

Titre de la thèse	Méthode d'exploration architecturale pour une structure d'hélicoptère optimisée obtenue par Fabrication Additive
Ecole Doctorale	ED548
Laboratoire(s)	COSMER
Discipline(s)	Mécanique
Directeur(s) de thèse Encadrant(s)	MILLET Dominique ORQUERA Myriam
Partenaire cofinanceur	Expleo

Description du projet de recherche

(3 pages maximum - contexte scientifique, objectifs, calendrier prévisionnel, mots clés, références)

1 CONTEXTE

Concevoir un nouvel aéronef nécessite de mettre en place différentes équipes travaillant chacune sur un sous-système (la structure, le groupe propulseur...) pour aboutir à un système qui optimise tout à la fois les performances d'usage (masse, vitesse, confort...), les contraintes de production (coût, vitesse de production, qualité...), les exigences de maintenance (démontabilité, fiabilité,...) et les contraintes de fin de vie (recyclage, remanufacturing, upgrading...). La diversité des systèmes et de leurs paramètres de fonctionnement constituent un frein à l'amélioration et à l'optimisation de la conception générale d'un appareil.



Figure 1. Racer présenté au salon du Bourget 2017

Si nous nous concentrons sur la structure d'un hélicoptère, nous constatons qu'elle est constituée de composants soit métalliques soit composites. Les améliorations possibles sur la conception des structures présentent, avec les technologies conventionnelles de production, de moins en moins de potentiel notamment sur le critère masse (Courteau, 2013; Dgac, 2019). Le gain sur ce critère permet à un hélicoptère d'être plus performant, plus économe en termes de ressource d'énergie mais aussi de répondre aux contraintes environnementales. Ce choix du couple matériau/procédé conditionne aussi fortement le coût et les cadences de production, notamment du fait d'une multitude d'étapes, mobilisant des outillages spécifiques et des savoir-faire techniques poussés.

La Fabrication Additive (FA) métallique est un procédé de fabrication de pièces par fusion d'un bain de poudre ou par dépôt de matière qui a acquis ces dix dernières années un statut de technologie « industrielle », du fait de la diversité des matériaux utilisables (...) et de la robustesse des machines mises actuellement sur le marché, intégrant notamment des moyens de contrôle (Gisario et al., 2019; Haleem & Javaid, 2019), des moyens de post-traitement (Williams & Butler-Jones, 2019). Ces technologies de FA diffèrent des procédés conventionnels devant déformer un lopin (forgeage) ou enlever de la matière (usinage) ou couler de la matière dans un moule (le moulage) ... La FA permet en revanche de se rapprocher des méthodes de conception utilisant des matériaux composites en positionnant le « bon Matériau au bon Endroit, dans la bonne Direction et dans la Quantité juste nécessaire ». Les formes ainsi obtenues peuvent être extrêmement complexes et peuvent permettre par exemple d'intégrer dans une même pièce des fonctions de structure avec des fonctions de circulation de fluide et des fonctions de support.

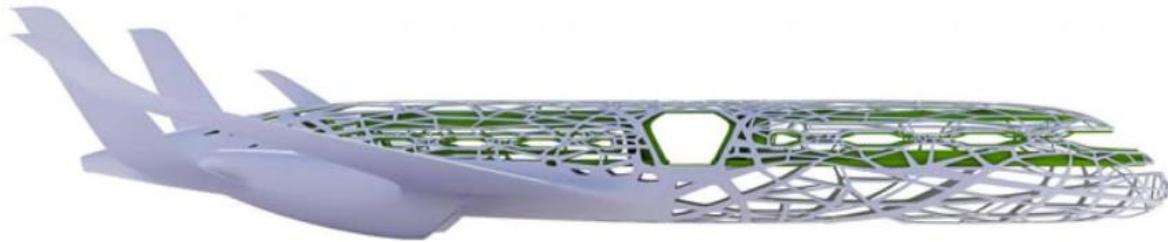


Figure 2. Concept Airbus 2050 avec une structure d'un avion topologiquement optimisé. Source : Galerie d'Autodesk.

La méthode de conception pour la FA diffère de celle employée pour les procédés conventionnels (PIPAME, 2017). Les différentes étapes sont représentées par la Figure 3 dans laquelle les parties OPTIMISATIONS sont très intéressantes dans le domaine aéronautique. Par exemples, l'optimisation architecturale (Ren & Galjaard, 2015) permettra d'optimiser la position des éléments, l'optimisation fonctionnelle permettra de réaliser des ajouts de fonctions (Campbell et al., 2013; Thompson et al., 2016) dans les sous-systèmes et enfin l'optimisation topologique (Bendsøe, 1995; Tomlin & Meyer, 2011) permet d'obtenir un gain de masse tout en respectant les contraintes de tenue mécanique.

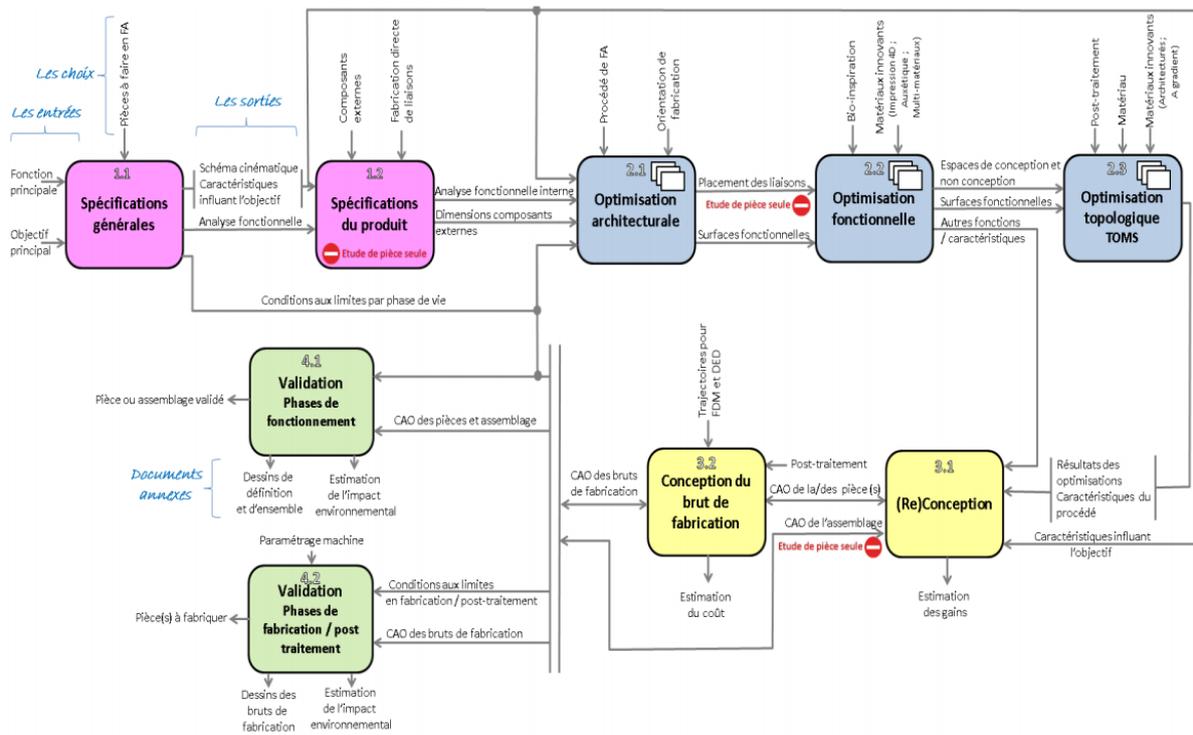


Figure 3. Etapes de conception d'un système multicorps pour la FA (Orquéra, 2019)

2 OBJECTIFS DE LA THESE

L'objectif principal de cette thèse est de proposer une méthode d'exploration architecturale d'une structure d'hélicoptère obtenue par Fabrication Additive de façon à définir le découpage optimal de cette structure. Cette méthode devra intégrer les optimisations d'un point de vue fonctionnel, architectural, performance. Pour cela une étude multi physique est envisagée (mécanique, thermique, aérodynamisme...) focalisée, sur la structure globale du véhicule (excluant la motorisation).

Cette méthode de conception devra prendre en compte les contraintes fonctionnelles (par exemple la plus grande surface vitrée possible, intégration des fonctions), mécaniques (140 cas de charges) et aussi de fabrication (« découpage » de la structure principale en tronçons par exemple), de maintenance et de fin de vie.

Le programme de recherche de cette thèse comprend 6 grandes étapes :

1. Etude du champ des contraintes de conception d'un hélicoptère permettant d'établir des critères de performances pour évaluer les architectures ;
2. Etude du champ des possibilités de la Fabrication Additive métallique afin de clarifier la granularité du découpage du système « structure » ;
3. Analyse préliminaire du problème visant à définir les limites du système « structure » sur lequel portera l'étude ;
4. Première partie expérimentale visant à réaliser des optimisations topologiques sur l'ensemble de la structure précédemment définie avec différents critères d'optimisation ; ceci aboutissant à différentes propositions de découpages préliminaires (Dpi) potentiellement pertinents ;
5. Deuxième partie expérimentale visant à réaliser des optimisations topologiques sur chaque sous-ensemble de chaque DPi ; L'évaluation de la synthèse de ces optimisations permettant d'établir une hiérarchie des DPi et une comparaison avec le découpage traditionnel ;

6. Proposition d'une méthode d'exploration architecturale d'une structure optimisée d'hélicoptère obtenue par Fabrication Additive.

3 BIBLIOGRAPHIE

- Bendsøe, M. P. (1995). *Optimization of structural topology, shape, and material*. (Springer, Ed.). Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg.
- Campbell, R. I., Jee, H., & Kim, Y. S. (2013). Adding product value through additive manufacturing. In *The Design Society*.
- Courteau, R. (2013). *Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe*. Retrieved from <http://www.senat.fr/rap/r12-658/r12-6581.pdf>
- Dgac. (2019). *Plan d'action de la France pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale*. Retrieved from www.ecologique-solidaire.gouv.fr
- Gisario, A., Kazarian, M., Martina, F., & Mehrpouya, M. (2019). Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 53(May), 124–149.
- Haleem, A., & Javaid, M. (2019). Additive manufacturing applications in industry 4.0: A review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 4(4), 1930001.
- Orquéra, M. (2019). *Conception pour la fabrication additive : Approche méthodologique pour les systèmes mécaniques multi-corps*. Université de Toulon.
- PIPAME. (2017). *Futur de la fabrication additive, Synthèse*. Pole Interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations.
- Ren, S., & Galjaard, S. (2015). Topology optimisation for steel structural design with additive manufacturing. In *Modelling Behaviour* (pp. 35–44). Springer Cham.
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... Martina, F. (2016). Design for additive manufacturing: trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65, 737–760.
- Tomlin, M., & Meyer, J. (2011). Topology optimization of an additive layer manufactured (ALM) aerospace part. In *Proceeding of the 7th Altair CAE Technology Conference* (pp. 1–9).
- Williams, H., & Butler-Jones, E. (2019). Additive manufacturing standards for space resource utilization. *Additive Manufacturing*, 28, 676–681.

4 PROGRAMME DE RECHERCHE DE LA THESE :

La thèse se déroulera sur trois années au laboratoire COSMER / Maq3D en étroite collaboration avec EXPLEO. Cela nécessitera des expérimentations sur les moyens en Fabrication Additive MAQ 3D. Le planning de l'étude est prévu comme suit :

T0 à T0 + 12 mois

- Recherche bibliographique globale (Livrable 1) sur:
 - Les différents procédés de Fabrication Additive métalliques;
 - Les matériaux possibles, les matériaux FGM (Functional Graded Material) et structures lattice utilisés en Fabrication Additive ;
 - Les approches d'optimisation de systèmes multi-corps en Fabrication Additive ;
 - Les contraintes de conception et les spécifications de conception d'un hélicoptère ;
 - Analyse mécanique des différentes structures d'hélicoptère développées récemment.
- Recherche bibliographique détaillée sur les méthodes de conception pour la Fabrication Additive et les modèles existants (Livrable 2).

- Pose de la problématique concernant une « méthode d'exploration architecturale d'une structure optimisée d'hélicoptère obtenue par Fabrication Additive ».

T0 + 8 mois à T0 + 16 mois

- Définition d'un protocole d'expérimentation : définition du système « structure d'hélicoptère », des différents critères d'optimisation et des différents cas de chargement (Livrable 3).
- Campagne d'expérimentations 1 sur la structure complète.
- Analyse des résultats pour établir différentes propositions de découpages préliminaires (Dpi) potentiellement pertinents (Livrable 4).
- Rédaction d'un article scientifique sur expérimentations 1 (Livrable 5).

T0 + 14 mois à T0 + 30 mois

- Définition d'un protocole d'expérimentation : conception de chaque sous-système de chaque Dpi et organisation d'un plan d'expériences (processus de conception, fabrication, post traitement) (Livrable 6).
- Campagne d'expérimentations 2.
- Analyse et synthèse des résultats pour chaque Dpi (Livrable 7).
- Comparaison des performances associées à chaque Dpi avec le découpage initial.
- Rédaction d'un article scientifique sur expérimentations 2 (Livrable 8).

T0 + 28 mois à T0 + 36 mois

- Consolidation de la méthode d'exploration architecturale d'une structure optimisée d'hélicoptère obtenue par Fabrication Additive en version finale (Livrable 9).
- Rédaction du mémoire de thèse (Livrable 10 : fin de troisième année).

5 MOTS CLEFS

Fabrication additive – Impression 3D – Conception multi-physique – Optimisation topologique – Méthodologie de conception – Impression métallique grand volume – L-PBF (Laser Powder Bed Fusion)