et en optimisation voire même en programmation par contraintes sont nécessaires. Une connaissance de la programmation en Python est également souhaitée. De plus, des connaissances de base en aéronautique et notamment en mécanique du vol seront appréciées. En cas de nécessité, une formation au langage DEPS et à la mise en œuvre de l'IDE DEPS Studio sera assurée par l'équipe d'encadrement.

Un CV détaillé, une lettre de motivation, le détail des matières suivies et des notes obtenues en M1 et en M2 ainsi que d'éventuelles lettres de recommandation sont à faire parvenir à :
Pierre-Alain Yvars : pierre-alain.yvars@isae-supmeca.fr
et
pierre-alain.yvars@depslink.fr

5. Références bibliographiques

[1] P.A. Yvars, L. Zimmer *"DEPS: A Model and Property Based Language for the synthesis of complex systems"*, International Journal of Software and Systems Modeling (SoSym), Vol 23, pp 973-1002, Springer, 2024. https://doi.org/10.1007/s10270-023-01129-x

[2] P.A. Yvars, L. Zimmer, *"Toward a correct by construction design of complex systems : The MBSS approach"*, Procedia CIRP, Vol 109, Elsevier, 2022. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.248

[3] P. A. Yvars, L. Zimmer, *"Synthèse de système à base de modèles pour le dimensionnement d'un drone quadricoptère"*, 19ème colloque national Systems Manufacturing Academics ResourcesTechnologies S.Mart, 2025.

[4] P.A. Yvars, L. Zimmer, "*Formulation et résolution de problème de dimensionnement de drone quadricoptère à l'aide d'un langage de modélisation structurée et de techniques de programmation par contraintes en domaines mixtes*", 26ème congrès de la société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision, ROADEF, Champs Sur Marne, 2025.

[5] C. David, S. Delbecq, S. Defoort, P. Schmollgruber, E. Benard, and V. Pommier-Budinger, "*From fast to fast-oad: An open source framework for rapid overall aircraft design*", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1024, p. 012062, IOP Publishing, 2021.

[6] F. Lutz, J. Jézégou, A. Reysset, A.B. Ramos, V. Pommier-Budinger. *"FAST-OAD-GA: an open-source extension for Overall Aircraft Design of General Aviation aircraft"*. ICAS 2022, Stockholm, 2022.