



HAL
open science

Optimisation multidisciplinaire

Rajan Filomeno Coelho, Li Li, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir

► **To cite this version:**

Rajan Filomeno Coelho, Li Li, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir. Optimisation multidisciplinaire: Approximation diffuse et élaboration d'un cas test. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01493700

HAL Id: hal-01493700

<https://hal.science/hal-01493700>

Submitted on 22 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Optimisation multidisciplinaire (OMD)

Couplage OMD – Approximation diffuse et élaboration d'un cas test

Rajan Filomeno Coelho, Li Li, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir

*Laboratoire de Mécanique Roberval UMR 6066 UTC – CNRS
Université de Technologie de Compiègne, BP 20259
Compiègne 60206, France
rajan.filomeno-coelho@utc.fr*

RÉSUMÉ. Dans le cadre industriel, les techniques développées en optimisation multidisciplinaire (MDO – Multidisciplinary Design Optimization) permettent, au sein d'une architecture commune, l'intégration des codes de calcul spécifiques aux domaines en question. Pour limiter le coût (en temps et en ressources) de l'optimisation, et bénéficier de l'expertise des équipes spécialisées dans chacune des disciplines, différentes stratégies multi-niveaux sont disponibles dans la littérature. Dans ce contexte, la présente étude a posé les premiers jalons d'une méthodologie multi-niveaux basée sur la méthode BLISS, et utilisant l'approximation diffuse pour construire les méta-modèles qu'elle requiert. En particulier, afin de comparer ces différentes approches MDO, l'exemple académique d'une aile d'avion idéalisée – faisant intervenir des calculs fluide et structure – est introduit pour servir de cas test.

ABSTRACT. In the industrial context, the Multidisciplinary Design Optimization (shortly: MDO) techniques enable (within a common framework) the integration of the computational codes of each discipline. To decrease the cost (in time and resources) of the optimization process, and also to take benefit of the expertise of the engineers in each discipline, different multi-level strategies are available in the literature. In this context, our study has set the first steps of a multi-level methodology based on BLISS, and using the diffuse approximation in order to build meta-models required by the method. In particular, the academic example of an idealized wing (mixing fluid and structure computations) is introduced in order to compare various MDO strategies.

MOTS-CLÉS : optimisation multidisciplinaire, méta-modèles, approximation diffuse, interaction fluide-structure.

KEYWORDS: multidisciplinary design optimization, meta-models, diffuse approximation, fluid-structure interaction.

1. Introduction

Dans le contexte industriel, la conception et le dimensionnement de nouveaux systèmes nécessitent la prise en compte simultanée de différentes disciplines, dans lesquelles les phénomènes physiques sont généralement couplés. En particulier, l'optimisation de problèmes multidisciplinaires (*MDO – Multidisciplinary Design Optimization*) vise à développer des techniques permettant, au sein d'une architecture intégrée, la décomposition judicieuse d'un problème d'optimisation complexe, avec pour corollaire l'utilisation efficace de l'expertise des équipes spécialisées dans chaque discipline.

L'objet final de cette étude réside dans le développement et la validation d'une méthodologie MDO originale, ce qui demande au préalable l'emploi d'un cas test commun. En conséquence, afin de présenter et de comparer plusieurs approches MDO, l'exemple simplifié d'une aile d'avion idéalisée (faisant intervenir 2 disciplines) est introduit à la section suivante.

2. Exemple : analyse multidisciplinaire d'une aile d'avion idéalisée

Le profil d'aile d'avion utilisé est le Wortmann Airfoil FX 60.126. Deux disciplines sont prises en compte : l'écoulement de l'air autour de l'aile (aspect *fluide*) et sa déformation (aspect *structure*). Cet exemple a un degré de généralité suffisant pour permettre d'illustrer et de comparer les différentes stratégies MDO. En effet, bien que les modèles utilisés soient simples dans le cadre de cette étude, des codes plus élaborés peuvent être intégrés à la méthodologie proposée sans modification de l'architecture de l'optimisation.

Pour la partie fluide, l'aile est plongée dans un écoulement caractérisé par une vitesse v (telle que le nombre de Mach reste inférieur à 0,1) et un angle d'incidence α donnés. Par hypothèse, l'écoulement est considéré comme bidimensionnel, stationnaire, incompressible et non visqueux. En définissant une fonction de courant ψ (potentiel) dont dérivent les expressions des composantes x et y de la vitesse, on aboutit à l'équation de Laplace (2D) sur le domaine de calcul S :

$$\Delta\psi(x, y) = 0 \quad \forall (x, y) \in S. \quad [1]$$

Après formulation variationnelle, cette équation peut se résoudre par éléments finis. Cependant, afin de calculer la portance (due aux effets visqueux du fluide), un écoulement dû à la circulation autour de l'aile est superposé à l'écoulement non visqueux, en appliquant la condition de Kutta-Joukowski stipulant que les lignes de courant de l'extrados et de l'intrados doivent être parallèles à l'axe médian au bord de fuite du profil (Lefrançois, 2005). La distribution de pressions obtenue pour l'aile est représentée à la figure 1-a.

La structure, quant à elle, est modélisée à l'aide d'éléments de poutres basés sur la théorie de Reissner-Mindlin à formulation lagrangienne (grands déplacements /

petites déformations / grands déplacements) (Naceur, 1995). 2 points de fixation ont été introduits à l'intérieur de la structure, reliés à celle-ci par des barres. La figure 1-b représente les structures initiale et déformée (pour améliorer la visibilité, les déplacements ont été multipliés par un facteur = 3).

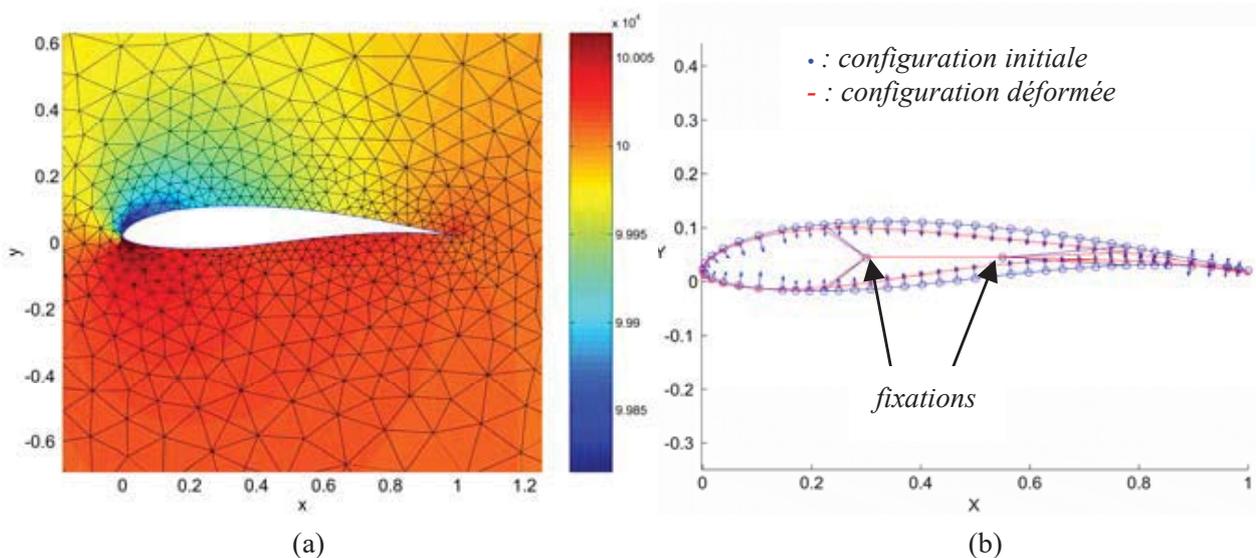


Figure 1. Analyse multidisciplinaire d'une aile d'avion : (a) distribution de pressions (calcul fluide) ; (b) configurations initiale et déformée (calcul structure).

Le concept d'*analyse multidisciplinaire (MDA – Multidisciplinary Design Analysis)* permet d'introduire le phénomène d'interaction de ces 2 disciplines (la distribution de pressions appliquées sur la structure et sa déformée sont interdépendantes). Dans cet exemple, un calcul fluide est initialement mené (avec des déplacements nuls), puis la distribution de pressions résultante est appliquée à la structure ; la déformée calculée est ensuite réinjectée dans le calcul fluide, ce qui fournit une répartition de pressions corrigée, et le processus se poursuit jusqu'à convergence de la solution (cf. *MDA* à la figure 2-a). Dans ce processus (où la convergence n'est pas systématiquement garantie), les échanges d'information entre disciplines sont généralement importants, ce qui a une incidence sur le choix de la stratégie MDO.

3. Stratégies d'optimisation multidisciplinaire (MDO)

Parmi les différentes approches MDO, la technique d'*All-in-One* peut s'appliquer directement à l'analyse multidisciplinaire telle qu'elle a été décrite au §2. Celle-ci est considérée comme une boîte noire sur laquelle un algorithme d'optimisation généraliste peut s'appliquer (cf. figure 2-a). Cette approche est longue et coûteuse dans le contexte industriel, pour les raisons suivantes :

- chaque appel de l'optimiseur à la simulation requiert une analyse multidisciplinaire complète (i.e. plusieurs cycles d'échanges d'informations) ;

- les informations échangées entre disciplines sont nombreuses, et les variables doivent être gérées directement par un optimiseur généraliste ;
- cette approche ne permet pas de bénéficier de l'apport des experts dans un domaine considéré (notamment en ce qui concerne l'optimisation à l'intérieur d'une discipline).

Dans le cas de l'aile d'avion (§2), l'objectif global serait p.ex. de minimiser la masse, en jouant sur tous les paramètres de dimensionnement (géométrie du profil définie par des paramètres de splines [a_i], caractéristiques de l'écoulement [angle d'incidence α et vitesse v] et épaisseurs des éléments poutres h_j).

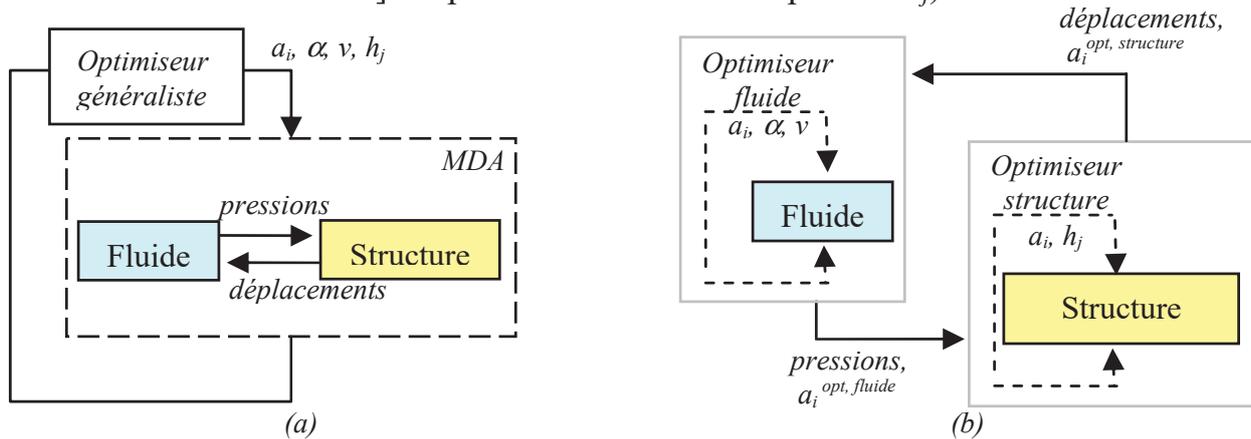


Figure 2. Stratégies MDO : (a) All-in-One ; (b) Optimisation en cascade.

Une deuxième approche, dite *en cascade*, permet d'optimiser chaque discipline indépendamment. Dans cette configuration, l'expertise acquise dans chaque discipline peut être efficacement mise à profit pour l'optimisation, ce qui autorise l'emploi d'un nombre important de variables à l'intérieur de chaque discipline. En outre, chaque discipline est optimisée suivant ses propres critères (p.ex. : en fluide, la portance va être maximisée en jouant sur a_i et (α , v), alors qu'en structure, la masse sera minimisée en variant a_i et h_j). Néanmoins, les échanges d'information restent importants, ainsi que le nombre de cycles nécessaire à la convergence du processus (les paramètres « globaux » [ici : a_i] étant modifiés dans chaque discipline). Il est intéressant de noter qu'une approche multicritère peut être utilisée à profit dans cette approche, vu l'utilisation d'objectifs différents pour chaque discipline.

Pour pallier les limitations des approches précédentes, des stratégies *multi-niveaux* (i.e. se basant sur plusieurs niveaux de modèles) ont été proposées, dont les méthodes CO – *Collaborative Optimization* (Alexandrov, 1999) et BLISS – *Bi-Level Integrated System Synthesis* (Kodiyalam, 1999) font partie.

4. Formulation du problème MDO de l'aile d'avion dans BLISS 2000

Dans l'approche BLISS 2000, l'idée principale consiste à séparer les variables de conception et de dimensionnement en variables locales (éventuellement nombreuses, et agissant spécifiquement sur une discipline), et en variables globales, influençant toutes les disciplines, et de préférence en nombre réduit. De plus, au niveau global, l'optimisation s'effectue suivant un objectif commun F . Le processus est le suivant :

- au niveau local, chaque sous-système est caractérisé par des variables locales X_{loc} , auxquelles se rajoutent les variables globales X_{sh} du système ainsi que les variables de couplage Y (cf. figure 3-a). Celles-ci sont rangées en 2 catégories : Y^* représentent les variables d'entrée issues d'autres disciplines, et Y^\wedge les sorties. Un des apports originaux de BLISS 2000 réside dans le fait que comme la contribution de chaque discipline à la fonction objectif globale F n'est pas explicitement définie, chaque sous-système est optimisé en fonction d'un critère f dépendant de poids w_i , sous les contraintes disciplinaires (p.ex. relatives aux coefficients de portance C_L et de traînée C_D^{app} [approché] pour le fluide et à la contrainte maximale σ^{max} pour la structure) :

$$\min_{X_{loc}} \left(f = \sum_{i=1}^n w_i Y_i^\wedge(Y^*, X_{sh}, X_{loc}) \right) \quad [2]$$

Ces problèmes d'optimisation sont schématisés à la figure 3-b dans le cas de l'aile d'avion. Un plan d'expériences est donc construit en faisant varier les poids w_i (balayant ainsi l'espace de conception), les inputs Y^* et les variables globales X_{sh} . A chaque point d'expérience, le problème [2] est résolu, fournissant $Y^{\wedge opt, exp}$ et $X^{opt, exp}$. Grâce à ces résultats, des surfaces de réponse $Y^{\wedge a}$ et $X^{opt, a}$ sont construites en vue de leur utilisation au niveau global ;

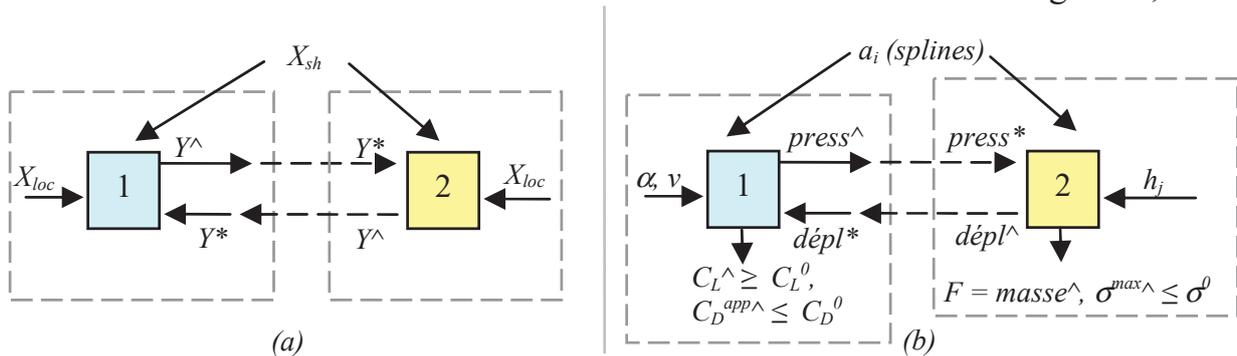


Figure 3. Stratégie BLISS : (a) modèle général à 2 disciplines ; (b) application à l'optimisation MDO de l'aile d'avion.

- au niveau global, l'optimisation est réalisée en jouant sur les variables X_{sh} , Y^* et w_i afin de minimiser l'objectif global F (sous les contraintes globales), la solution devant également respecter une « contrainte de compatibilité » entre les variables de couplage d'entrée et de sortie (i.e. : $[Y^{\wedge a} - Y^*] = 0$).

5. Surfaces de réponse par approximation diffuse

BLISS 2000 faisant intervenir des méta-modèles, plusieurs familles de surfaces de réponse ont été employées dans la littérature, parmi lesquelles les surfaces de réponse polynomiales et le krigeage. A titre d’illustration, la figure 4 reproduit le plan d’expériences du coefficient de portance C_L^{opt} de l’aile dans le plan des poids (w_1, w_2) , obtenu en fixant toutes les variables sauf l’angle d’incidence α , et en minimisant $f = w_1.C_L + w_2.C_D^{app}$ où C_D^{app} est le coefficient de traînée (calculé de manière approchée).

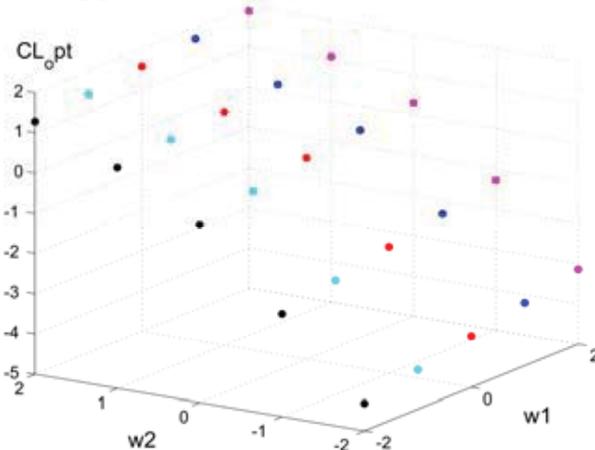


Figure 4. Plan d’expériences de C_L^{opt} en fonction de (w_1, w_2) pour l’aile d’avion.

Un des apports de la méthodologie proposée dans cette étude est d’avoir recours à des méta-modèles (pour Y^a et $X^{opt,a}$) construits par approximation diffuse (Breitkopf, 2002). Dans l’exposé, nous comparerons d’une part la performance de l’approximation diffuse avec celle du krigeage, et d’autre part l’impact de la méthode d’approximation choisie sur les résultats obtenus avec BLISS 2000.

6. Conclusions

Cette étude, centrée sur l’élaboration d’un cas test pour la comparaison de stratégies d’optimisation multidisciplinaire, rentre dans le cadre du projet OMD, rassemblant laboratoires publics et entreprises sur différentes problématiques de l’optimisation, incluant notamment l’utilisation de méta-modèles, les stratégies multi-niveaux et la prise en compte des incertitudes (cf. <http://omd.lri.fr>).

Bibliographie

- N M. Alexandrov, R. M. Lewis, “Comparative properties of collaborative optimization and other approaches to MDO”, *Proceedings of the First ASMO UK/ISSMO Conference on Engineering Design Optimization*, 8–9 juillet 1999.
- P. Breitkopf, C. Knopf-Lenoir, A. Rassinoux, P. Villon, “Efficient Optimization Strategy using Hermite Diffuse Approximation”, Fifth World Congress on Computational Mechanics, 7–12 juillet 2002, Vienne, Autriche.
- S. Kodiyalam, J. Sobieszcanski-Sobieski, “Bi-Level Integrated System Synthesis with Response Surfaces”, AIAA 99-1306-wip, *40th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, 12–15 avril, 1999, St. Louis, USA.

E. Lefrançois, 2005, <http://www.utc.fr/~mecagora/>

H. Naceur, J. L. Batoz, C. Knopf-Lenoir, “Optimisation de forme de poutres en présence de non linéarités géométriques”, *Journée PRIMECA « Conception Optimale »*, Toulouse, 4 juillet 1995.