

Présentation générale du projet Turbolab

TURBOLAB est une plateforme d'essais dédiée à la « Propulsion Aéronautique Innovante » et permettant de réaliser des expérimentations dans les domaines suivants :

- Turbofan et Turbopropulseurs fortement hybridés ;
- Propulseurs électriques ;
- Systèmes complets de propulsion distribuée ;
- Carburants alternatifs ;
- Bio carburants ;
- Carburants de synthèse ;
- Hydrogène.

Les objectifs de ces expérimentations sont multiples :

- Décarbonation du transport aérien ;
- Amélioration de la sécurité ;
- Réduction des nuisances sonores.

Cette thématique n'est pas uniquement centrée sur l'aéronautique mais au contraire ouvre des perspectives sur d'autres domaines industriels cohérents avec notre territoire :

- Industrie navale : groupes électrogènes modernes, propulsion innovante... ;
- Énergies renouvelables marines : houlomoteur, hydrolien... ;
- Agriculture : turbines pour méthanisation ;
- Traitement des déchets & récupération d'énergie incinération.

Turbolab sera bien sûr ouvert aux autres PME ou ETI de l'aéronautique pour valider leurs produits ou de leur processus de fabrication. Par exemple, un fabricant pourra y pré-valider un processus de fabrication de pièces de moteur en fabrication additive avant de le décliner sur un programme client.

Le projet Turbolab porte sur deux volets :

- Le développement de nouvelles méthodologies de conception et la validation de nouveaux procédés de fabrication ;
- La création d'un site de validation expérimentale d'un niveau international.

Ce projet est actuellement en cours de lancement, notamment au niveau de la création du site de validation. En effet, la communauté d'agglomération prend en charge le foncier et le gros œuvre du site. L'étude de faisabilité est déjà effectuée et l'étude de voirie est en cours. L'étude des bâtiments suivra.

Estia sera locataire du site et pourra y conduire ses travaux d'enseignement et de recherche. ESTIA se chargera des aménagements pédagogiques. Estia a un accès à Turbolab pour des travaux de recherche (fabrication additive, composites, etc...) ou d'enseignement (TP, cours, thèses...).

Akira se chargera des aménagements techniques initiaux (banc, pupitre, acquisition, servitudes...). Akira mettra à disposition un moteur DGEN et ses autres propulseurs hybrides propriétaires, à l'instar des démonstrateurs développés dans le cadre du CORAC. Akira a un accès à Turbolab pour ses travaux clients (Safran, NASA, Flying Whales...).

Sur ces bases, une convention entre Estia et Akira a déjà été rédigée et satisfait les deux parties à ce stade. Depuis fin 2020 les acteurs du projet se rencontrent tous les 15 jours pour faire le point sur la conception du bâtiment, les aménagements techniques, les futurs travaux de R&T et R&D qui pourront y être hébergés, ainsi que sur les modèles économiques qui seront mis en jeu.

Les partenaires ont déjà lancé des travaux.

Akira développe un turbopropulseur hybride nouvelle génération (projet Turbolab du Corac) de décembre 2020 à avril 2022. Un autre projet confidentiel concerne l'hybridation, utilisant le DGEN jusqu'en 2023.

Création d'un laboratoire commun

En parallèle de ces projets en cours, Estia et Akira souhaitent créer une structure de recherche commune de type LabCom, au sens de l'agence nationale de la recherche (ANR). Un LabCom est un laboratoire partagé entre une structure de recherche et une entreprise. L'ANR soutient ce type d'initiative et peut contribuer à son financement. Du fait de sa genèse, de ses objectifs, son organisation et la nature de ses activités, Turbolab peut viser à la reconnaissance LabCom par l'ANR.

Un projet de LabCom ambitionne une stratégie commune et concertée permettant de soutenir une vision partagée entre industriels et académiques pour produire de façon pérenne de la valeur économique et de l'innovation. Un LabCom est caractérisé par la définition commune d'une feuille de route de recherche, d'une gouvernance, d'un volume d'activité commune, d'une stratégie de valorisation, d'un contrat cadre.

Le LabCom Turbolab intégrera plusieurs composantes :

- La constitution d'un pool de doctorants au sein de Estia Recherche, basés sur la plateforme Turbolab, co-dirigés par des laboratoires français reconnus dans le domaine, dont les thématiques seront orientées sur l'intégration des technologiques et la création de synergies dans un environnement industriel ;
- La création d'un pool d'ingénieurs de recherche docteurs travaillant en interface avec le monde industriel en s'appuyant sur le plateau technique de turbolab, sous le pilotage de Compositadour ;
- L'accueil en résidence de chercheurs seniors nationaux et internationaux pour irriguer les approches innovantes retenues et pour participer à la direction des thèses en collaboration.

L'animation de la résidence est confiée à un animateur, enseignant chercheur senior, reconnu dans le domaine, dont les missions sont :

- Proposer une politique scientifique cohérente avec les objectifs de la résidence et la politique scientifique de l'Estia ;
- Accueillir les résidents et les accompagner dans leurs développements scientifiques ;
- Recruter les doctorants et les post-doctorants en synergie avec les équipes de recherche ;
- Répondre aux sollicitations universitaires et industrielles ;
- Dynamiser la résidence par le montage de projets collaboratifs.

Les résidents sont des professeurs et chercheurs seniors reconnus internationalement dans le domaine des générateurs d'énergie et turbomachines. Ils apportent à la fois une expertise significative dans leur domaine et expriment un besoin de recherche en interaction avec d'autres disciplines dans le cadre

des activités de recherche de l'Estia. Ainsi, il y a une fertilisation scientifique croisée. Les résidents apportent leur expertise scientifique en réponse aux questions posées par les doctorants et les accompagne dans la construction de leur réflexion scientifique. Le travail de recherche se construit ainsi par un échange dynamique entre expert et apprenant et entre apprenant et apprenant. Le projet devient une réussite lorsque la synergie entretenue produit des voies de recherche originales.

Une équipe de doctorants participe à un plateau de recherche qui fonctionne en synergie, coaché par les résidents. Les doctorants s'appuient sur les ressources scientifiques de l'Estia, pour développer une recherche d'interaction répondant aux attentes industrielles. Cette équipe est renforcée par les docteurs et les ingénieurs de Turbolab qui participent aux développements nécessaires pour monter en TRL et qui participera aux collaborations industrielles.

Avec ce laboratoire commun, Estia veut devenir l'animateur d'un nœud de connexion d'un réseau universitaire international dans le domaine des turbomachines et des générateurs d'énergie en interaction avec le monde industriel, qui fonctionnera sur le modèle d'une résidence scientifique de chercheurs. Le dépôt d'un dossier est prévu sur l'année 2022. Il portera sur l'embauche d'un responsable scientifique de la plateforme, avec une certaine expérience des turbomachines et de la propulsion aéronautique. Ce LabCom sera aussi une opportunité de présenter de nouveaux projets aux partenaires industriels habituels de Compositadour et Estia.

Programmes de développements scientifiques et technologiques

Par souci de cohérence et de crédibilité scientifique, il semble souhaitable dans un premier temps de proposer des thématiques de recherche en lien avec les autres plateformes ESTIA :

- Pièces moteur en fabrication additive : conception, fabrication, puis essais dans un environnement moteur représentatif (TRL5) ;
- Pièces moteur et périphériques en matériaux composites : idem ;
- Démonstration de stockage et combustion hydrogène ;
- Récupération et stockage d'énergie (lien avec le projet Fataloop)

Ces thématiques pourront être abordées sous différents formats dans lesquels des partenaires supplémentaires (labo, PME, ETI, GG) trouveront leur place :

- Thèses de doctorat ;
- Prestations type Compositadour ;
- Projets collaboratifs européens ou français.

Projet de thèse #1

Conception d'arbre de turbomachines à amortissement contrôlé

La conception des arbres de transmission des turbomachines est fortement contrainte par les comportements dynamiques de la ligne d'arbre en flexion et en torsion. En effet, afin d'éviter l'entrée en résonance du système, et donc sa détérioration, un des enjeux consiste à dimensionner une ligne d'arbre dont les vitesses critiques et modes propres sont en dehors de la plage de fonctionnement de la machine. Par ailleurs, l'analyse des déformées modales et plus précisément des amplitudes de déformation est cruciale pour la gestion des jeux de fonctionnement. Pour satisfaire ces critères dynamiques, le concepteur ne dispose que d'un nombre limité de degrés de liberté sur la conception de la ligne d'arbre, à savoir principalement la géométrie de l'arbre et la position des paliers. Nous noterons qu'un certain nombre de ces paramètres sont eux-mêmes fortement contraints par le régime de rotation de la machine, comme le choix des roulements par exemple. D'autre part, les matériaux métalliques conventionnels n'augmentent pas non plus le domaine des possibles dans la mesure où les ratios raideur sur la densité sont relativement proches. Ainsi des compromis doivent alors réalisés entre les contraintes aérodynamiques, mécaniques, thermiques et dynamiques, pénalisant ainsi l'architecture finale.

L'objectif de la thèse est d'introduire des degrés de libertés supplémentaires dans la conception de la ligne d'arbre en venant modifier localement les raideurs et coefficients d'amortissement de la structure. Ainsi, par rapport à une structure métallique classique, l'introduction du composite permettrait de faire varier le ratio raideur/densité de la structure et de l'optimiser en fonction des besoins du concepteur. De plus, une variation locale de la raideur pourrait impacter les déformées modales et participer à maîtriser les jeux de fonctionnement. Enfin, l'ajout de la colle inhérente dans la construction d'une structure composite pourraient introduire de l'amortissement supplémentaire dans le système.

Ainsi le dimensionnement de ce nouveau type d'arbre hybrides composites/métalliques pose de nombreux enjeux et problématiques qui seront adressés au cours de cette thèse :

- Dimensionnement d'une structure composite/métallique en environnement sévère (solicitation mécanique, régime, thermique)
- Analyse de la dynamique des rotors dans le cas d'un arbre composite (modélisation et simulation)
- Conception des interfaces métal/composite
- Essais partiels et recalage des modèles
- Endommagement et fiabilité

Ainsi, le projet a pour but de proposer un modèle de performance multicritère permettant d'évaluer la performance de deux nouvelles technologies d'arbre de transmission réalisés par des procédés non encore utilisés à ce jour :

- Fabrication d'un arbre à partir d'une âme en composite ;
- Fabrication hybride d'un arbre par fabrication additive et drapage composite.

Les deux approches retenues offrent l'opportunité d'optimiser localement ou par couche la répartition de la matière, vis-à-vis des contraintes mécaniques, de manière à contrôler le comportement vibratoire et l'amortissement.

La résolution de ce problème passe par les étapes suivantes :

- Analyse bibliographique des arbres de transmission ;
- Expression de critères de performance et proposition de modèles d'estimation des performances ;
- Proposition de concepts d'architecture d'arbres moteurs ;
- Validation expérimentale des modèles ;
- Optimisation des modèles.

Pour répondre à ces exigences tout en proposant un modèle rapide et efficace, l'idée est de coupler celui-ci avec une validation expérimentale itérative à chaque étape de la conception de l'arbre.

Direction de thèse : Dr Fabien Poulhaon, Pr Pierre Joyot

Projet de thèse #2

Optimisation de procédés de fabrication pour la fabrication d'arbres de turbomachines

La seconde thèse a pour but de réaliser les développements des procédés de fabrication nécessaires à l'obtention d'un arbre à amortissement contrôlé. Elle permettra de valider les concepts introduits dans la première thèse et les enrichir d'un point de vue développement durable.

Le premier verrou fondamental porte sur le choix des matériaux et sur la faisabilité technologique des procédés. En particulier, la recherche d'une solution hybride couplant la mise en œuvre de procédés composites et de procédés métalliques par fabrication additive sera une voie étudiée avec attention. Par ailleurs, une approche par gradient fonctionnel de matériaux pourra être envisagée. Ainsi, l'optimisation est réalisée couche par couche.

Les travaux s'appuieront sur les compétences conjointes des équipes de Compositadour et d'Addimadour.

La résolution de ce problème passe par les étapes suivantes :

- Analyse bibliographique des problématiques d'adhésion entre matériaux composites et métalliques;
- Caractérisation des matériaux et des procédés de fabrication ;
- Proposition d'un processus de fabrication, évaluation de la performance ;
- Validation expérimentale ;
- Optimisation des modèles ;
- Pré-industrialisation.

Cette recherche s'appuiera aussi sur une validation expérimentale itérative à chaque étape de conception.

Direction de thèse : Dr Pierre Michaud, Pr Pierre Joyot