

## Soutenance de thèse

**Paul SAVES** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA MOIS et intitulée «*Optimisation multi-disciplinaire en grande dimension pour l'éco-conception avion en avant-projet*»

**Le 19 janvier 2024 à 14h00, salle des thèses, ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

Mme Nathalie BARTOLI	ONERA	Directrice de thèse
M. Emmanuel VAZQUEZ	Centrale Supélec	Rapporteur
M. Sébastien DA VEIGA	ENSAI	Rapporteur
M. Youssef DIOUANE	Polytechnique Montréal	Co-directeur de thèse
M. Joseph MORLIER	ISAE-SUPAERO	Co-encadrant de thèse
M. Julien PELAMATTI	EDF R&D	
M. Olivier ROUSTANT	INSA Toulouse	
Mme Delphine SINOQUET	IFPEN	

**Résumé :** Ce travail fait suite aux thèses de M.-A. Bouhlef (2012-2016) et de R. Priem (2017-2020) dans laquelle une stratégie adaptative d'optimisation globale sous contraintes (algorithme par enrichissement) a été développée avec la mise au point de modèles réduits adaptés à la grande dimension (modèles de krigeage KPLS et KPLS-K). Le travail de Rémy a permis d'étendre la méthode à la prise en compte de contraintes mixtes (égalité, inégalité) et d'effectuer la validation sur de nombreux cas tests analytiques et industriels (cas test chez Bombardier). L'objectif de cette thèse est de poursuivre dans cette voie en proposant de travailler davantage sur la réduction de dimension. Différents cas tests disponibles dans l'équipe pourront servir de benchmarks. Deux applications actuelles concernent le dimensionnement d'un avion à voilure flexible (thèse de M. Saporito 2018-2021) et celui d'un avion régional à propulsion hybride (thèse de V. Palladino 2019-2022) qui serviront de cas test à l'algorithme développé dans ce projet. Deux autres cas tests concernant l'optimisation aérodynamique de voilure, partagés avec l'université du Michigan (MDO Lab) permettront de valider l'approche développée avec, respectivement la gestion d'un grand nombre de variables et de contraintes et la présence d'optima multiples. Une collaboration avec l'université de McGill est envisagée avec une (Pr M. Kokkolaras) et un séjour de quelques mois pourrait être organisé durant la thèse (via le protocole de mobilité proposé par l'ONERA). L'extension aux variables mixtes permettra d'étendre le champ des applications (choix de matériau, choix d'architectures électriques, nombre de moteurs électriques, ...).

**Mots clés :** Optimisation de concepts multidisciplinaires, Optimisation sur modèles de substitution, Processus gaussien, Variables mixtes catégorielles, Variables hiérarchiques, Conception d'avions écologiques

**Summary:** Nowadays, there is a 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). Specifically, in aerospace design, aerodynamic and structural variables influence each other and have a joint effect on quantities of interest such as weight or fuel consumption. MDO arises as a powerful tool for automatically making interdisciplinary tradeoffs. In the aircraft design context, the process generally involves mixed continuous-categorical design variables. For instance, the size of an aircraft's structural parts can be described using continuous

variables, while discrete variables may include either integer variables like the number of panels or categorical variables like cross-sections, or material choices. The objective of this Philosophiae Doctor (Ph.D) thesis 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 mixed integer design variables (typically 100 variables). The targeted optimization approach, called Efficient Global Optimization (EGO), is based on a sequential enrichment of an adaptive surrogate model and Gaussian Process (GP) surrogate models are one of the most widely used in engineering problems to approximate time-consuming high fidelity models. EGO is a heuristic Bayesian Optimization (BO) method that performs well in terms of solution quality. However, like any other global optimization method, 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 design problems, the typical size of the design variables can even exceed 100 and, thus, trying to solve directly the problems using EGO is ruled out. The latter is especially true when the problems involve both continuous and categorical variables increasing even more the size of the search space.

**Keywords:** Multidisciplinary design optimization, Surrogate based Optimization, Gaussian process, Mixed categorical variables, Hierarchical variables, Green aircraft design