

Modèles réduits pour l’optimisation multidisciplinaire robuste

Vincent Baudoui (vincent.baudoui@onera.fr)
Doctorant de 2^e année – ONERA Toulouse

Patricia Klotz, ONERA
Jean-Baptiste Hiriart-Urruty, IMT
Sophie Jan, IMT
Franck Morel, ONERA

Les problèmes traités en optimisation multidisciplinaire (MDO) sont relativement complexes. Des méthodes de résolutions exactes ou approchées existent néanmoins, et sont utilisées en pratique. Mais lorsque l’on souhaite prendre en compte les incertitudes liées aux problèmes, il est nécessaire d’apporter des modifications souvent importantes aux processus d’optimisation existants. Pour faire face à ce frein, nous proposons une solution de compromis permettant d’introduire la notion de robustesse dans les procédés MDO existants via des modifications mineures. Notre méthode, basée sur des modèles réduits intégrant la robustesse, sera appliquée à titre d’exemple à un cas de conception préliminaire avion.

A. SOURCES D’INCERTITUDE

Les sources d’incertitude dans un problème d’optimisation sont nombreuses et variées. Nous nous intéressons ici aux incertitudes provenant de certains paramètres à optimiser ainsi que de paramètres environnementaux que l’on ne contrôle pas. Ces incertitudes sont données sous la forme d’intervalles de variation, ou bien de distributions de probabilité à support borné. Des représentations utilisant la logique floue peuvent aussi être envisagées lorsque les incertitudes ne sont pas connues avec précision, mais cet aspect ne sera pas traité. Une fois les incertitudes du problème exprimées, on est à même de calculer l’incertitude résultante sur la performance du système que l’on souhaite optimiser.

B. MESURES DE ROBUSTESSE

La réalisation d’une optimisation robuste est basée en premier lieu sur la définition d’une mesure de la robustesse d’un point solution donné. De nombreuses mesures différentes peuvent être utilisées : il n’existe pas à ce sujet de consensus universel. On

choisira une mesure ou une autre en fonction des propriétés que l’on souhaite obtenir au point optimal. Des mesures de robustesse comme l’espérance ou la dispersion sont très répandues, mais la mesure la plus « rassurante » d’un point de vue industriel est la mesure du « pire cas » [BS07].

Le « pire cas » permet en effet de garantir que la performance du système final sera meilleure ou équivalente à celle annoncée (on se place dans le cas le plus défavorable). Le problème de cette mesure est qu’elle produit souvent des solutions optimales très robustes mais peu performantes. Ces solutions ne sont donc pas vraiment intéressantes en pratique. Pour remédier à cela, on peut voir ce « pire cas » comme une mesure de quantile spécifique [Jur07] : 100% des points de la plage d’incertitude doivent être meilleurs ou équivalents à la valeur annoncée. On peut alors étudier des quantiles d’ordre inférieur, qui définissent des mesures de robustesses possédant un degré de confiance moindre. Par exemple, on garantit que 95% des points seront meilleurs ou équivalents à la performance annoncée. Cette mesure « relâchée » du pire cas est plus adaptée aux applications industrielles car elle produit des solutions plus performantes tout en conservant de bonnes propriétés de robustesse.

C. OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE ROBUSTE

Dans un problème multidisciplinaire, une fois que les incertitudes sur les différents paramètres ont été exprimées, l’incertitude en sortie peut être obtenue de deux façons différentes. On peut d’une part considérer le système entier comme une boîte noire et faire une analyse de robustesse globale, ou bien d’autre part on peut faire cette analyse localement au niveau de chaque discipline et propager les incertitudes entre elles [LA08]. Malheureusement, la première approche n’est pas applicable lorsque le pro-

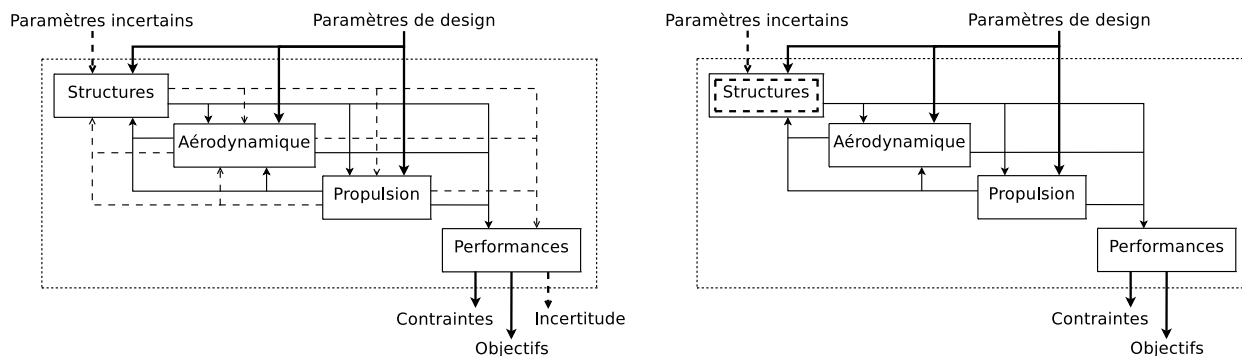


Fig. 1 – Schéma simplifié d'un système multidisciplinaire de conception préliminaire avion, présentant à gauche une propagation des incertitudes entre les disciplines et à droite notre proposition de traitement local de l'incertitude

blème est trop complexe, et la seconde nécessite de réaliser d'importantes modifications dans la modélisation du système afin que les disciplines puissent échanger des informations à propos de l'incertitude de leurs données en plus des données elles-mêmes.

Dans le but de conserver une meilleure compatibilité avec les processus d'optimisation multidisciplinaire existants, nous proposons une autre solution pour le traitement des incertitudes : au lieu de les propager dans tout le système, elles peuvent être incorporées localement dans les modèles des disciplines. Nous supposons ici pour simplifier qu'une seule discipline possède des paramètres incertains (comme présenté sur la figure 1). L'intégration de la robustesse dans le modèle de cette discipline est réalisée en pénalisant sa sortie en fonction de la robustesse des points considérés : on peut par exemple construire un modèle du « pire cas » de la discipline. Le nouveau modèle pénalisé sera un modèle réduit construit à partir d'un certain nombre d'échantillons pour lesquels on aura évalué la robustesse. Ces changements dans le modèle de la discipline vont affecter le système tout entier et conduire vers une solution optimale différente, que l'on espère plus robuste que la solution initiale.

D. APPLICATION EN CONCEPTION PRÉLIMINAIRE AVION

Nous appliquons notre méthode d'optimisation robuste à un cas-test industriel de conception préliminaire avion, dont le but est d'optimiser les caractéristiques principales d'un design d'avion pour une mission donnée. Le poids total et la quantité de fuel consommée doivent être minimisés, tout en respectant diverses contraintes issues de la réglementation. Ce problème d'optimisation multidisciplinaire est composé de quatre disciplines : les structures, l'aérodynamique, la propulsion et les performances. Les incertitudes proviennent de paramètres environnementaux dans les structures.

Une optimisation robuste sera réalisée sur ce cas-test en utilisant différents modèles intégrant la robustesse, construits à partir de différentes mesures de robustesse (plusieurs ordres de quantiles par exemple). Les résultats de notre approche seront comparés dans un premier temps aux résultats de l'optimisation classique pour observer le gain obtenu en robustesse, et dans un second temps à des résultats de référence provenant de l'optimisation robuste du système global pris comme une boîte noire.

RÉFÉRENCES

- [BS07] Hans-Georg Beyer and Bernhard Sendhoff. Robust optimization - a comprehensive survey. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196, July 2007.
- [Jur07] Florian Jurecka. *Robust Design Optimization Based on Metamodeling Techniques*. PhD thesis, March 2007.
- [LA08] M. Li and S. Azarm. Multiobjective collaborative robust optimization with interval uncertainty and interdisciplinary uncertainty propagation. *Journal of Mechanical Design*, 130, 2008.

À PROPOS DU DOCTORANT

Vincent Baudoui est en deuxième année de thèse à l'Onera, en co-encadrement avec l'Institut de Mathématiques de Toulouse. Au sein de l'école doctorale Aéronautique et Astronautique de l'ISAE, sa thèse porte sur les « modèles réduits pour l'optimisation robuste multiobjectifs ». Elle vise à étudier le domaine de l'optimisation robuste et la résolution de ses problèmes en utilisant des modèles réduits. Une première application est développée ici dans le cadre de l'optimisation multidisciplinaire.