# **Titre**

Stratégies d'optimisation multi-objectifs par métamodèles de krigeage et de cokrigeage direct avec enrichissement multi-points : Application à la conception 1D d'un fan de refroidissement automobile.

## **Résumé**

Les premières phases de conception d'une turbomachine telle qu'un fan de refroidissement automobile, se font traditionnellement à l'aide de modèles basse-fidélité dont les temps de réponse sont faibles.

Une méthode inverse permet, par exemple, d'aboutir à une géométrie 3D la plus adaptée à un point de fonctionnement nominal et une géométrie de veine spécifiés dans un cahier des charges. Bien qu'intrinsèquement dédiée à la conception, une méthode inverse présente l'inconvénient majeur de reposer sur le savoir-faire du concepteur et sur une approche d'essai-erreur afin d'obtenir une configuration la plus performante qui soit.

En couplant une méthode directe, dédiée à l'analyse des performances de toute géométrie 3D, avec un algorithme d'optimisation multi-objectifs, un balayage plus exhaustif et automatisé de l'espace des paramètres est effectué et l'obtention de configurations Pareto-optimales est facilitée. Néanmoins, une telle stratégie d'optimisation directe nécessite un échantillonnage intensif de ce dernier espace et n'est donc plus envisageable dans des phases de conception plus avancées où les évaluations sont réalisées par un modèle de plus haute-fidélité et plus coûteux tel qu'un solver Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS).

Des stratégies d'optimisation bayésienne multi-objectifs, embarquant un métamodèle et un critère d'enrichissement, permettent un échantillonnage plus efficace et plus parcimonieux de l'espace des paramètres et ont ainsi été étudiées. Afin de réduire leur coût global et de faciliter leur mise au point et leur comparaison, les configurations échantillonnées en cours de calcul restent évaluées ici via une méthode directe développée en partie durant cette thèse.

Outre les critères, cette méthode directe permet également la restitution de dérivées des critères par rapport à des paramètres de conception pour toute configuration échantillonnée. Ainsi, les processus d'optimisation bayésienne réalisés s'appuient sur des métamodèles soit de krigeage ou de cokrigeage. Leurs performances sont comparées sur plusieurs problèmes d'optimisation de formes de fans et en prenant comme référence les performances de processus d'optimisation directe.

L'originalité de ces travaux réside dans le fait que l'espace des paramètres définissant ces problèmes n'est pas contraint de manière à n'évaluer que des configurations faisables. En effet, à l'instar d'un modèle RANS, la méthode directe employée ici peut parfois ne pas converger et ne pas parvenir à restituer les critères de certaines configurations. Ces travaux de thèse s'inscrivent ainsi dans une démarche de préparation à des processus d'optimisation bayésienne basés sur des évaluations issues d'un solver RANS avec présence de larges zones non-faisables dans l'espace des paramètres. Si des dérivées peuvent être calculées via une méthode d'analyse de sensibilités accompagnant ce solver telle que l'adjoint, les stratégies d'optimisation bayésienne s'appuyant sur du cokrigeage mises en lumière dans cette thèse peuvent s'avérer intéressantes.

## **Mots clés**

Conception, fans, méthode directe, dérivation d'ordre élevé, métamodélisation, krigeage, cokrigeage, optimisation bayésienne multi-objectifs, enrichissement.

# **Title**

Multi-objective optimization strategies using kriging and direct cokriging metamodels with multi-point infill sampling: Application to the 1D design of an automotive cooling fan.

## **Abstract**

The first design phases of a turbomachine, such as an automotive cooling fan, traditionally rely on low-fidelity models with low response times.

An inverse method makes it possible, for example, to achieve a 3D geometry most suited to a nominal operating point and a vein geometry that the designer has specified. Although inherently dedicated to design, an inverse method has the major drawback of relying on the designer's know-how and on a trial-and-error approach in order to obtain the most efficient configuration.

By coupling a direct method, dedicated to the performance analysis of any 3D geometry, with a multi-objective optimization algorithm, a more exhaustive and automated scan of the parameter space is performed and obtaining Pareto-optimal configurations is easier. Nevertheless, such a direct optimization strategy requires an intensive sampling of the latter space and is therefore no longer possible in more advanced design phases where evaluations are carried out by a more time-consuming high-fidelity model such as a Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) solver.

Multi-objective Bayesian optimization strategies, embedding a metamodel and an infill criterion and performing a more efficient and parsimonious sampling of the parameter space, have thus been studied. In order to reduce their overall cost and to facilitate their development and their comparison, the sampled fan configurations in these optimization processes remain evaluated here through a direct method partly developed during this thesis.

In addition to the criteria, this direct method can also evaluate the derivatives of the criteria with respect to design parameters for any sampled configuration. Therefore, the Bayesian optimization processes performed here are either based on kriging or cokriging metamodels. Their performances are compared on several fan shape optimization problems and the performances obtained by direct optimization processes are used as benchmarks.

Moreover, the parameter space defining these optimization problems is not constrained in such a way that only feasible configurations can be evaluated. Indeed, like a RANS model, the direct method used here may sometimes not converge and fail to provide the criteria of some configurations.

The goal of this thesis is thus to prepare for Bayesian optimization processes

based on evaluations from a RANS solver for which large non-feasible areas can be observed in the parameter space. If this solver comes with a sensitivity analysis method such as the adjoint, derivatives can be computed and the Bayesian optimization strategies based on cokriging highlighted in this thesis may prove to be interesting.

## **Key words**

Fan design, direct method, high-order derivatives, metamodeling, kriging, cokriging, multi-objective Bayesian optimization, infill criterion.