View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by HAL-EMSE

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE ANR	**Compte-rendu de fin de projet**	

Projet ANR-05-RNTL-009

OMD : Optimisation MultiDisciplinaire

Programme RNTL 2005

A IDENTIFICATION 2
B RESUME CONSOLIDE PUBLIC 2
B.1 Instructions pour les résumés consolidés publics 2
B.2 Résumé consolidé public en français 3
B.3 Résumé consolidé public en anglais 6
C MEMOIRE SCIENTIFIQUE 8
C.1 Résumé du mémoire 9
C.2 Enjeux et problématique, état de l'art 10
C.3 Approche scientifique et technique 10
C.4 Résultats obtenus 11
C.5 Exploitation des résultats 13
C.6 Discussion 14
C.7 Conclusions 14
C.8 Références 14
D LISTE DES LIVRABLES 15
E IMPACT DU PROJET 18
E.1 Indicateurs d'impact 18
E.2 Liste des publications et communications 19
E.3 Liste des éléments de valorisation 26
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires) 28

Ce document est à remplir par le coordinateur en collaboration avec les partenaires du projet. L'ensemble des partenaires doit avoir une copie de la version transmise à l'ANR.

Ce modèle doit être utilisé uniquement pour le compte-rendu de fin de projet.

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	OMD
Titre du projet	Optimisation MultiDisciplinaire
Coordinateur du projet (société/organisme)	Rodolphe Le Riche (CNRS et Ecole des Mines de Saint-Etienne)
Période du projet (date de début – date de fin)	Juin 2006 – Novembre 2009
Site web du projet, le cas échéant	http://omd.lri.fr

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr. Rodolphe Le Riche
Téléphone	
Adresse électronique	
Date de rédaction	24 Janvier 2010

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Renault (Maryan Sidorkiewicz), Sirehna (Jean-Jacques Maisonneuve), Dassault Av (Michel Ravachol), ASTRIUM ST (Nathalie Delattre), ONERA (Jean Hermetz), INRIA futur (Marc Schoenauer), Sophia (Jean-Antoine Désidéri) et Rocquencourt (Vincent Couvert), UTC (Piotr Breitkopf), ENSM-SE (Rodolphe Le Riche), INSA Rouen (Eduardo Souza), ECP (Florian DeVuyst), Univ. P. Sabatier (Mohamed Masmoudi), ENS Cachan (Pierre-Alain Boucard).

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

Ce résumé est destiné à être diffusé auprès d'un large public pour promouvoir les résultats du projet, il ne fera donc pas mention de résultats confidentiels et utilisera un vocabulaire adapté mais n'excluant pas les termes techniques. Il en sera fourni une version française et une version en anglais. Il est nécessaire de respecter les instructions ci-dessous.

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RESUMES CONSOLIDES PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet *(environ 80 caractères espaces compris)*
Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.

Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique *(150 caractères max espaces compris)*
Paragraphe 1 : *(environ 1200 caractères espaces compris)*
Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées *(150 caractères max espaces compris)*
Paragraphe 2 : *(environ 1200 caractères espaces compris)*
Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet *(environ 600 caractères espaces compris)*
Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ.
Préciser aussi toute autre retombée= partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet *(environ 500 caractères espaces compris)*
Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration
Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Informations factuelles
Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

Suivre impérativement les instructions ci-dessus.

(Titre d'accroche) Optimiser les systèmes complexes

(Titre 1) Comment optimiser en utilisant des simulateurs numériques fins tout en prenant en compte les incertitudes

Les importants efforts de développement réalisés depuis 40 ans ont fait progresser les logiciels de simulation et, indépendamment, les méthodes d'optimisation. Pourtant, la conception optimale de systèmes complexes (avions, fusées, voitures, …) se heurte à *i)* un volume de calculs trop élevé, *ii)* la non-prise en compte des erreurs de modèles dans

l'optimisation, *iii)* et la dispersion des compétences et outils de simulation qui peinent à interagir lors de l'optimisation.

Le projet Optimisation MultiDisplinaire (OMD) vise à rapprocher les méthodes numériques d'optimisation du monde réel des ingénieurs en répondant à ces trois points. L'idée fondamentale d'OMD est de faire interagir des modèles représentant chaque aspect ou sous-système, de représentativités physiques et de coûts numériques variés, dans une démarche nouvelle d'optimisation à plusieurs niveaux.
Le projet réunit une communauté de chercheurs en mathématiques appliquées, aérodynamique, mécanique des structures, et méthodes numériques autour de trois cas tests industriels: les conceptions avant-projet d'un avion d'affaire supersonique et d'un lanceur de satellite, et l'optimisation de soupapes de moteurs diesel.

(Titre 2) Intégrer le calcul d'incertitudes et la gestion de la pluridisciplinarité dans le processus d'optimisation

Le projet OMD a répondu aux trois verrous de l'optimisation de systèmes complexes par les axes méthodologiques suivants.
Coût de calcul 1 : les simulateurs physiques les plus fins sont parfois remplacés pendant l'optimisation par des simulateurs à base de physiques simplifiées (en mécanique des fluides et des structures) ou par des méta-modèles (appris à partir de résultats de simulations physiques ou d'expériences).
Coût de calcul 2 : le problème d'optimisation est simplifié par des réductions temporaires et ciblées du nombre de variables au moyen d'approches multi-niveaux.
Prise en compte des incertitudes : l'optimisation et l'estimation des incertitudes sont réalisées simultanément, ce qui permet des économies de calculs. La différentiation automatique est utilisée.
La multiplicité de disciplines : les techniques d'optimisation collaborative permettent de découpler les différentes disciplines au cours de l'optimisation, ce qui simplifie beaucoup le problème, tout en garantissant la prise en compte de ces couplages à convergence.
L'utilisation de méta-modèles et du langage de programmation Scilab ont été transverse aux les développements du projet.

Résultats majeurs du projet

De nombreuses contributions méthodologiques ont résulté du projet OMD.
Métamodélisation de réponses physiques (champs): méthodes PU-POD (Partition of Unity Proper Orthogonal Decomposition) et Constrained POD.
Développement de la méthode d'**optimisation généraliste** CMA-ES avec méta-modèle.
Optimisation multi-niveaux : méthode multi-échelle/multi-résolution en mécanique des structures, paramétrisation de Bezier à plusieurs niveaux, décomposition optimale des variables avec plusieurs disciplines.
Optimisation et incertitudes : bruit et optimisation évolutionnaire, minimisation de quantiles, Optimal Safety Factor, utilisation de la différentiation automatique.
Optimisation collaborative : méthode DIVE (Disciplinary Interaction Variable Elimination).

Signalons de plus une **toolbox Scilab** avec une programmation orientée objet des optimiseurs.

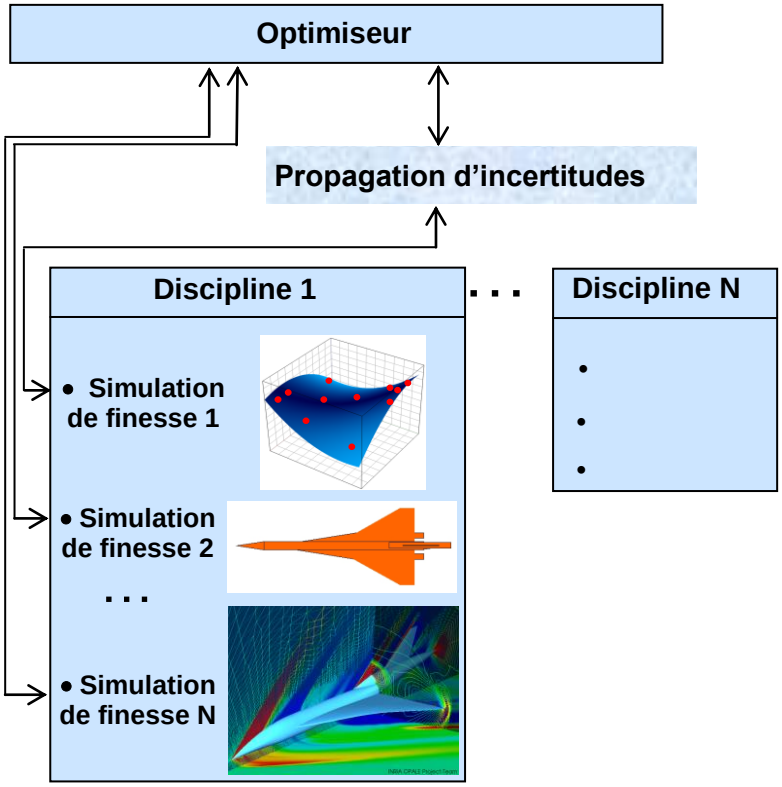
Production scientifique et brevets depuis le début du projet

2 livres : « Optimisation MultiDisciplinaire en Mécanique » paru chez Hermès en 2009 et « Multidisciplinary Design Optimization in Computational Mechanics » à paraître chez Wiley en 2010.

12 articles de revues internationales, 20 articles de conférences internationales, 16 articles dans des conférences nationales.

Organisation d'un mini-symposium OMD au congrès Français de calcul des Structures de Giens en Mai 2009.

Illustration



Informations factuelles

Le projet OMD est un projet exploratoire RNTL/2005, qui a commencé en Juin 2006 et s'est achevé en Novembre 2009. Il implique 14 partenaires : Astrium ST, Dassault Aviation, Ecole Centrale de Paris, ENS Cachan, Ecole des Mines de Saint-Etienne, INRIA futurs, INRIA Rocquencourt, INSA de Rouen, ONERA, Renault, Scilab, Sirehna, Univ. Paul Sabatier de Toulouse, Univ. de Technologie de Compiègne. L'aide ANR est de 1,2 Meuros pour un budget total de 3 Meuros.

B.3 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

Suivre impérativement les instructions ci-dessus.

(Hook title) Complex Systems Optimization

(Title 1) How to optimize systems using the most sophisticated simulators while accounting for uncertainties

Forty years of constant research efforts in the field of computational sciences have raised the standards of physics based simulators (e.g., finite elements softwares) and, independently, optimization methods. However, designing complex systems such as airplanes, cars, or space rockets, remains a challenge because of *i)* excessive computational cost, *ii)* system and model uncertainties which are insufficiently accounted for, *iii)* the difficulty in making disciplinary experts and tools cooperate.

The OMD project (for Optimisation MultiDisciplinaire, i.e., Multi-Disciplinary Optimization) aims at filling the gap between the worlds of numerical optimization and engineering simulation by providing responses to the above three bottlenecks. The fundamental idea behind OMD is to create interactions between the various sub-models levels, each of which is a different compromise between accuracy and computational cost, to enable a global design process. The project gathers researchers and engineers in applied mathematics, aerodynamics, structural mechanics, and computer sciences around three industrial test cases : the predesign of a supersonic business jet, the predesign of a satellite space launcher and the optimization of an engine air intake.

(Title 2) How to account for uncertainties and disciplinary couplings in the optimization process

The OMD project has approached the three obstacles to the optimization of a complex system by the following research initiatives.
Computational cost 1: the highest accuracy (or fidelity) physical simulators are periodically replaced during the optimization process by lower fidelity models, based on simplified physics, or by meta-models, learned from physical simulation results or measurements.
Computational cost 2: the complete optimization problem is simplified by temporary and targeted reductions in the number of active variables (multi-levels of variables).
Uncertainties handling : the optimization and the uncertainty estimation are made simultaneously, which allows computional savings. Automatic program differentiation is used.
Disciplinary couplings : collaborative optimization strategies allow to partially decouple disciplines during the optimization process, which eases the search, while guaranteeing that the physics is satisfied (i.e., physical couplings between disciplines) at the optimization solution.
All the research sub-projects have used meta-models and prototyped their solutions in the Scilab language.

Project main results

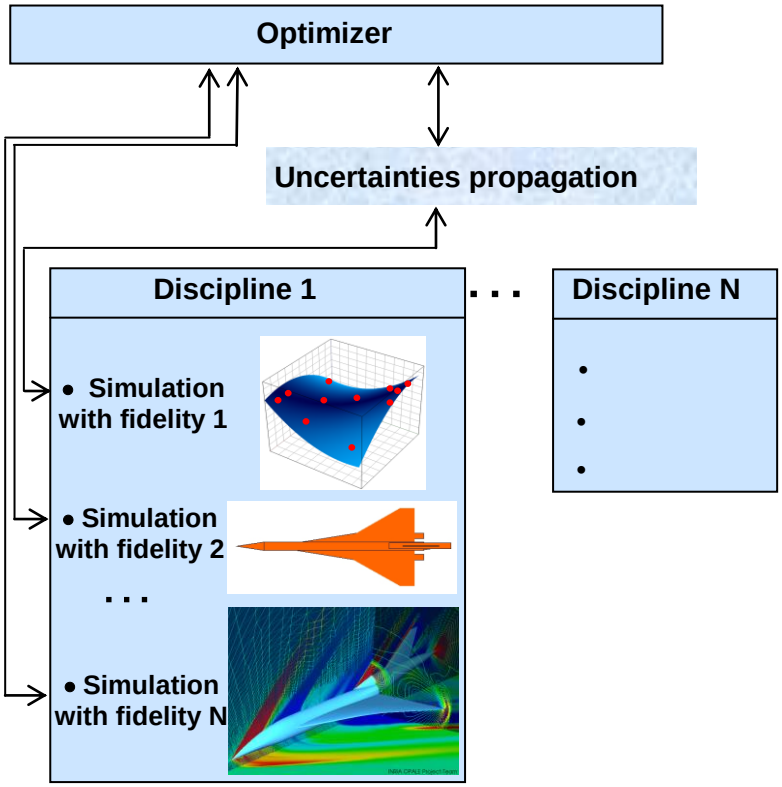
Many numerical methods have resulted from the OMD project.
Meta-models for physical field responses: Partition of Unity Proper Orthogonal Decomposition method (PU-POD) and Constrained POD.
Development of the general purpose global optimization method CMA-ES with meta-model.
Multi-level optimization : multi-scale/multi-resolution method in structural mechanics, Bezier multi-level shape parameterization, dimension reduction optimization method, optimal variable partition in bi-disciplinary problems.
Optimization with uncertainties : noisy evolutionary optimization, percentile minimization, Optimal Safety Factor, use of automatic program differentiation.
Collaborative Optimization : Disciplinary Interaction Variable Elimination (DIVE) method.

In addition, a **Scilab toolbox** whose originality is to include object oriented optimizers has been written.

Project scientific production

2 books : « Optimisation MultiDisciplinaire en Mécanique » (in French) published by Hermès in 2009 and « Multidisciplinary Design Optimization in Computational Mechanics » to be published by Wiley in 2010.
12 articles published in international journals, 20 international conference articles, and 16 French conference articles.
Organization of the OMD mini-symposium at the French symposium on structural mechanics, Giens, May 2009.

Illustration



Factual informations

The OMD project is an exploratory research project supported by the French National Research Agency (ANR / RNTL / 2005). It has started in June 2006 and finished in November 2009. 14 companies, universities and research institutes take part to OMD: Astrium ST, Dassault Aviation, Ecole Centrale de Paris, ENS Cachan, Ecole des Mines de Saint-Etienne, INRIA futurs, INRIA Rocquencourt, INSA de Rouen, ONERA, Renault, Scilab, Sirehna, Univ. Paul Sabatier de Toulouse, Univ. de Technologie de Compiègne. The project receives 1.2 Meuros as funding from the ANR for a total budget of 3 Meuros.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Maximum 5 pages. On donne ci-dessous des indications sur le contenu possible du mémoire. Ce mémoire peut être accompagné de rapports annexes plus détaillés.

Le mémoire scientifique couvre la totalité de la durée du projet. Il doit présenter une synthèse auto-suffisante rappelant les objectifs, le travail réalisé et les résultats obtenus mis en perspective avec les attentes initiales et l'état de l'art. C'est un document d'un format semblable à celui des articles scientifiques ou des monographies. Il doit refléter le caractère collectif de l'effort fait par les partenaires au cours du projet. Le coordinateur prépare ce rapport sur la base des contributions de tous les partenaires. Une version préliminaire en est soumise à l'ANR pour la revue de fin de projet.

Un mémoire scientifique signalé comme confidentiel ne sera pas diffusé. Justifier brièvement la raison de la confidentialité demandée. Les mémoires non confidentiels seront susceptibles d'être diffusés par l'ANR, notamment via les archives ouvertes http://hal.archives-ouvertes.fr.

Mémoire scientifique confidentiel : ~~oui~~ / non

C.1 RESUME DU MEMOIRE

Ce résumé peut être repris du résumé consolidé public.

Les importants efforts de développement réalisés depuis 40 ans ont fait progresser les logiciels de simulation et, indépendamment, les méthodes d'optimisation. Pourtant, la conception optimale de systèmes complexes (avions, fusées, voitures, …) se heurte à *i)* un volume de calculs trop élevé, *ii)* la non-prise en compte des erreurs de modèles dans l'optimisation, *iii)* et la dispersion des compétences et outils de simulation qui peinent à interagir lors de l'optimisation.

Le projet Optimisation MultiDisplinaire (OMD) vise à rapprocher les méthodes numériques d'optimisation du monde réel des ingénieurs en répondant à ces trois points. L'idée fondamentale d'OMD est de faire interagir des modèles représentant chaque aspect ou sous-système, de représentativités physiques et de coûts numériques variés, dans une démarche nouvelle d'optimisation à plusieurs niveaux.
Le projet réunit une communauté de chercheurs en mathématiques appliquées, aérodynamique, mécanique des structures, et méthodes numériques autour de trois cas tests industriels: les conceptions avant-projet d'un avion d'affaire supersonique et d'un lanceur de satellite, et l'optimisation de soupapes de moteurs diesel.

Le projet OMD a répondu aux trois verrous de l'optimisation de systèmes complexes par les axes méthodologiques suivants.
Coût de calcul 1 : les simulateurs physiques les plus fins sont parfois remplacés pendant l'optimisation par des simulateurs à base de physiques simplifiées (en mécanique des fluides et des structures) ou par des méta-modèles (appris à partir de résultats de simulations physiques ou d'expériences).
Coût de calcul 2 : le problème d'optimisation est simplifié par des réductions temporaires et ciblées du nombre de variables au moyen d'approches multi-niveaux.
Prise en compte des incertitudes : l'optimisation et l'estimation des incertitudes sont réalisées simultanément, ce qui permet des économies de calculs. La différentiation automatique est utilisée.
La multiplicité de disciplines : les techniques d'optimisation collaborative permettent de découpler les différentes disciplines au cours de l'optimisation, ce qui simplifie beaucoup le problème, tout en garantissant la prise en compte de ces couplages à convergence.
L'utilisation de méta-modèles et du langage de programmation Scilab ont été transverse aux les développements du projet.

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Présenter les enjeux initiaux du projet, la problématique formulée par le projet, et l'état de l'art sur lequel il s'appuie. Présenter leurs éventuelles évolutions pendant la durée du projet (les apports propres au projet sont présentés en C.4).

Les développements réalisés depuis plus de dix années dans les domaines de l'optimisation et de la simulation numérique tendent à séparer ces deux domaines. D'une part, en optimisation mathématique, nombre de travaux récents concernent la recherche d'optima globaux [Eiben and Smith, 2003] et l'optimisation de fonctions bruitées [Spall, 2003 ; Eldred et al., 2008], deux directions de recherche qui impliquent un plus grand nombre d'appels aux fonctions optimisées. D'autre part, la simulation numérique continue à prendre en compte des plus en plus de phénomènes physiques comme par exemple les approches multi-échelles en mécanique du solide, ou les simulations de Navier-Stokes en aérodynamique. De plus, la simulation tend à décrire les différentes étapes de la vie d'un système (e.g., analyse couplée de la fabrication et de la tenue d'une structure) avec les couplages physiques qui lient ces étapes. Ainsi, et malgré les progrès de l'informatique, le coût en calcul d'une simulation fine et complète croît. Puisque, en pratique, la fonction optimisée découle d'un appel au simulateur, il devient de plus en plus difficile d'optimiser en utilisant les meilleurs simulateurs numériques pour des raisons de coût numérique.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Partant de ce constat, le projet OMD a comme objectif général de rapprocher les méthodes numériques de propagation d'incertitudes et d'optimisation de la simulation numérique. Pour ce faire, des approches de l'optimisation spécifiques aux systèmes complexes ont été développées. Les directions suivantes ont été investiguées :

- Le simulateur fin a été remplacé par des simulateurs simplifiés pour guider le processus d'optimisation à moindre coût numérique [Jones, 2001]. Nous avons donc contribué à l'élaboration de plusieurs ***niveaux de modèles***. Certains de ces modèles, appelés ***métamodèles généralistes***, sont construits à partir d'un ensemble d'entrées et sorties scalaires ou vectoriels [Samuelides, OMD-WILEY 2010 ; Chandrashekarappa and Duvigneau, ECCOMAS 2008]. D'autres métamodèles, spécifiques aux champs, sont adaptés aux équations aux dérivées partielles sous-jacentes. Ce sont des ***métamodèles spécialisés***, en mécanique du solide [Boucard et al., IJNME 2008] et en mécanique des fluides [Keane and Nair, 2005 ; Audouze et al., IJNME 2008 ; Filomeno Coelho et al., OMD-WILEY 2010] dans notre cas. Plusieurs utilisations du métamodèle dans l'optimisation ont été explorés dans le projet OMD : utilisation en continue pour pré-évaluer les solutions [Collange et al., OMD-WILEY 2010], utilisation pour définir le point initial de l'optimisation avec simulateur fin [Boucard et al., OMD-WILEY 2010], utilisation en tant qu'interface dans les problèmes multidisciplines [Filomeno Coelho et al., SMO 2008 ; Parte et al., OMD-WILEY 2010], utilisation pour réaliser des propagations d'incertitudes par méthode de Monte Carlo [Pujol et al., OMD-HERMES 2009].
- Le problème d'optimisation peut être simplifié en réduisant la taille de l'espace des possibles, i.e., en diminuant le nombre de variables d'optimisation. Nous avons exploité la possibilité d'avoir de ***multiples niveaux de variables*** dans le cadre de

l'optimisation de forme [Désidéri et al., OMD-HERMES 2009]. Nous avons aussi proposé une stratégie de partition des variables pour l'optimisation multicritères [Désidéri, OMD-WILEY 2010].

- Lorsque la simulation est constituée de plusieurs disciplines couplées entre elles, il existe une taxonomie de variables couplées par la physique et par l'optimisation [Green et al., 2006]. L'arbre des relations entre variables et simulateurs physiques peut être exploité pour simplifier le problème d'optimisation. En particulier, la résolution des couplages physiques permet de supprimer certaines variables d'optimisation [Parte et al., OMD-WILEY 2010].
- La prise en compte des incertitudes au sein même du problème d'optimisation est importante pour obtenir des solutions robustes ou fiables vis-à-vis des aléas qui entachent la modélisation. C'est cependant un problème difficile car il cumule les difficultés de l'optimisation et de la propagation d'incertitudes. Plusieurs pistes ont été poursuivies pendant le projet OMD pour optimiser en présence d'incertitudes : l'utilisation de facteurs de sécurité optimaux [Kharmanda et al., IJSMDO 2008], l'utilisation de la dérivation automatique de code [Duvigneau et al., OMD-WILEY 2010] et le contrôle des budgets de simulations de Monte Carlo pour l'optimisation de quantiles [Salazar et al., OMD-WILEY 2010 ; Ravachol et al., ICAS 2008].

Sur un plan technique, la plupart des développements liés au projet ont été réalisés au sein de la plateforme de calcul scientifique Scilab : Scilab ressemble en effet beaucoup à Matlab, le logiciel plus grand commun dénominateur parmi les partenaires du projet, mais il a l'avantage d'être libre.

Les méthodes développées ont été testées sur trois problèmes industriels : la conception avant-projet d'un avion d'affaire supersonique (proposé par Dassault Aviation), la conception avant-projet d'un lanceur de satellites (proposé par Astrium Space Transportation) et l'optimisation d'un conduit d'admission d'air dans une soupape moteur (proposé par Renault).

C.4 RESULTATS OBTENUS

Positionner les résultats par rapports aux livrables du projet et aux publications, brevets etc. Revisiter l'état de l'art et les enjeux à la fin du projet.

Les résultats du projet OMD sont avant tout méthodologiques. Nous résumons maintenant les avancées réalisées en métamodélisation, en propagation d'incertitudes et en optimisation.

- **Métamodèles spécialisés pour la mécanique des fluides**. Deux méthodes ont été développées. Toutes deux sont des améliorations des méthodes dites POD (Proper Orthogonal Decomposition, [Keane and Nair, 2005]) qui, à partir de jeux de champs obtenus par des simulations fines ou des mesures réelles, sélectionne les sous-espaces les plus importants par des techniques du type analyse en composantes principales. La première méthode est appelée PU-ROM pour Partition of Unity Reduced Order Model [De Vuyst, OMD-WILEY 2010]. Elle réutilise les équations aux dérivées partielles de l'écoulement et gère une famille de métamodèles, chacun occupant une partition de l'espace des variables de conception. La seconde méthode développée s'appelle CPOD pour Constrained Proper Orthogonal Decomposition. Elle permet de prendre en compte des contraintes linéaires sur le champ lors de la construction du

métamodèle. Par exemple, on peut imposer une contrainte sur le débit lors de la métamodélisation d'un champ de vitesse.

- **Utilisation de modèles à plusieurs niveaux en mécanique du solide**. En mécanique du solide, l'approche de simulation non linéaire LATIN [Ladevèze 1999] permet de raccourcir fortement le temps de calcul lorsque la simulation est initialisée avec des solutions physiquement proches de la solution convergée. Cette spécificité de la simulation par méthode LATIN a été utilisée pour accélérer la convergence d'optimiseurs. La méthode procède par *1)* la réalisation d'un plan d'expérience bénéficiant de l'accélération par une construction de proche en proche, *2)* une métamodèlisation généraliste, *3)* l'optimisation du métamodèle dont le point de convergence sert de point initial à *4)* une optimisation sur modèle LATIN.
- **Utilisation de métamodèles généralistes en optimisation.** Nous venons de voir qu'un métamodèle peut remplacer le simulateur fin lors d'une optimisation préliminaire dont le ou les solutions servent à initialiser l'optimisation finale sur simulateur fin. Une seconde approche a émergée dans le projet OMD : pour les optimiseurs fonctionnant avec des populations (algorithmes évolutionnaires [Collange et al., OMD-WILEY 2010] et essaims de particules [Chandrashekarappa and Duvigneau, ECCOMAS 2008]), le métamodèle est appelé et construit en continu dans l'optimisation pour effectuer une première pré-sélection (i.e., une pré-analyse) des points. Ceci permet de ne pas perdre de temps à calculer des points dont le métamodèle prédit la mauvaise performance.
- **Optimisation multiniveaux de variables.** Dans l'optimisation d'un seul critère, une technique a été proposée qui accroit, par cycles, le nombre de variables optimisées [Désidéri et al., OMD-HERMES 2009]. Les variables introduites sont les combinaisons linéaires des variables initiales données par les vecteurs propres du Hessien de la fonction coût. Partant du constat que les directions (vecteurs propres) associées aux valeurs propres les plus faibles sont les directions les plus longues à optimiser, les vecteurs propres sont introduits dans l'ordre des valeurs propres croissantes en valeur absolue. Dans le cas d'un problème d'optimisation à deux critères, une technique de partage des variables, elles aussi basée sur les vecteurs propres du Hessien du critère dominant, a été développée dans le projet [Désidéri, OMD-WILEY 2010]. L'idée est de pouvoir minimiser les deux critères sur des jeux de variables aussi indépendantes que possible.
- **Optimisation en présence d'incertitudes**. Cinq types de contributions, complémentaires, ont été apportées au problème de l'optimisation de fonctions dans lesquelles interviennent des aléas (cf. [Pujol et al., OMD-HERMES 2009] pour une formulation du problème). 1) Dans [Martinelli and Duvigneau, AIAA 2008], la dérivation automatique de code a permis d'estimer les moyennes et variances d'un critère d'optimisation très couteux en calcul, une traînée aérodynamique. 2) Dans [Kharmanda et al., OMD-HERMES 2009], les conditions d'optimalité du problème d'optimisation ont permis de définir des facteurs de sécurité optimaux. 3) Les algorithmes évolutionnaires sont robustes au bruit d'évaluation des fonctions coûts. Ils sont donc des candidats privilégiés pour l'optimisation de fonctions avec incertitudes. Dans [Jebalia and Auger, PPSN 2008], le comportement d'un algorithme évolutionnaire appliqué à une fonction dont le bruit est multiplicatif a été analysé, notamment ses cas de divergence. 4) Dans [Salazar et al., OMD-WILEY 2010], le contrôle du budget de simulations de Monte Carlo et son interaction avec les autres

paramètres d'un algorithme évolutionnaire est étudié. 5) Dans [Ravachol et al., ICAS 2008], on décrit une méthode d'optimisation déterministe pour prendre en compte des contraintes sur quantiles estimés par des simulations de Monte Carlo. Cette méthode modifie itérativement les contraintes déterministes sur lesquelles opère l'optimiseur à base de gradient. Elle a été évaluée sur le cas test SSBJ.

- Optimisation multidisciplinaire. La méthode d'optimisation multidisciplinaire DIVE, pour Discipline Interaction Variable Elimination, a été élaborée pendant le projet OMD. Cette méthode s'adresse au cas où plusieurs disciplines, dont certaines sont couplées physiquement, composent la simulation numérique du problème d'optimisation. Les spécificités de DIVE sont 1) que certaines variables d'optimisation sont éliminées (ou résolues) avec les couplages physiques et 2) que les disciplines interagissent entre elles à travers des métamodèles pour lesquels des régions de confiances sont mises à jour.

Par ailleurs, les développements logiciels du projet ont fait émerger un mode de programmation orientée objet des optimiseurs dans Scilab, la méthode ask&tell. Ce mode de programmation fait sortir l'appel au simulateur des fonctions d'optimisation et de propagation d'incertitudes. Il devient alors plus facile de mélanger simulateurs (par exemple dans le cadre d'une approche multiniveaux de modèles) et optimiseurs (par exemple pour mélanger optimiseurs locaux et globaux).

Enfin, les trois cas tests industriels ont été traités. La conception de lanceurs de satellite inclut des variables de lois de contrôle ce qui réduit considérablement la taille de l'espace des solutions faisables car nombre de fusées prises au hasard ne voleraient pas. La méthode CMA-ES augmentée d'une technique de prise en compte des contraintes a fourni les meilleures solutions actuellement connues à ce problème. Le problème de l'avion d'affaire supersonique a été traité dans sa formulation multidisciplinaire avant-projet par la méthode DIVE. La forme des ailes de cet avion a été optimisée par nos approches multiniveaux de variables et de modèles. L'écoulement d'air dans un conduit d'admission de forme variable a été métamodélisé par les approches de champs CPOD et PU-ROM. La forme de ce conduit a été optimisée en comparant deux chaînes de calculs complètes, l'une avec remaillage, l'autre avec morphing (travaux des sociétés Sirehna et Renault).

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

Outre l'exploitation faite en interne chez les industriels du projet (Astrium ST, Dassault Av. et Renault), les travaux du projet OMD ont donné lieux à

- Un livre en deux volumes publié en 2008 chez Hermès (« Optimisation MultiDisciplinaire en Mécanique », en Français),
- un livre à paraître chez Wiley en 2010 (« Multidisciplinary Design Optimization in Computational Mechanics »),
- 12 articles de revues internationales, 20 articles de conférences internationales, 16 articles dans des conférences nationales,
- l'organisation d'un mini-symposium OMD au congrès Français de calcul des Structures de Giens en Mai 2009,

- l'organisation par P. Breitkopf, C. Vayssade (Laboratoire Roberval UTC) et P.-A. Boucard (LMT Cachan) d'une journée CSMA (Computational Structural Mechanics Association) : "Nouvelles tendances en optimisation de structures dans un contexte multidisciplinaire", Mars 2007, Compiègne.

C.6 DISCUSSION

Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.

Les objectifs initiaux du projet exploratoire OMD ont été réalisés. Ils ont clairement montré comment il est possible d'aborder des problèmes d'optimisation réels, pour lesquels les simulations numériques complètes sont numériquement coûteuses et sont empreintes d'incertitudes. Le projet, prolixe en nouvelles méthodologies (par exemple pour la métamodélisation, la propagation d'incertitudes), aurait certainement dû consacrer plus de ressources à la comparaison de ces diverses contributions entre elles.
Les continuations d'OMD sont doubles. D'une part, les techniques développées méritent d'être portées ou réécrites, puis mises en œuvre pour des infrastructures de calcul distribué. D'autre part, il est nécessaire de poursuivre les efforts pour aller vers l'optimisation de simulateurs lourds (e.g., modèles éléments finis avec plusieurs millions de degrés de liberté). Ces deux continuations sont l'essence du projet ANR / OMD2 en cours.

C.7 CONCLUSIONS

L'optimisation, la propagation d'incertitudes, et le couplage entre ces deux pratiques sont des enjeux actuels pour réellement exploiter les modèles numériques que possèdent désormais la plupart des acteurs de la recherche-développement. Le projet OMD a contribué au rapprochement de la simulation numérique et de l'optimisation robuste en tirant partie des différents niveaux de la simulation. Ces différents niveaux sont de natures différentes : précision physique des modèles, métamodélisation, nombre de paramètres, précision des propagations d'incertitudes. Mais tous ont en commun de permettre de choisir des compromis différents entre précision de la simulation et coût de calcul, compromis qui lèvent le point bloquant du temps de calcul.
En ce qui concerne le paysage scientifique français, le projet OMD a contribué à l'émergence d'une communauté « optimisation en sciences pour l'ingénieur », communauté qui est à l'intersection entre les domaines de la mécanique des solides et des fluides, de l'informatique et des mathématiques appliquées.

C.8 REFERENCES

[Cf. Part E2 for the bibliography of the project's partners]

- A. E. Eiben and J. E. Smith, *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer Verlag, 2003.

- Eldred, M.S., Bichon, B.J., Adams, B.M., and Mahadevan, S., *Overview of Reliability Analysis and Design Capabilities in DAKOTA with Application to Shape Optimization of MEMS*, *Structural Design Optimization Considering Uncertainties*, Tsompanakis, Lagaros, and Papadrakakis, eds., Structures and Infrastructures series, Vol. 1, Taylor & Francis Group, 2008, pp. 401-432.
- L. L. Green, N. M. Alexandrov, S. A. Brown, J. A. Cerro, C. R. Gumbert, M. R. Sorokach and C. M. Burg, *Decision Support Methods and Tools*, 11th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 6 - 8 September 2006, Portsmouth, Virginia, paper no. AIAA-2006-7028.
- D. R. Jones, *A taxonomy of global optimization methods based on response surfaces*, Journal of Global Optimization, vol. 21, pp. 345-383, 2001.
- J. Keane and P. B. Nair, *Computational Approaches for Aerospace Design*, Wiley, 2005.
- P. Ladevèze, *Nonlinear Computational Structural Mechanics - New Approaches and non-Incremental Methods of Calculation*, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- J. C. Spall, *Introduction to stochastic search and optimization*, Wiley, 2003, http://www.jhuapl.edu/ISSO/ .

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

AN : l'ensemble des livrables est disponible sur le site du projet, http://omd.lri.fr . L'accès complet à ce site peut être temporairement donné aux experts de l'ANR sur demande.

Date de livraison (mois)	**N° de lot**	**Titre**	**Nature** (rapport, logiciel, prototype, données, …)	**Partenaires** (souligner le responsable)	**Commentaires**
T0+18	1	développement de méta-modèles généralistes pour l'optimisation, lmm-CMA-ES	rapport et code Scilab	TAO / INRIA Futurs	
T0+12	3	démonstrateur (en Scilab) d'optimisation multidisciplinaire avec réduction de modèles - Application aéronautique (aile d'avion)	code Scilab	UTC	
T0+12	2	état de l'art métamodèles pour la mécanique des fluides	rapport	ECP	
T0+9	4	synthèse concernant l'optimisation multi-niveaux paramétriques	rapport	INRIA Sophia	
T0+12	4	contribution à la maquette sous scilab, volet multi-niveaux de paramètres	code Scilab	INRIA Sophia	
T0+12	5	multi-niveaux de modèles, construction et identification	rapport	LMT Cachan	
T0+18	5	optimisation avec multi-niveaux de modèles	rapport	LMT Cachan	
T0+12	6	conception fiabiliste par approche hybride et par approche de facteur de sureté	rapport	INSA de Rouen	

Date de livraison (mois)	N° de lot	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, …)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		optimal, application au cas test moteur			
T0+12	7	optimisation collaborative, état de l'art en MDO	rapport	UPS / MIP	
T0+12	7	optimisation collaborative, évaluation de la méthode DIVE, développée par le MIP	rapport	UPS / MIP	
T0+12	6	développement de cas tests pour l'optimisation en présence d'incertitudes	rapport et code Scilab	ENSM-SE	
T0+12	8	spécification pour les développements logiciels et réalisation d'une maquette	rapport et code Scilab	ENSM-SE	
T0+12	8	Documentation sur la création de librairies/toolboxes chargeables esthétiquement dans Scilab	rapport	INRIA Rocquencourt	
T0+18	8	rapport sur les optimiseurs actuels du logiciel Scilab	rapport	INRIA Rocquencourt	
T0+15		réalisation du cas test Renault	rapport	Sirehna	Référence SIREHNA_2005-43_R001-A
T0+12		livraison du cas test SSBJ et description	logiciel et rapport	Dassault Av.	
T0+6 à T0+18		livraison du cas test optimisation du conduit d'admission d'air d'une culasse et mises à jour	logiciel et rapport	Renault	
T0+6 à T0+18		livraison du cas test lanceur et mises à jour	logiciel et rapport	Astrium ST	
T0+15	7	revue des formulations d'optimisation collaborative	rapport	ONERA	
T0+27	6	étude théorique des bruits multiplicatifs dans les optimiseurs stochastiques (sous la forme de l'article «On multiplicative noise models for stochastic search »).	rapport	TAO / INRIA Futurs	
T0+28	6	amélioration de CMA-ES pour l'optimisation en présence d'incertitudes: méthode adaptatives pour la taille de la population, transparents réunion 28 Novembre 2008 (cf. site omd).	transparents	TAO / INRIA Futurs	
T0+21	1	application de CMA-ES au cas test lanceur, cf. transparents de la réunion plénière du 7 février 2008 (site omd).	transparents	TAO et Astrium ST	
T0+24	2	réduction de modèles par Proper Orthogonal Decomposition	article	UTC	

Date de livraison (mois)	N° de lot	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, …)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		(POD) et krigeage, application au cas test moteur. Article « Surrogate models with kriging and POD for the optimization of an intake port », EngOpt conférence, Brésil, Juin 2008			
T0+30	2	constrained POD (CPOD) et application au cas test moteur. Transparents réunion plénière et résumé ADMOS 2009 intitulé « model reduction combining constrained POD and kriging for optimization under uncertainty : application to an intake port »	article et transparents	UTC et Renault	
T0+30	7 (et 5)	couplages aérodynamique / structure avec modèles réduits, application à une aile (2D puis 3D). Articles "Model Reduction for Multidisciplinary Optimization - Application to a 2D Wing" et "Bi-level Model Reduction for Coupled Problems - Application to a 3D Wing", tous 2 dans Structural and Multidisciplinary Optimization journal.	articles	UTC	
T0+28	7	Optimisation collaborative, application au cas test Dassault	rapport	MIP et ONERA	
T0+26	3	méthodes et résultats sur le cas-test avion supersonique concernant la construction de métamodèles	rapport	INRIA Sophia	
T0+21	4	résultats sur le cas-test avion supersonique pour l'optimisation multi-niveau de paramètres géométriques	rapport	INRIA Sophia	
T0+26	1 (et 3)	programmes Scilab pour le krigeage et les réseaux Radial Basis Functions (RBF)	code Scilab	INRIA Sophia	
T0+25	1	comparaison de métamodèles, cf. transparents réunion 28 Juin 2008 sur le site omd.lri.fr	transparents	ONERA	
T0+36		réalisation des cas tests Astrium ST	rapport	Sirehna et Astrium ST	Référence SIREHNA_2005-43_R002-A
T0+21	5.3	optimisation des paramètres de liaison dans les assemblages	rapport + logiciel Scilab	LMT	
T0+28	5.4	optimisation multiniveau de modèles – mesure de la précision, qualité des modèles	rapport	LMT	
T0+21	6	Optimum Safety Factor as Advanced algorithm for	rapport	LMR	

Date de livraison (mois)	N° de lot	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, …)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		reliability-based design optimization, application to the Renault test case			
T0+28	6	«l'incertitude en conception : formalisation, estimation», chapitre du livre OMD-HERMES	chapitre	ENSM-SE	
T0+28	8	«Vers une programmation orientée objet des optimiseurs», chapitre du livre OMD-HERMES	chapitre	ENSM-SE	
T0+28	3	«Réduction de modèles Eléments Finis par POD pour les problèmes paramétrés aux EDP», chapitre du livre OMD-HERMES, et développement logiciel en freefem++.	chapitre + logiciel freefem++	ECP	
T0+28		«L'optimisation multidisciplinaire multi-niveaux en conception d'avion » chapitre du livre OMD-HERMES	chapitre	Dassault Av.	
T0+36	6	"An empirical study of the use of confidence levels in RBDO with Monte Carlo simulations", chapitre dans OMD-WILEY + code dans la Toolbox.	chapitre et code Scilab	ENSM-SE	
T0+36	8	Finalisation de la Toolbox Scilab	code	INRIA Rocquencourt et ENSM-SE	
T0+36	8	Ajout d'une norme pour la programmation ask&tell avec propagation d'incertitudes, cf. chapitre « On object-oriented programming of optimizers - Examples in Scilab » de OMD-WILEY.	chapitre et code	ENSM-SE	
T0+36		rapport final Sirehna	rapport	Sirehna	Référence SIREHNA_2005-43_R003-A

E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

Comptabiliser séparément les actions monopartenaires, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaires résultant d'un travail en commun.
***Attention** : éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).*

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	**Revues à comité de lecture**	1	11
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	6	8
	Communications (conférence)	5	17
France	**Revues à comité de lecture**	0	1
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	4	9
	Communications (conférence)	3	14
Actions de diffusion	**Articles vulgarisation**	0	0
	Conférences vulgarisation	1	0
	Autres	0	0

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	0
Brevet internationaux en cours d'obtention	0
Brevets nationaux obtenus	0
Brevet nationaux en cours d'obtention	0
Licences d'exploitation (obtention / cession)	0
Créations d'entreprises ou essaimage	0
Nouveaux projets collaboratifs	1
Colloques scientifiques	2
Autres (préciser)	0

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

*Répertorier les publications résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du premier tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en suivant les normes éditoriales habituelles. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.*

Revues à comité de lecture internationales

- C. Audouze, F. De Vuyst and P.B. Nair, *Physics-based metamodeling for parameterized PDE problems using time-space-parameter principal component analysis*, - Part I, acceptée à Int. J. of Num. Methods in Engineering (IJNME), 2008.
- C. Audouze, F. De Vuyst, *Analysis of a nonintrusive reduced-order model for linear partial differential equation problem*, submitted to CRAS, Série I Mathématiques (2008).
- C. Audouze and F. De Vuyst, *State of the art in physics-based metamodeling for computational fluid dynamics problems*, Journal of Shanghai University, submitted (2008).
- Boucard, P.A., Buytet, S., Guidault, P.A. *A multiscale strategy for structural optimization.* Int Jal for Numerical Methods in Engineering. Vol 78. Num 1. Pages 101-126. 2009
- Chandrashekarappa, P., Duvigneau, R. *Low cost PSO using metamodels and inexact pre-evaluations: application to aerodynamic design*, Computer Methods in Applied Mechanical Engineering, No 198, 2009.
- F. De Vuyst, *Sensitivity analysis under uncertainty of a linear heat problem nonintrusive reduced-order model*, CRAS Serie I, Mathématiques, soumis (2008).
- A. El Hami, B.Radi, M.Sbaa, *RBDO analysis of the dynamic constant inside the piezoelectric motor*, Applied Mathematical Sciences, Vol. 2, 2008, no. 41, pp 2029 – 2045.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, Pierre Villon, *Bi-level Model Reduction for Coupled Problems - Application to a 3D Wing*, Structural and Multidisciplinary Optimization : Volume 39, 4 (2009), Page 401-418, DOI 10.1007/s00158-008-0335-3 .
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, *Model Reduction for Multidisciplinary Optimization - Application to a 2D Wing*, Structural and Multidisciplinary Optimization 378(1):29–48, 2008.
- G. Kharmanda, A. Mohsine, A. Makloufi, A. El Hami, *Recent methodologies for reliability-based design optimization*, International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization, EDP Sciences, Volume 2, No. 1, January 2008, pp 11-24.
- J.J. Maisonneuve, F. Pécot, A. Pagès (SIREHNA), M.Sidorkiewicz, M. Albertelli and J. Visconti (RENAULT), *Comparison of two approaches for the direct optimisation of a car engine intake port*, International Journal for Simulation and Multi-disciplinary Design Optimisation IJSMDO, Vol 2, Num 1, January 2008, pp37-41.
- M. Masmoudi, D. Auroux, and Y. Parte, *The state of the art in Collaborative Design*. Comput. Fluid Dyn. J., 2008. Accepted for publication.

Ouvrages ou chapitres d'ouvrages internationaux

OMD-WILEY : *Multidisciplinary Design Optimization in Computational Mechanics*, Wiley, Filomeno Coelho et P. Breitkopf ed., à paraître en 2010. Détail des chapitres :

- Michel Ravachol , *Challenges in Multidisciplinary Design Optimization: Case Study of Aircraft Design*, OMD-WILEY, Chapter 1, 2010.

- Manuel Samuelides, *Response Surface Methodology and Reduced Order Models*, OMD-WILEY, Chapter 2, 2010.
- Florian De Vuyst, *PDE Metamodeling using Principal Component Analysis*, OMD-WILEY, Chapter 3, 2010.
- Rajan Filomeno Coelho, Manyu Xiao, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, Pierre Villon, Maryan Sidorkiewicz, *Reduced Order Models for Coupled*, OMD-WILEY, Chapter 4, 2010.
- Pierre-Alain Boucard, Sandrine Buytet, Bruno Soulier, Praveen Chandrashekarappa, Régis Duvigneau, *Multilevel Modeling*, OMD-WILEY, Chapter 5, 2010.
- Abderrahmane Benzaoui, Régis Duvigneau, *Multiparameter Shape Optimization*, OMD-WILEY, Chapter 6, 2010.
- Jean-Antoine Désidéri, *Two-Disciplines Optimization*, OMD-WILEY, Chapter 7, 2010.
- Yogesh Parte, Didier Auroux, Joël Clément, Mohamed Masmoudi, Jean Hermetz, *Collaborative Optimization*, OMD-WILEY, Chapter 8, 2010.
- Daniel Salazar Aponte, Rodolphe Le Riche, Gilles Pujol, Xavier Bay, *An Empirical Study of the Use of Confidence Levels in RBDO with Monte Carlo Simulations*, OMD-WILEY, Chapter 9, 2010.
- Régis Duvigneau, Massimiliano Martinelli, Praveen Chandrashekarappa, *Uncertainty Quantification for Robust Design*, OMD-WILEY, Chapter 10, 2010.
- Ghias Kharmanda, Abdelkhalak El-Hami, Eduardo Souza de Cursi, *Reliability-Based Design Optimization (RBDO)*, OMD-WILEY, Chapter 11, 2010.
- Guillaume Collange, Nathalie Delattre, Nikolaus Hansen, Isabelle Quinquis, Marc Schoenauer, *Multidisciplinary Optimization in the Design of Future Space Launchers*, OMD-WILEY, Chapter 12, 2010.
- Maryan Sidorkiewicz, Jean-Jacques Maisonneuve, Fabian Pécot, Antoine Pages, *Numerical Optimization in Automotive Industry*, OMD-WILEY, Chapter 13, 2010.
- Yann Collette, Nikolaus Hansen, Gilles Pujol, Daniel Salazar Aponte, Rodolphe Le Riche, *On Object-Oriented Programming of Optimizers – Examples in Scilab*, OMD-WILEY, Chapter 14, 2010.

Conférences internationales

- C. Audouze, 9th IMACS International Symposium on Iterative Methods in Scientific Computing, Lille, mars 2008.
- Piotr Breitkopf, "Surrogate models with kriging and constrained POD for the optimization of an intake port", conférence invitée à l'Université de Santiago de Chili, Santiago, Chili, 27 Novembre 2008.
- Chandrashekarappa, P., Duvigneau, R. *Accelerating Aerodynamic Shape Design using Metamodel-Assisted Particle Swarm Optimization*, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008.
- J. Clément, N. Bartoli, and J. Hermetz (ONERA), M. Masmoudi (UPS) *Multi disciplinary optimization. A scilab tool for MDO*, In EUCASS'07, Bruxelles (Belgique) 1 - 6 July 2007.

- G. Collange, S. Reynaud and N. Hansen, *Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy for Multidisciplinary Optimization of Expendable Launcher Families*, submitted to the 13th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 13-15 September 2010, Fort Worth, Texas, USA.
- J.A. Désidéri , China-Europe Workshop. Nanjing, 22-24 Octobre 2007: Optimum-Shape Design in Aerodynamics and Coupled Disciplines I: Multi-level parametric algorithms II: Concurrent engineering.
- J .- A. Désidéri , R. Duvigneau, T. Nguyen, *Hierarchical Optimization: Multi-Level Algorithms, Multi- Disciplinary Optimization, Robust Design and Software Environments*, in "8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008; Special Technological Session: MDO Tools for High Quality Design in Aeronautics", http://www.iacm-eccomascongress2008.org/frontal/, 2008.
- J .-A. Désidéri , R. Duvigneau, B. Abouel Majd, H. Chen, Z. Tang, J . Périaux, *Split of Territories for Optimum-Shape Design in Aerodynamics and Coupled Disciplines*, in 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008.
- R. Duvigneau, M. Martinelli , C. Praveen, *Uncertainty Propagation in CFD using Surrogates and Automatic Differentiation*, in 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, *Reduced Models for Coupled Aerodynamic and Structural Optimization of a 3D Flexible Wing*, International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Brazil, June 1-5, 2008.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Pierre Villon, Maryan Sidorkiewicz, *Surrogate Models with Kriging and POD for the Optimization of an Intake Port*, International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Brazil, 1-5 Juin, 2008.
- R. Filomeno Coelho, M. Xiao, P. Breitkopf, P. Villon and M. Sidorkiewicz , *Model Reduction combining Constrained POD and Kriging for Optimization under Uncertainty: Application to an Intake Port*., ADMOS 2009, 25-27 Mai 2009, Bruxelles.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, A. Rassineux, P. Villon, *Bi-level model reduction strategy for the shape optimization of shell structures interacting with transonic flow*, Africomp 2009, Sun City, South Africa, 7-11 janvier 2009.
- R. Filomeno Coelho, M. Xiao, P. Breitkopf, P. Villon, M. Sidokiewicz, *Surrogate models based on constrained POD for the multiobjective optimization of an intake port*, WCSMO VIII - 8th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, Lisbonne, Portugal, 1-5 juin 2009.
- M. Jebalia, A. Auger, *On multiplicative noise models for stochastic search*, présenté à la conférence PPSN X, Septembre 2008, Dortmund.
- Lopez, R. H., Rojas, J.E., Souza De Cursi, J. E., El-Hami, A. , *RBDO of Laminated Composite Plates*. In: The Ninth International Conference on Computational Structures Technology, 2008, Athens.

- J.J. Maisonneuve, F. Pécot, A. Pagès, M. Albertelli, M. Sidorkiewicz, J. Visconti, *Comparison of two approaches for the direct optimisation of a car engine intake port*, ASMDO, First International Conference on Multidisciplinary Design Optimization and Applications, Besancon (17-20 Avril 2007).
- M. Martinelli , R. Duvigneau, *Comparison of second-order derivatives and metamodel-based Monte-Carlo approaches to estimate statistics for robust design of a transonic wing*, in "10th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference, April 7–10, Schaumburg, Illinois", 2008.
- M. Masmoudi, Y. S. Parte, *Disciplinary Interaction Variable Elimination (DIVE) approach for MDO*, European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2006, P. Wesseling, E. Onate and J. Périaux (Eds), TU Delft, The Netherlands, 2006.
- M. Masmoudi, Y. Parte, J. Clément, J. Hermetz, *DIVE : A New Approach for Multidisciplinary Optimization*, Eccomas 2008, July, Venice, (cf. http://www.iacm-eccomascongress2008.org/frontal/ProgSesion.asp?id=897).
- T. Nguyen, J . - A. Désidéri, *Distributed Workflows for Multiphysics Applications*, in 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008.
- F.Pécot (SIREHNA), *Enhancement of the applicability of optimal design technnologies to various industrial applications*, 5th International Conference devoted to Evolutionary Multi-Criterion Optimization, EMO'09, Nantes, 7-10 avril 2009, session industrielle.
- C. Praveen, R. Duvigneau, *Accelerating Aerodynamic Shape Design using Metamodel-Assisted Particle Swarm Optimization*, in 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, Venice, Italy, 30 June-4 July 2008.
- M. Ravachol, Y. Deremeaux, Q.V. Dinh, E. Herbin, *Uncertainties at the conceptual stage: A Multilevel Multidisciplinary Design and Optimization Approach*, 26th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2008, Anchorage, USA, september 2008.
- Marc Schoenauer, *A comparison of bio-inspired optimization methods*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapour, 25 septembre 2007.
- Soulier, B., Boucard, P.A. *A multiparametric strategy for large-scale multilevel optimization of structural assemblies*, soumis à WCSMO-8, 2009.

Revues à comité de lecture nationales

- Boucard, P.A., Buytet, S., Guidault, P.A. *Une stratégie multi-échelle pour l'étude paramétrique de détails géométriques au sein de structures en contacts multiples*. Revue Européenne de Mécanique Numérique. Vol 16. Num 8. Pages 1011-1036. 2007.

Ouvrages ou chapitres d'ouvrages nationaux

OMD-HERMES : *Optimisation multidisciplinaire en mécanique*, Hermès Science Publications, R. Filomeno Coelho et P. Breitkopf éd., vol. 1 ISBN 978-2-7462-2195-6 et vol. 2. ISBN 978-2-7462-2196-3, 566 pages, 2009. Détail des chapitres :

- Michel Ravachol, *L'optimisation multidisciplinaire multiniveau en conception d'avion*, OMD-HERMES, vol.1, chap.1, 2009.
- Maryan Sidorkiewicz, *L'optimisation numérique pour l'automobile*, OMD-HERMES, vol.1, chap.2, 2009.
- Guillaume Collange, Nathalie Delattre et Isabelle Quinquis, *L'optimisation multidisciplinaire dans la conception des futurs lanceurs spatiaux*, OMD-HERMES, vol.1, chap.3, 2009.
- Didier Auroux, Joël Clément, Jean Hermetz, Mohamed Masmoudi, Yogesh Parte, *Etat de l'art et nouvelles tendances en conception collaborative*, OMD-HERMES, vol.1, chap.4, 2009.
- Jean-Antoine Désidéri, *Partage de territoire en ingénierie concourante*, OMD-HERMES, vol.1, chap.5, 2009.
- Pierre-Alain Boucard, Sandrine Buytet, Praveen Chandrashekarappa, Régis Duvigneau, *Multiniveau de modèles*, OMD-HERMES, vol.1, chap.6, 2009.
- Jean-Antoine Désidéri, Régis Duvigneau, Badr Abou El Majd, Jichao Zhao, *Optimisation de forme paramétrique multiniveau*, OMD-HERMES, vol.1, chap.7, 2009.
- Florian De Vuyst, Christophe Audouze *Réduction de modèles éléments finis par POD*, OMD-HERMES, vol.2, chap.1, 2009.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, Pierre Villon, *Réduction de modèles pour problèmes couplés* , OMD-HERMES, vol.2, chap.2, 2009.
- Gilles Pujol, Rodolphe Le Riche, Olivier Roustant, Xavier Bay, *L'incertitude en conception* , OMD-HERMES, vol.2, chap.3, 2009.
- Régis Duvigneau, Massimiliano Martinelli, Praveen Chandrashekarappa, *Estimation d'incertitude en aérodynamique* , OMD-HERMES, vol.2, chap.4, 2009.
- Ghias Kharmanda, Abdelkhalak El-Hami, Eduardo Souza De Cursi, *Optimisation fiabiliste des structures* , OMD-HERMES, vol.2, chap.5, 2009.
- Yann Collette, Nikolaus Hansen, Gilles Pujol, *Programmation orientée objet des optimiseurs* , OMD-HERMES, vol.2, chap.6, 2009.
- Jean-Jacques Maisonneuve, Fabian Pécot, Antoine Pagès, Maryan Sidorkiewicz, *Application industrielle des outils d'optimisation de conception* , OMD-HERMES, vol.2, chap.7, 2009.
- Manuel Samuelides, *Surfaces de réponse et réduction de modèles* , OMD-HERMES, vol.2, chap.8, 2009.

Autres :

- J. Clément ; N. Bartoli ; J. Hermetz ; F. Morel, Rapport technique ONERA RT 1/11825 DPRS, 2008.
- Praveen C., R. Duvigneau, *Metamodel-assisted particle swarm optimization and application to aerodynamic shape optimization*, Rapport INRIA No. 6397, Decembre 2007 (http://hal.inria.fr/inria-00199773/fr/) .

Conférences nationales

- Abderrahmane Benzaoui, Régis Duvigneau, *Méthode algébrique pour l'optimisation multiniveau - application à l'optimisation d'un avion d'affaires supersonique,* 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- A. Auger, N. Hansen, J. Perez Zerpa, R. Ros, M. Schoenauer, Empirical comparisons of several derivative free optimization algorithms, 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- Piotr Breitkopf, « Optimisation Multidisciplinaire en mécanique », conférence plénière, 2ème Meeting en Optimisation Modélisation et Approximation, Casablanca, Maroc, 19-21 Novembre 2009
- Piotr Breitkopf, « Méthodes et outils de modélisation pour l'Optimisation Multidisciplinaire en mécanique », séminaire LaMSID, Clamart, 29 octobre 2009
- Piotr Breitkopf, « Méthodes et outils de modélisation pour l'Optimisation Multidisciplinaire en mécanique », conférence plénière NAFEMS, Paris, 13 mai 2009
- Buytet, S., Boucard, P.A., Guidault, P.A. *Stratégie multi-échelle pour l'optimisation de détails structuraux*. CFM 2007 - 18e Congrès Français de Mécanique. 2007.
- R. Choufany, G. Lavaud, M. Albertelli, P. Breitkopf, C. Vayssade, *Couplage faible hydraulique et thermique dans la modélisation du refroidissement d'une pièce automobile,* 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- J. Clément, M. Masmoudi, J. Hermetz, N. Bartoli, Y. Parte, *DIVE : une méthode d'utilisation de méta-modèles dans un processus d'optimisation multi-disciplinaire,* 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- F. De Vuyst et C. Audouze, Ecole CEA/EDF/INRIA (Model Reduction), INRIA Rocquencourt, octobre 2007.
- F. De Vuyst, Séminaire au CEA Saclay, DEN/DM2S (Réduction de modèles et incertitudes).
- Badr Abou El Majd, Jean-Antoine Desideri, Abderrahmane Habbal, *Optimisation aéro-structurale de la voilure d'un avion d'affaires par un jeu de nash et un partage adapté des variables,* 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Vayssade, « Reduced Models for Multilevel Optimization Strategies. Application to a 2D wing », 4th Seminar of the Common Research Group Virtual prototyping for design and fabrication Northwestern Polytechnical University - Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, 11 – 13, Juillet, 2007.
- Rajan Filomeno-Coelho, Li Li, Piotr Breitkopf, Catherine Vayssade, *Couplage OMD - Approximation diffuse et élaboration d'un cas test*, 8e colloque national en calcul des structures, 21-25 Mai 2007, Giens (Var).
- M. Jebalia, A. Auger, *On the convergence of the (1+1)-ES in noisy spherical environments*, Evolution Artificielle, Tours, 30 octobre 2007.
- R. Le Riche, R. Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf et Catherine Vayssade, *Optimisation Multi-Disciplinaire*, présentation et poster au colloque STIC, session conception et optimisation, La Villette, Paris, 5 au 7 Novembre 2007.
- J.J.Maisonneuve (SIREHNA), *Etat de l'art et évolutions dans le domaine de l'optimisation de conception multidisciplinaire*, ITCT 2006 (AAAF, Association Aéronautique et Aérotechnique de France), Nantes, Novembre 2006.

- J.-J. Maisonneuve , *Un environnement d'optimisation de conception et ses applications*, séminaire du CNES, 13 décembre 2007 : "Optimisation multi-disciplinaire, ses applications aujourd'hui, son apport pour l'industrie aérospatiale de demain".
- J. Picard, *Les différentes méthodologies de l'optimisation multidisciplinaire*, séminaire du CNES, 13 décembre 2007 : "Optimisation multi-disciplinaire, ses applications aujourd'hui, son apport pour l'industrie aérospatiale de demain".
- G. Pujol, R. Le Riche, X. Bay, O. Roustant, *Minimisation de quantiles - application en mécanique*, 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- M. Samuelides, D. Bettebghor, S. Grihon, A. Merval, J. Morlier, *Modèles réduits en optimisation multiniveau de structures aéronautiques*, 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- Soulier, B., Boucard, P.A. *Stratégie multirésolution pour l'optimisation multi-niveaux de modèles*, 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.
- Manyu Xiao, Rajan Filomeno Coelho, Piotr Breitkopf, Catherine Knopf-Lenoir, Pierre Villon, Maryan Sidorkiewicz, *Réduction de modèles par CPOD et krigeage - application à l'optimisation de forme d'un conduit d'admission*, 9e Colloque National en Calcul de Structures, Giens, 25-29 Mai 2009.

E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section ***Erreur ! Source du renvoi introuvable.****. On détaillera notamment :*

- *brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.*
- *logiciels et tout autre prototype*
- *actions de normalisation*
- *lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,…*
- *le développement d'un nouveau partenariat,*
- *la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté*
- *création d'entreprise, essaimage, levées de fonds*
- *autres (ouverture internationale,..)*

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

- Toolbox OMD / Scilab, cf. http://forge.scilab.org/index.php/p/OMD/ .
- Toolbox CMA-ES / Scilab, cf. http://www.lri.fr/~hansen .
- Nouveaux projets de SIREHNA, corrélés au sujet et/ou suscités par le projet :
    - travaux de thèse de J. Picard, en collaboration avec l'Ecole Centrale de Nantes, Optimisation collaborative (arrêtée fin 2008).
    - thèse de G. Jacquenot, Méthode générique pour l'optimisation d'agencement géométrique et fonctionnel, Thèse CIFRE SIREHNA Ecole Centrale de Nantes, soutenue le 18 janvier 2009 à Nantes.
    - projet MDO-PME : mise en place d'une plate-forme de simulation et d'optimisation de conception à destination des PME. SIREHNA, UIMM, CRCI Pays de la Loire, CETIM, Pôle EMC2, Ecole des Mines de Nantes, Ecole

Centrale de Nantes, ESTACA Laval, ENSAM Angers, Conseil Régional Pays de la Loire, DRIRE. 2007-2011.

- Projet OMD2 (Optimisation MultiDisciplinaire Distribuée) qui est une continuation d'OMD (avec un partenariat partiellement renouvellé).

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.
Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Pujol Gilles	H		Juin 2009	Maitrise	France	2	ENSM-SE	ingénieur de recherche	24	Juillet 2008	CDI	grande entreprise	ingénieur	non	oui
Salazar Aponte Daniel	H		Janvier 2010	PhD	Espagne	0	ENSM-SE	post-doctorant	12	Novembre 2009	recherche d'emploi				
Picard Jérôme	H		Décembre 2009	DESS d'ingénierie mathématique à l'université de Chambéry	France	Ingénieur INRIA	SIREHNA	Doctorant optimisation collaborative	24	Décembre 2008	CDI Scilab		Ingénieur	Oui	Non
Rajan Filomeno Coelho	H		Janvier 2010	Doctorat Université Libre de Bruxelles	Belgique	2	UTC-Roberval	Postdoctorant	24	Décembre 2009	CDI	enseignement et recherche publique	Ingénieur de recherche	Oui	Oui
Praveen CHANDRASHEKARAPPA	H			PhD			INRIA-Sophia	Postdoctorant	18	Avril 2008					
Abderrahmane Benzaoui	H			PhD			INRIA-Sophia	Postdoctorant	12	Mai 2009					
Vincent Couvert	H			ingénieur			INRIA Rocquencourt	ingénieur expert	24	Février 2009	CDI	PME/TPE	ingénieur	oui	oui
Michael Baudin	H			ingénieur			INRIA Rocquencourt	ingénieur	12	Juin 2009					

Rajan Filomeno Coelho	H			PhD			UTC	postdoctorant	24	décembre 2008					
Sandrine Buytet	F		Novembre 2009	Docteur	France	0	LMT Cachan	postdoctorant	16,5	mars 2008	CDI	grande entreprise	ingénieur R&D	non	oui
Mohammed KHARMANDA	H			Docteur			INSA Rouen	postdoctorant	18	février 2008					
Henrique Odam	H			ingénieur			INSA Rouen	doctorant	12	janvier 2008					
Sylviane HENOCQ	F			secrétaire			INSA Rouen	secrétaire	9	mai 2008					
Danielle BLANCHARD	F			secrétaire			INSA Rouen	secrétaire	10	juin 2009					
Nikolaus Hansen	H			PhD			INRIA Futurs	ingénieur expert	10	janvier 2008					
Alexandre Devert	H			Master			INRIA Futurs	doctorant	8	septembre 2008					
Parte Yogesh	H		juillet 2006	Ingénieur de l'IISc	Hors UE	2 ans	IMT	doctorant	15	Novembre 2008	CDI (procédure en cours)	Petite entreprise	Ingénieur	Non	Non
Fehrenbach Jérôme	H		01 sept. 2006	Doctorat	France	2 ans	IMT	Post-doctorant	4 (dission au bout de mois)	Décembre 2006	Fonctionnaire	Université	Maître de Conférences	Non	Non
Causse Mathieu	H		1er octobre 2007	Ingénieur INSA-Toulouse	France	0	IMT	doctorant	6 mois	Février 2008	Etudiant (thèse en cours)				
Touya Thierry	H		1er janvier 2006	Agrégé de mathématiques	France	2 ans	IMT	doctorant	4 mois	Aout 2009	Fonctionnaire	IUT de Rodez	Professeur Agrégé	non	non

Aide pour le remplissage

(1) Adresse email : indiquer une adresse email la plus pérenne possible
(2) Poste dans le projet : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)
(3) Durée missions : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet
(4) Devenir professionnel : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
(5) Type d'employeur : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
(6) Type d'emploi : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
(7) Lien au projet ANR : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
(8) Valorisation expérience : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact).