

Soutenance de thèse

Rémy PRIEM soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'ISAE-ONERA MOIS et intitulée
«*Optimisation multi-disciplinaire en grande dimension pour la conception avion avant-projet*»

Le 24 novembre 2020 à 15h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

Mme Nathalie BARTOLI	Maître de recherche ONERA	Directrice de thèse
M. Sébastien LE DIGABEL	Professeur Polytechnique Montréal	Rapporteur
M. Rodolphe LE RICHE	Directeur de recherche Ecole des Mines Saint Etienne	Rapporteur
M. Victor PICHENY	Ingénieur de recherche PROWLER.io Cambridge	
M. Youssef DIOUANE	Professeur Associé ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Olivier ROUSTANT	Professeur INSA Toulouse	

Résumé : De nos jours, la conception avant-projet en aéronautique repose majoritairement sur des modèles numériques faisant interagir de nombreuses disciplines visant à évaluer les performances de l'avion. Ces disciplines, comme l'aérodynamique, la structure et la propulsion, sont connectées entre elles afin de prendre en compte leurs interactions. Cela produit un processus d'évaluation des performances de l'avion coûteux en temps de calcul. En effet, une évaluation peut prendre de trente secondes pour les modèles de basse fidélité jusqu'à plusieurs semaines pour les modèles de plus haute fidélité. De plus, à cause de la multi-disciplinarité du processus et de la diversité des outils de calcul, nous n'avons pas accès aux propriétés ou au gradient de cette fonction de performance. En outre, chaque discipline utilise ses propres variables de conception et doit respecter des contraintes d'égalité ou d'inégalité qui sont souvent nombreuses et multi-modales. On cherche finalement à trouver la meilleure configuration possible dans un espace de conception donné. Cette recherche peut se traduire mathématiquement par un problème d'optimisation sous contraintes d'inégalité et d'égalité dépendant d'un grand nombre de variables de conception. De plus, les contraintes et la fonction objective sont coûteuses à évaluer et leur régularité n'est pas connue. C'est pourquoi, on s'intéresse aux méthodes d'optimisation reposant sur les modèles de substitution. Les méthodes d'optimisation Bayésienne, utilisant des processus gaussiens, sont plus particulièrement examinées car elles ont montré des convergences rapides sur des problèmes multi-modaux. En effet, l'utilisation d'algorithmes d'optimisation évolutionnaire ou reposant sur le gradient n'est pas envisageable du fait du coût de calcul que cela implique : trop d'appels pour générer des populations de points, ou pour approcher le gradient par différence finies. Cependant la méthode d'optimisation Bayésienne est classiquement utilisée pour des problèmes d'optimisation sans contrainte et de faible dimension. Des extensions ont été proposées pour prendre en compte ce problème de manière partielle. D'une part, des méthodes d'optimisation ont été introduites pour résoudre des problèmes d'optimisation à contraintes d'inégalité ou mixte. Toutefois, aucune d'entre elles n'est adaptable à la grande dimension, aux problèmes multi-modaux et à contraintes mixtes. D'autre part, des méthodes d'optimisation ont été développées pour la grande dimension pouvant aller jusqu'au million de variables de conception. De même, ces méthodes ne s'étendent que difficilement aux problèmes contraints multi-modaux à cause du temps de calcul qu'ils nécessitent ou de leur caractère aléatoire. Une première partie de ce travail repose sur le développement d'un algorithme d'optimisation Bayésienne résolvant les problèmes d'optimisation sans contrainte en grande dimension. Il repose sur une stratégie d'apprentissage adaptatif d'un sous-espace linéaire réalisée conjointement à l'optimisation. Ce sous-espace linéaire est ensuite utilisé pour réaliser l'optimisation. Cette méthode a été testée sur des cas tests académiques. Une deuxième partie de ce travail traite du développement d'un algorithme d'optimisation Bayésienne pour résoudre les problèmes d'optimisation multi-modaux sous contraintes mixtes. Il a été comparé aux algorithmes de la littérature de manière intensive sur une grande batterie de tests académiques. Finalement, on a confronté le second algorithme à deux cas tests aéronautiques. Le premier cas test est une configuration classique d'avion moyen-courrier à propulsion hybride électrique développé par l'ONERA et l'ISAE-Supaero. Le second cas test est une configuration classique d'avion d'affaire développée par BOMBARDIER Aviation pour faciliter la collaboration avec les universités et laboratoires de recherche. Ce cas test repose sur une optimisation à deux niveaux de fidélité. Un niveau de fidélité conceptuel et un niveau de fidélité préliminaire pour lesquels le problème est respectivement évalué en trente secondes et 25 minutes. Cette dernière étude a été réalisée lors d'une mobilité internationale chez BOMBARDIER Aviation à Montréal, Québec, Canada. Les résultats ont montré l'intérêt de la méthode mise en place.

Mots-clés : Optimisation Bayésienne, Modèle de substitution, Optimisation en grande dimension, Conception avion

Summary: In the last decade, there has been significant and growing interest in improving the efficiency of vehicle design processes through the development of tools and techniques in the field of multidisciplinary design optimization (MDO). In fact, when optimizing both the aerodynamics and structures, one needs to consider the effect of the aerodynamic shape variables and structural sizing variables on the weight which also affects the fuel consumption. MDO arises as a powerful tool that can perform this trade-off automatically. The objective of the Ph. D project is to propose an efficient approach for solving an aero-structural wing optimization process at the conceptual design level. The latter is formulated as a constrained optimization problem that involves a large number of design variables (typically 700 variables). The targeted optimization approach is based on a sequential enrichment (typically efficient global optimization (EGO)), using an adaptive surrogate model. Kriging surrogate models are one of the most widely used in engineering problems to substitute time-consuming high fidelity models. EGO is a heuristic method, designed for the solution of global optimization problems, that has performed well in terms of quality of the solution computed. However, like any other method for global optimization, EGO suffers from the curse of dimensionality, meaning that its performance is satisfactory on lower dimensional problems, but deteriorates as the dimensionality of the optimization search space increases. For realistic aircraft wing design problems, the typical size of the design variables exceeds 700 and, thus, trying to solve directly the problems using EGO is ruled out. So, a first step will consist of developing a new and efficient parameterization to significantly reduce the number of design variables (based on sensitivity analysis, subspace approaches...). The second step is to handle the presence of constraints in the optimization problem, in particular the feasibility of the initial DOE (Design Of Experiment) as it is the starting phase for the enrichment process. For this, different surrogate models will be investigated (Kriging, co-kriging, mixture of experts...). Moreover, a new criterion to perform the enrichment process will be considered, in order to have a good balance between exploration and exploitation and to take into account the constraints. The final step will be to implement this process within the OpenMDAO framework, an open source toolbox developed by NASA.

Keywords: Bayesian optimization, Surrogate models, Large scale optimization, Aircraft design