

DÉMARCHE OUTILLÉE D'OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE

Projet de Recherche Fédérateur de l'ONERA (2004-2007)


Responsable : J. HERMETZ (DPRS / Toulouse)

ONERA

Introduction

- La recherche de la performance (économique et technique) dans le domaine aérospatial s'appuie sur l'emploi de **techniques et technologies** de plus en plus **variées** permises par des **connaissances scientifiques de plus en plus affinées**
- Cette performance globale est le fruit de la **recherche de compromis sur des objectifs souvent antagonistes**

 **L'art de l'ingénieur** ne permet plus de maîtriser cette complexité des systèmes aéronautiques


Des **méthodes et outils de conception et d'optimisation** sont nécessaires pour intégrer efficacement ces disciplines et faciliter la recherche des compromis

Acronyme anglo-saxon « MDO » - Définition NASA :

Multidisciplinary Design Optimisation (MDO) is a methodology for the design of complex engineering systems and subsystems that coherently exploits the synergism of mutually interacting phenomena.

ONERA



Contexte

- Forte demande industrielle pour le développement et l'utilisation de techniques de conception pluridisciplinaire
- Travaux de recherche essentiellement aux USA depuis une **vingtaine d'années** (Kroo, Sobieski, Kodiyalam, Barthelemy...)
- Utilisation par l'industrie US (Boeing, Lockheed-Martin) de techniques et d'outils divers (iSight, ModelCenter, ...)
- Travaux internes AIRBUS autour de la structure d'accueil AVION
- Développement de démarches outillées chez nos partenaires Européens (logiciel PRADO du DLR, orienté aéro-structure)
- ONERA impliqué dans des projets récents (CISAP, MOPAETS) et futurs (VIVACE) mais d'ampleur limitée
- Activité interne ONERA dans le domaine MDO non fédérée, encore peu développée, et plutôt orientée applications (pas d'approche générique)

Enjeux (1/3)

Aspects stratégiques:

- Axes de développement de l'ONERA inscrits au PSO :
 - "*maîtriser la complexité*"
 - "*étudier de nouvelles configurations de véhicules aérospatiaux*"
- Volonté de concrétiser ces activités par des démonstrateurs

► Nécessité de fédérer et renforcer les compétences de l'ONERA dans le domaine de **l'assemblage de composants complexes** (aspect **Conception préliminaire**) et de la **recherche de compromis** (aspect **Optimisation globale**)



Exigence de mise en place d'une **démarche outillée**
d'optimisation multidisciplinaire

ONERA

Enjeux (2/3)

Bénéfices attendus (en interne):

- Favoriser les échanges entre les équipes
- Fédérer les compétences de l'ONERA dans ses divers métiers et ses différents domaines d'applications pour une approche plus efficace des problématiques multidisciplinaires
- S'approprier les méthodologies génériques nécessaires
- Irriguer les axes de recherche de l'ONERA, notamment en développant de nouvelles modélisations ou en proposant de nouvelles expérimentations

Enjeux (3/3)

Bénéfices attendus (en externe):

- **Développer les moyens et compétences pour répondre aux nouveaux besoins des clients ou partenaires de l'ONERA, liés à une approche plus précoce des problèmes transverses**
- **Contribuer à l'étude et la réalisation éventuelle de démonstrateurs et de prototypes**
- **Placer l'ONERA en bonne position sur la scène européenne, dans la perspective de coopérations futures**

Domaines d'application

- **Conception d'avions (civils ou militaires) :**
 - avions de transport conventionnels
 - configurations non conventionnelles : ailes volantes, avion sans empennage, triplans, empennages non conventionnels (V), avions supersoniques
 - intégration motrices originales (propulsion répartie, moteurs intégrés)
 - nouveaux dispositifs (contrôle actif des écoulements)

*Ce domaine est **dual**, et s'applique aux **avions pilotés et non pilotés***

Il inclut dès les premières phases de conception la prise en compte de nouvelles contraintes (nuisances sonores, pollution, systèmes embarqués, maintenance intégrée)

- **Conception de missiles**
 - miniaturisation des équipements
 - compromis aérodynamique/discrétion EM et IR
 - lois de guidage/pilotage et "gouvernes" non conventionnelles
- **Conception de lanceurs futurs**
 - lanceurs récurépables

Antécédents (1/2)

- **Projets liés à la conception des avions et des drones**
 - **MOPAETS** (cadre RRIT Supersonique du MENR - Partenaires : MBDA F, ENSMA, Supaéro - En cours) : optimisation aérodynamique avec utilisation d'algorithmes génétiques dans un environnement distribué
 - **CISAP** (Cadre EREA avec soutien AIRBUS - En cours) : Optimisation bi-disciplines aérodynamique-structure d'une voilure d'appareil supersonique
 - Approche à deux niveaux (étude conceptuelle puis analyse Euler - EF)
 - **PRF HALERTE** (Terminé) : méthodologie outillée de conception système dédiée aux drones HALE - Environnement logiciel novateur, 3 niveaux d'analyse dont un en programmation par contraintes
- **Mise en place d'outils et d'environnements informatiques**
 - Logiciels intégrés de type avant-projet :
 - **Compact** (interne ONERA),
 - **AVION** et **SUPERFLY** (origine AIRBUS)
 - Plate-forme d'intégration, bibliothèques et langages de couplage :
 - ModelCenter, MPCCI, Python,...

Antécédents (2/2)

- **Projets internes à vocation transverse :**
 - PRF "**Méthodes multi-domaines et parallélisme**" (terminé) : amélioration des performances numériques et informatiques de grands codes - réalisation de logiciels utilisant l'assemblage de sous-domaines (adaptés aux calculateurs parallèles)
 - PRF "**Couplage de codes de calcul scientifique**" (en cours) : techniques logicielles et méthodes numériques pour la simulation numérique des phénomènes multiphysiques couplés, par utilisation de plusieurs codes monophysiques
- **Expérience connexe au domaine MDO :**
 - Etude des aspects multiphysiques pour:
 - avions civils (CISAP, projet Aile Volante),
 - hélicoptères (Pales 2005),
 - turbomachines (PRC OPTIM) :

*Aérodynamique, structure, propulsion, mécanique du vol, pilotage
(Départements DAAP, DSNA, DDSS, DCSD, DPRS)*

Objectifs

1- Méthodes

- Disposer d'un **environnement commun** pour la réalisation d'études et de projets multidisciplinaire dans les domaines retenus
 - exigences d'adaptabilité, de souplesse d'emploi, de reconfiguration...
 - bibliothèque de codes réutilisables, "boîte à outils" ...
- Fédérer et développer les compétences dans le domaine des **méthodes de conception préliminaire et d'optimisation globale multidisciplinaires**
- Proposer des démarches formalisées pour une typologie de problèmes
 - méthodes de MDO (CO, CSSO, BLISS...)
 - algorithmes d'optimisation
 - processus multi-niveaux

2- Applications

Valider ces démarches sur des exemples simplifiés mais significatifs

Objectifs: Méthodes (1/4)

Environnements et outils

- **Disponibilité d'outils et de codes de calculs monodisciplinaires**
 - nombreuses disciplines concernées
 - niveaux de modélisation variés

► **Complémentarité naturelle des codes à organiser pour reproduire des processus de conception et d'optimisation**

- identifier les processus à implémenter
- spécifier l'environnement informatique :
 - indépendance codes de calcul/environnement
 - généricité vis à vis des processus
 - multi plates-formes, distribution géographique des codes de calculs,...

Quelques pistes :

- environnements commerciaux : ModelCenter (Phoenix Integration), iSIGHT (Engineous, Inc), MDICE (CFD Research Corp.), VisualDOC (VanderPlaats), PointerPro (Synapse, Inc), modeFRONTIER (ESTECO)...
- logiciels de "couplage" : Python
- Outils du domaine public basés sur des standards de communication (CORBA)...

ONERA

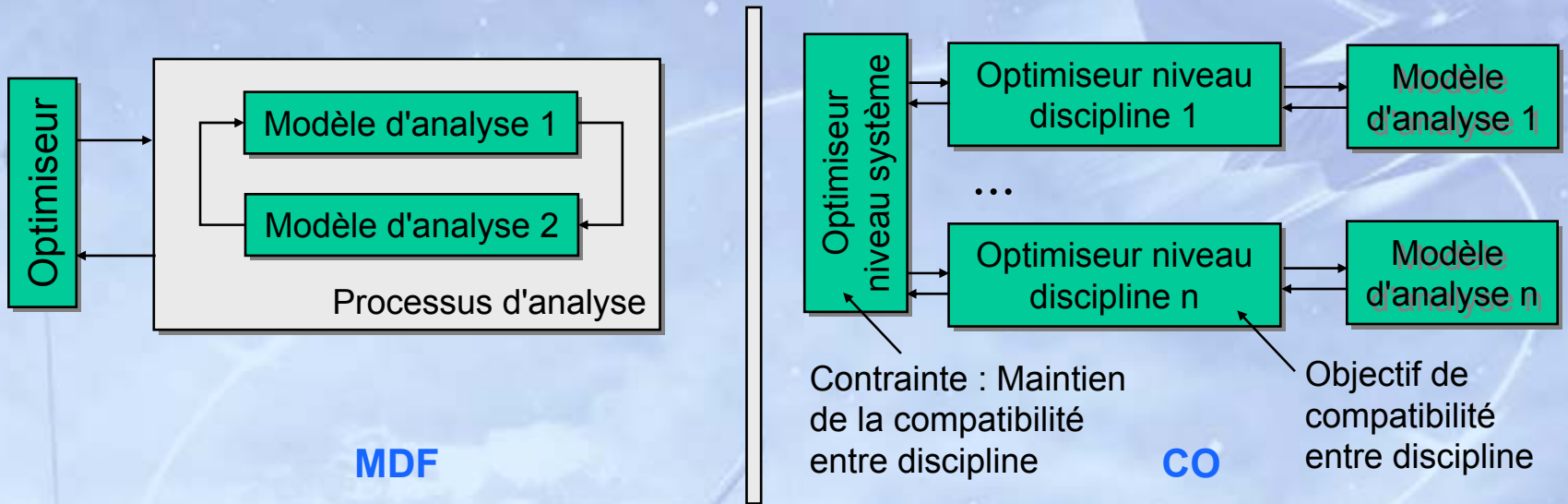
Objectifs : Méthodes (2/4)

Méthodes de MDO - Diverses formulations

- **MDF** (Multidisciplinary Feasible Method) : méthode "classique" considérant un processus d'analyse couplant l'ensemble des disciplines (modèles) - l'ensemble du modèle est sollicité par l'algorithme d'optimisation
- **IDF** (Individual Discipline Feasible) : les disciplines sont traitées individuellement, l'optimiseur assurant le contrôle des variables de couplage interdisciplinaire
- **CO** (Collaborative Optimisation) : formulation à deux niveaux hiérarchiques (niveau système et niveau discipline) avec des optimisations par discipline sur les variables non système et une optimisation globale sur les variables système
- **CSSO** (Concurrent Sub-System Optimisation) : formulation non hiérarchique, optimisation concurrentes par sous-systèmes et coordination pour la recherche de compromis (utilisation des équations de sensibilité globales **GSE**)
- **BLISS** (Bi-level Integrated System Synthesis) : recherche suivant un schéma de type gradient alternant entre une vue système et une vue par discipline

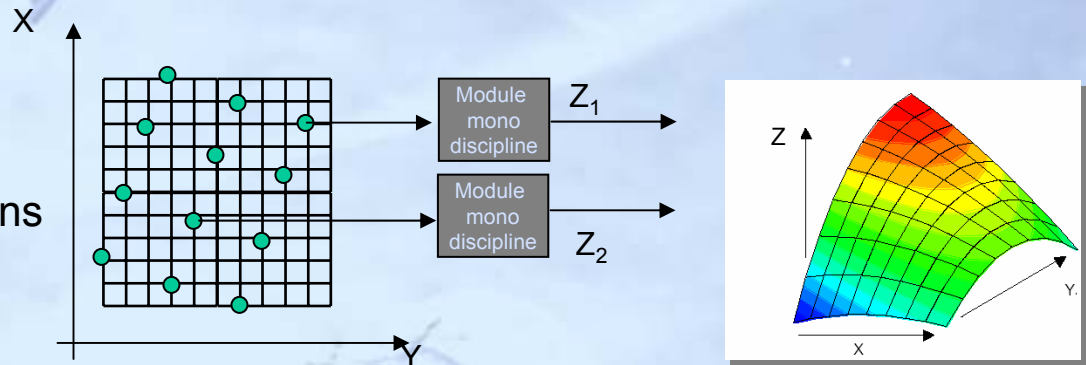
Objectifs : Méthodes (3/4)

Méthodes de MDO - Exemples et variantes



- **Variantes essentiellement liées à l'utilisation d'approximations basées sur**

- les réseaux de neurones
- les surfaces de réponses (RSM) associées aux plans d'expérience (DOE)



- **Approches multiniveaux : utilisation de modèles de modèles...**

ONERA

Objectifs: Méthodes (4/4)

Algorithmes d'optimisation

- **Domaine largement abordé à l'Onera pour l'optimisation mono-disciplinaire (méthodes de gradient ou de Newton) avec ou sans contraintes - modules d'optimisation divers (à recenser et documenter)**
- **Expériences ONERA menées sur les méthodes stochastiques, en particulier les algorithmes évolutionnistes (alg. génétique)**
- **Expérience ONERA dans le domaine des méthodes d'analyse multicritère**
- **Bilan à compléter dans une perspective *adéquation algorithme - problème à résoudre***
- **Explorer *l'hybridation* des algorithmes, pour évaluer les complémentarités potentielles**
- **Techniques d'optimisation *multi-objectifs* (la MDO fait généralement référence à des fonctions composites)**

Objectifs : Applications

Exemples

Valider une démarche et des outils utilisables pour des applications variées, représentatives des activités duales de l'ONERA



Deux cadres d'applications types:

conception avion

- multi-disciplinarité avérée
- nombreux cas d'application (forte demande industrielle)
- naturellement dual
- possibilité d'aborder différents niveaux d'analyse
- **Sujet potentiel : avion de transport STOL**

conception missile

- multidisciplinarité avérée
- possibilité d'aborder différents niveaux d'analyse
- **Sujet potentiel : missiles air-air à encombrement réduit**

ONERA

Organisation générale du projet

- **Lotissement : 4 lots**
 - Lot 1 : Méthodologie
 - Lot 2 : Application avion
 - Lot 3 : Application missile
 - Lot 4 : Gestion de projet
- **Organisation identique des lots 2 et 3 (même nature d'activité)**
- **Ventilation des participations**
 - Lot 1 : DAAP, DCSD, DTIM, DPRS (DDSS, DMAE)
 - Lot 2 : DAAP, DCSD, DSNA, DPRS (DDSS)
 - Lot 3 : DAAP, DEFA, DEMR, DPRS
 - Lot 4 : DPRS

Partenaires identifiés :

Plan de travail du projet

- **Lot 1 : une tâche attachée à chaque item**
 - 1.1 état de l'art
 - 1.2 analyse méthodes de MDO existantes
 - 1.3 algorithmes d'optimisation
 - 1.4 recensement plates formes et environnements logiciels
 - 1.5 implémentation et tests
- **Lots 2 (avion STOL) et 3 (missile à encombrement réduit) :**
 - organisation transversale aux activités identifiées, par discipline scientifique

*Facilite
l'identification des rôles*

 - 2.1 / 3.1 concept et cahier des charges
 - 2.2 / 3.2 modèles et données aérodynamiques
 - 2.3 / 3.3 modèles et données matériaux et structures
 - 2.4 / 3.4 modèles et données performances et mécanique du vol
 - 2.5 / 3.5 modèles et données Acoustique (L2) / signature (L3)
 - 2.6 / 3.6 intégration et exploitation MDO
- **Lot 4 : Gestion de projets et actions de synthèse des lots 1 à 3**

Conclusions

- **Sujet porteur à plusieurs titres**
 - besoin industriel
 - formalisation de la capacité d'analyse transverse de l'ONERA
 - volonté interne partagée de fédération des compétences
 - voie de promotion de sujets de recherche
 - voie de collaboration avec la recherche académique/universitaire et l'industrie
- **Forte ambition initiale du projet**
 - élargir les capacités de l'Onera tout en restant pragmatique et réaliste
 - fixer des objectifs précis, liés à des problèmes concrets, et pouvant être atteints
 - susciter une large motivation des ingénieurs et chercheurs
 - préparer des coopérations futures