

## Sujet de thèse : Simulation numérique et optimisation haute performance de structures aéronautiques raidies

Directeur de thèse : Thomas Elguedj (PU, Lamcos, INSA-Lyon)

Co-encadrant : Arnaud Duval (IR CNRS, Lamcos)

Laboratoire : Lamcos INSA-LYON

### Descriptif du sujet de thèse :

La conception, simulation numérique et l'optimisation de structure aéronautiques de grande taille sont des opérations complexes ce type de structure étant composée de centaines de raidisseurs. La construction de modèle géométriques précis et correctement assemblés est fastidieuse et la conversion en modèle de simulation numérique nécessite des opérations de maillage longues et complexes. Pour les nouvelles générations de ces structure aéronautiques (que ce soit les fuselages ou les ailes d'aéronefs, les composants de fusées), la mise au point de conception innovantes impose un changement de paradigme dans les outils de simulation et d'optimisation numérique. Ceci dans le but de simuler et optimiser le nombre, la forme et le placement de centaines de raidisseurs de façon non régulière [1]. L'objectif principale de ce sujet de thèse est de développer des méthodes et outils de conception et calcul haute performance ultrarapide afin de mener ce type de simulation et optimisation sur des structures industrielles.

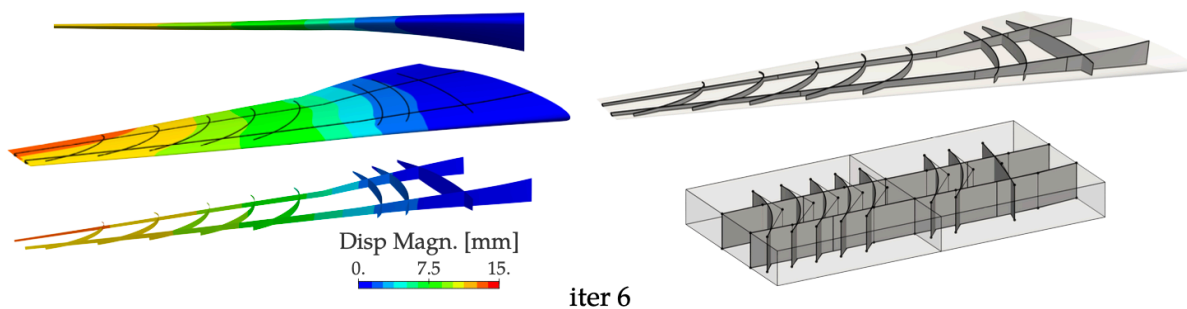


Figure 1: optimisation de forme d'un modèle simplifié d'aile par IGA, d'après [1].

Le premier ingrédient de la thèse est l'Analyse Isogéométrique (IGA) [2] et plus particulièrement le concept d'entités immergées développé dans une précédente thèse [3]. Cette approche simplifie énormément l'introduction de nombreux raidisseurs avec une représentation géométrique parfaitement raccordée, et cela permet également de mener facilement la simulation numérique et l'optimisation de forme ces structures, cf. Figure 1. Cependant, cette approche est actuellement limitée à des modèles numériques de taille modeste et à un petit nombre de raidisseurs, compte tenu des coûts de calcul associés. Une augmentation significative du nombre de raidisseurs, et donc de la taille des modèles numériques, nécessite d'étendre l'approche proposée dans un cadre général de décomposition de domaine afin de mettre en œuvre une stratégie de calcul massivement parallèle, ceci à l'aide de la variante IGA de la méthode FETI bien connue dans le contexte éléments finis [4, 5]. Ceci constituera la première étape de la thèse.

Il est cependant anticipé que les gains numériques en termes de coût et temps de calcul ne seront pas suffisant pour adresser des structures industrielles de grande taille. Il est donc nécessaire de développer d'autres approches complémentaires afin de pouvoir mener des calculs précis et très rapides. L'un des avantages majeurs de l'IGA est de pouvoir obtenir des résultats justes (au sens de l'erreur par rapport à la solution exacte) au coût juste (en termes de nombre de degrés de liberté) si des fonctions de forme de degré et de continuité élevés sont employées à l'aide d'approches IGA sans matrice et à quadrature pondérée [6, 7], cf. Figure 2. Bien que très performantes, ces méthodes n'ont jusqu'à lors été

utilisées que pour des domaines de taille modeste et de forme simple. Le second objectif de la thèse consistera donc à proposer une approche de type décomposition de domaine couplée aux techniques sans matrice et quadrature pondérée en IGA. Une attention particulière devra être portée au problème d'interface qui devra être repensé dans un cadre sans matrice, ce qui nécessitera de proposer des préconditionneurs et solveurs adaptés, comme cela a pu être fait récemment en thermique transitoire dans une autre thèse [7].

Enfin, le dernier objectif de la thèse sera d'étendre ces résultats dans un cadre d'optimisation de forme permettant de modifier la

forme et le positionnement de plusieurs centaines de raidisseurs. On exploitera pour cela les avantages de la méthode IGA avec entités immergées, notamment sa facilité à produire des géométries parfaitement raccordées pendant l'optimisation, et l'obtention aisée de sensibilités analytiques pour les problèmes auto-adjoints. Néanmoins, la résolution de cas d'optimisation de forme à grand nombre de paramètres par des approches à gradient restant délicate, différentes approches alternatives seront évaluées, avec ou sans gradient.

L'ensemble des développements numériques de la thèse seront réalisés dans le code IGA *opensource* YETI [8] développé au laboratoire depuis plusieurs années, ceci afin de faciliter la dissémination des résultats de la thèse tant d'un point de vue académique qu'industriel.

### **Profil recherché :**

- Master 2 ou équivalent en mécanique ou mathématiques appliquées.
- Compétences en mécanique des milieux continus, méthodes numériques, méthode des éléments finis, appétence pour la programmation.
- **La thèse étant potentiellement cofinancée par la DGA, les candidats doivent posséder la nationalité Française, ou d'un pays de l'Union Européenne, Royaume-Uni ou Suisse.**

**[Candidature uniquement via le site du CNES](#)**

### **Bibliographie**

- [1] F. Savine. Simultaneous optimization of unconventional stiffener layouts and composite layups applied to large cylindrical shell structures. PhD thesis, Sorbonne Université, 2022
- [2] J. Cottrell, T. Hughes, and Y. Bazilevs. *Isogeometric Analysis: Toward Integration of CAD and FEA*. Wiley, 2009.
- [3] T. Hirschler, R. Bouclier, A. Duval, T. Elguedj, J. Morlier. The embedded isogeometric Kirchhoff–Love shell: From design to shape optimization of non-conforming stiffened multipatch structures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 349, pp. 774-797, 2019.
- [4] C. Farhat, F-X. Roux. A method of finite element tearing and interconnecting and its parallel solution algorithm. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol 32, pp. 1205-1227, 1991.
- [5] S. Kleiss, C. Pechstein, B. Juttler, S. Tomar. IETI – Isogeometric Tearing and Interconnecting. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 247-248, pp. 201-215, 2012.
- [6] G. Sangalli, M. Tani. Matrix-free weighted quadrature for a computationally efficient Isogeometric k-method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 338, pp. 117-133, 2018.
- [7] J. Cornejo-Fuentes, T. Elguedj, D. Dureisseix, A. Duval. A cheap preconditioner based on fast diagonalization method for matrix-free weighted- quadrature isogeometric analysis applied to nonlinear transient heat transfer problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 414, pp. 116157, 2023.
- [8] A. Duval, T. Elguedj. YETI: Yet another iga code, URL: <https://lamcosplm.insa-lyon.fr/projects/yeti>. Distributed under LGPL licence, 2023.

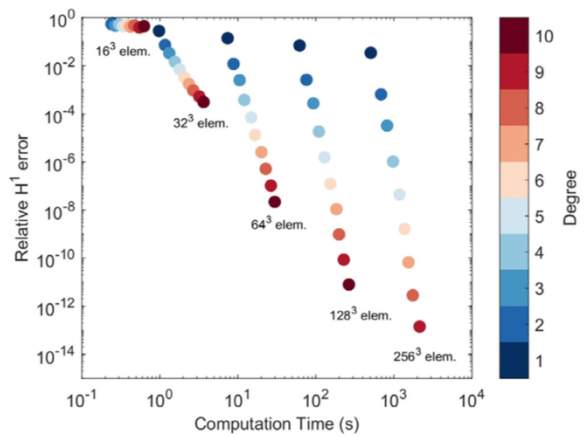


Figure 2 : temps CPU versus taille de maillage et degré polynomial pour l'approche IGA sans matrice à quadrature pondérée, d'après [6].