

Titre du sujet de thèse		
Analyse d'incertitudes et de robustesse pour les modèles à entrées et sorties fonctionnelles @ @		
Direction de Recherche	R11	Section R1150R
Promoteur IFPEN	Nom Prénom	SINOQUET Delphine
	n° téléphone	01 47 52 64 66
	e-mail	delphine.sinoquet@ifpen.fr

Le résumé de la proposition de sujet de thèse est à rédiger sur la fiche synthétique (formulaire FS).

1. Exposé détaillé du sujet de thèse proposé (limité à 4 pages max)

La lecture de l'exposé doit permettre de se faire une opinion sur l'intérêt et la faisabilité du sujet et de la stratégie de recherche proposée. Aussi merci de respecter le plan suivant.

1.1 Expliciter le contexte : positionnement de la thèse proposée par rapport aux verrous scientifiques IFPEN et par rapport aux objectifs du projet de rattachement (projet miroir)

Le sujet de thèse s'inscrit dans le verrou 7 « commander et optimiser des systèmes réels et complexes » et se rattache à plusieurs sous-domaines identifiés dans ce verrou, à savoir

- l'analyse de sensibilité globale et la propagation d'incertitudes pour les modèles à entrées et sorties fonctionnelles ;
- l'approximation par méta-modèles de simulateurs complexes : extension des techniques connues au cas d'entrées et sorties fonctionnelles ;
- l'optimisation robuste permettant la prise en compte d'entrées aléatoires du système.

Le sujet proposé relève d'une problématique transverse commune à plusieurs applications IFPEN. Parmi elles, nous pouvons citer le post-traitement des gaz d'échappement d'un véhicule vis-à-vis des critères de pollution et la récupération de l'énergie des vagues par les systèmes houlomoteurs.

Cette thèse fera partie de la nouvelle chaire industrielle en Mathématiques Appliquées OQUAIDO – Optimisation et QUAntification d'Incertainitudes pour les Données Onéreuses – pilotée par l'Ecole des Mines de Saint Etienne (EMSE). Le principe de cette chaire est de réunir des partenaires académiques et industriels pour résoudre des problèmes liés à l'exploitation des simulateurs numériques, tels que la quantification d'incertitudes (comment assortir une incertitude à un résultat de simulation ?), l'inversion (comment établir les domaines de bon fonctionnement et défaillance d'un système simulé ?) et l'optimisation (comment trouver les paramètres optimisant les performances d'un système simulé ?).

Le projet de rattachement IFPEN sera le projet XBH, DOPING, acronyme pour Design Optimal pour l'INGénieur, projet transverse de la direction scientifique, ayant pour objectif de développer et appliquer des outils de conception optimale, robuste et multi-physique.

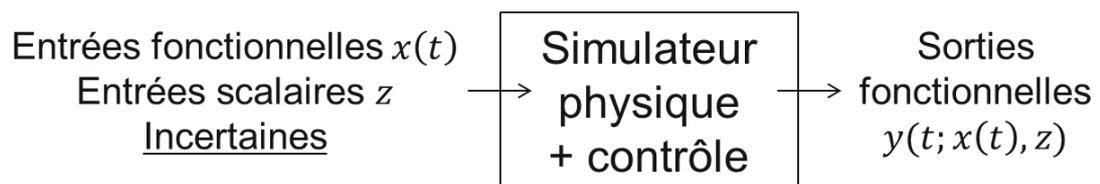
Outre ce projet, les équipes des projets VQB pour l'application sur le post-traitement des gaz d'échappement (piloté par Stéphane Raux) et MJT pour le contrôle des systèmes houlomoteurs (piloté par Paolino Tona) seront également impliqués pour le transfert des méthodes et méthodologies développées au cours de la thèse.

Résumé de 5 lignes maximum - à recopier dans la Fiche Synthétique

La thèse proposée s'inscrit dans le verrou 7 « commander et optimiser des systèmes réels et complexes ». Elle est rattachée au projet XBH, DOPING « Design OPTimal pour l'INGénieur ». Elle fera partie de la chaire industrielle OQUAIDO – Optimisation et QUAntification d'Incertitudes pour les Données Onéreuses – pilotée par l'Ecole des Mines de Saint Etienne.

1.2 Définir précisément le problème scientifique que la thèse devra résoudre / la question scientifique à laquelle la thèse devra répondre

Dans les deux exemples d'application cités ci-dessus, un simulateur représentant le système piloté par des stratégies de contrôle subit des entrées aléatoires fonction du temps et prédit des sorties également fonctionnelles, dépendantes du temps, que l'on cherche à optimiser (minimiser, maximiser ou contraindre à rester sous un seuil par exemple).



Dans le cas du post-traitement des gaz d'échappement d'un véhicule, les entrées fonctionnelles sont des cycles de conduite (vitesse du véhicule en fonction du temps) et certains paramètres scalaires associés au contrôleur et les sorties fonctionnelles sont les émissions de polluants, fonctions du temps.

Quant au deuxième cas applicatif cité, le système houlomoteur vise à récupérer l'énergie des vagues, la sortie est alors la courbe de puissance récupérée en fonction du temps à partir des états de mer, entrées fonctionnelles aléatoires.

Dans ces deux exemples, l'analyse d'incertitudes et de robustesse de ces systèmes par rapport aux entrées incertaines s'avère une étape cruciale pour la mise au point et la validation des systèmes et des stratégies de contrôle implémentées.

Les verrous de la thèse concernent ainsi les deux thématiques transverses suivantes

- la quantification de l'impact des entrées aléatoires décrites par des distributions statistiques sur les sorties fonctionnelles pour une stratégie de contrôle donnée et ses paramètres fixés ;
- le diagnostic et l'optimisation des stratégies de contrôle pour un ensemble représentatif des entrées aléatoires.

La thèse aura donc 2 objectifs principaux

- d'une part de développer des méthodes de quantification d'incertitudes sur les sorties fonctionnelles d'un système en fonction des incertitudes sur les entrées mixtes, scalaires et fonctionnelles, afin de définir des indicateurs de performances (du contrôleur) de ce système,
- d'autre part de mettre en place des outils d'évaluation et d'optimisation du système et de ses stratégies de contrôle à l'aide de critères de robustesse adaptés aux entrées/sorties fonctionnelles.

Résumé de 5 lignes maximum - à recopier dans la Fiche Synthétique

Les objectifs de la thèse sont (i) le développement de méthodes de quantification des incertitudes sur les sorties fonctionnelles d'un système associé à un système contrôlé dont les entrées sont fonctionnelles et aléatoires, (ii) la prise en compte de ces incertitudes dans une optimisation des stratégies de contrôle.

1.3 Exposer la stratégie de recherche proposée (méthodologie, risques/opportunités, originalité par rapport à l'état de l'art, ; indiquer au maximum 10 références bibliographiques pertinentes)

Classiquement, le cas des entrées/sorties fonctionnelles d'un système est traité en se ramenant au cas de la dimension finie par projection ou décomposition dans des bases de fonctions appropriées (splines ou ondelettes par exemple) [1,2,3,4], même si cette approche n'est pas toujours justifiée.

En pratique, peu de travaux traitent du cas de système à entrées ET sorties fonctionnelles.

Le premier objectif de la thèse sera donc de proposer une méthodologie d'analyse de sensibilité et d'incertitudes appropriée au cas d'entrées mixtes (scalaires et fonctionnelles) et de sorties fonctionnelles, en se basant sur la construction de méta-modèles adaptés.

En effet, les méthodes d'analyse d'incertitudes requièrent un grand nombre de simulations associées à un échantillonnage pertinent de l'espace des entrées (espace de projection de grande dimension potentiellement). Le recours aux méta-modèles est alors nécessaire pour limiter le temps de calcul associé [4,5].

Ces approximations statistiques ou métamodèles sont peu coûteuses et peuvent alors être utilisées pour remplacer le « vrai » simulateur dans la résolution des problèmes du type propagation d'incertitudes, analyse de sensibilité ou problèmes d'optimisation. Il existe dans la littérature une grande variété de surfaces de réponses, qu'elles soient linéaires, polynomiales, à base de splines, construites à l'aide de réseaux de neurones ou basées sur des fonctions noyaux figurant dans des espaces de Hilbert à noyaux auto-reproduisants (RKHS), comme les SVM ou les processus gaussiens.

Il s'agira d'adapter ces techniques d'approximation au cas des systèmes à entrées et sorties fonctionnelles et d'utiliser ces méta-modèles pour propager les incertitudes des entrées sur les sorties.

A partir de ces incertitudes, pour un système et une stratégie de contrôle fixés, on cherchera à définir des indicateurs de performances pertinents afin d'évaluer le contrôleur du système.

Le deuxième objectif de la thèse est d'analyser l'évolution de ces indicateurs de performances en faisant varier les paramètres associés au contrôleur. Dans une première étape, à stratégie de contrôle donnée, on pourra chercher les entrées critiques, entrées pour lesquelles un seuil sur la sortie d'intérêt (un indicateur de performances) est dépassé. Cette étape s'apparente à une étape de diagnostic d'une stratégie de contrôle donnée.

Une deuxième étape sera l'optimisation des stratégies de contrôle en tenant compte des entrées aléatoires : en cherchant à minimiser/maximiser en moyenne la sortie pour un échantillonnage représentatif des entrées fonctionnelles, la valeur maximale de la sortie pour toutes les entrées (pire cas) ou la probabilité d'être au-dessus d'un seuil. Cette deuxième étape s'apparente à de l'optimisation ou inversion robuste. Les travaux [6,7,8,9] sur l'optimisation/inversion robuste basée sur des méta-modèles adaptatifs pourront être étudiés et étendus aux cas d'entrées et sorties fonctionnelles.

- [1] J. Fruth, O. Roustant, S. Kuhnt, 2015, *Sequential designs for sensitivity analysis of functional inputs in computer experiments*, Reliability Engineering & System Safety, 134, p. 260-267.
- [2] S. Nanty, à paraître en 2015, *Approche stochastique pour la quantification des incertitudes et l'analyse de sensibilité des codes de calcul à entrées temporelles et spatio-temporelles : application aux études de sûreté et de calcul d'impact*, PhD. Thesis, Université Joseph Fourier de Grenoble.
- [3] B. Iooss and M. Ribatet, 2009, *Global sensitivity analysis of computer models with functional inputs*, Reliability Engineering & System Safety, Volume 94, Issue 7, Pages 1194–1204, Special Issue on Sensitivity Analysis.
- [4] B. Auder, A. de Crecy, B. Iooss and M. Marquès, 2012, *Screening and metamodeling of computer experiments with functional outputs. Application to thermal-hydraulic computations*. Reliability Engineering and System Safety, 107:122-131.
- [5] A. Marrel, B. Iooss, B. Laurent and O. Roustant, 2009, *Calculations of Sobol indices for the Gaussian process metamodel*, Reliability Engineering & System Safety, 94 (3), p. 742-751.
- [6] D. R. Jones, M. Schonlau, and W. J. Welch., 1998, Efficient global optimization of expensive black-box functions, Journal of Global Optimization, 13(4):455-492.
- [7] J. Janusevskis and R. Le Riche, 2012, Simultaneous kriging-based estimation and optimization of mean response, Journal of Global Optimization, Springer, DOI 10.1007/s10898-011-9836-5.
- [8] D. Ginsbourger, J. Baccou, C. Chevalier, F. Perales, N. Garland, Y. Monerie, 2014, *Bayesian adaptive reconstruction of profile optima and optimizers*. SIAM/ASA J. Uncertainty Quantification, vol. 2, pp 490-510.
- [9] C. Chevalier, 2013, *Fast uncertainty reduction strategies relying on Gaussian process models*, PhD thesis, Statistics Universität Bern.

1.4 Cibles concrètes à atteindre (*preuve de concept, logiciel et/ou montage expérimental répondant à un cahier des charges, mode opératoire validé, prises de brevets, soumissions de publications, ...*)

Résumé de 5 lignes maximum - à recopier dans la Fiche Synthétique

Les cibles visées sont des publications sur les méthodes développées et les évaluations sur des cas académiques et cas tests proposés par le projet OQUAIDO (dont le cas houlomoteur), le développement d'algorithmes sous la forme de nouveaux packages R ou de contributions à des packages existants.

1.5 Liens avec les thèses passées et en cours

La thèse de Benoit Pauwels (R115) intitulée « Optimisation robuste sans dérivées appliquée à des simulateurs coûteux » est une thèse connexe au sujet proposé puisqu'il s'agit de la prise en compte des incertitudes dans l'optimisation. Cependant, le type de problèmes abordés dans cette thèse est différent puisque l'on modélise la source d'incertitude comme une ou des perturbations scalaires de la fonction objectif à optimiser.

La thèse d'Ivana Aleksovska (R115) intitulée « Optimisation sous contraintes de fiabilité de systèmes complexes – Application à l'ancrage des supports d'éolienne flottante » est également reliée à la thèse proposée : dans cette thèse la source d'incertitudes est prise en compte dans les contraintes du problème d'optimisation comme une contrainte probabiliste de type fiabilité.

Résumé de 5 lignes maximum - à recopier dans la Fiche Synthétique

Thèse de Benoit Pauwels (R115) « Optimisation robuste sans dérivées appliquée à des simulateurs coûteux »
Thèse d'Ivana Aleksovska (R115) « Optimisation sous contraintes de fiabilité de systèmes complexes – Application à l'ancrage des supports d'éolienne flottante »

2. Le doctorant

2.1 Recrutement du doctorant : Profil de formation initial requis

École d'ingénieur ou formation équivalente

Master Calcul Scientifique / Probabilités / Statistiques / Optimisation

Compétences en programmation et goût pour le domaine des probabilités/statistiques et de l'optimisation

2.2 En quoi ce sujet contribuera-t-il à la formation scientifique du doctorant ?

Le doctorant va acquérir une bonne maîtrise des méthodes théoriques de traitement des incertitudes et d'optimisation ainsi que de leur mise en œuvre. L'environnement mixte académique et industriel de la chaire OQUAIDO devrait être très enrichissant pour l'étudiant.

De plus, de par la nature transverse des thèmes étudiés, l'expérience acquise par le doctorant pourra être réinvestie dans différents domaines d'application.

2.3 En quoi le sujet peut-il contribuer à l'insertion du doctorant dans la vie professionnelle

Ce sujet s'intègre dans le cadre de la chaire industrielle OQUAIDO réunissant des partenaires académiques et des partenaires industriels. Ce sujet transverse intéresse plusieurs partenaires et l'IFPEN pour des applications variées, que ce soit en géosciences, en développement de systèmes de post-traitement des gaz d'échappement de véhicules, de systèmes d'énergie renouvelable comme les machines houlomotrices ...

L'intégration de cette thèse dans ce projet collaboratif permettra à l'étudiant d'exposer régulièrement ses travaux aux partenaires industriels et de travailler en collaboration avec les autres étudiants en thèse de la chaire sur des sujets connexes ce qui permettra d'acquérir une culture scientifique plus large.

Dans le contexte professionnel la double compétence optimisation et traitement des incertitudes est un atout majeur compte tenu de la forte demande concernant ces deux domaines indépendamment et à l'avenir, comme dans le cadre de cette thèse, en interaction. En effet l'analyse de sensibilité et l'optimisation robuste est un sujet très porteur dans de nombreux domaines applicatifs pour la conception.

3. Encadrement et conduite de la thèse

Le promoteur : Delphine Sinoquet (R115)
Directeur de thèse : Olivier Roustant (EMSE)

3.1 Fonctions et domaines d'activité du Directeur de thèse proposé

(Le Directeur de thèse doit être Habilité à Diriger des Recherches. Joindre une liste de ses cinq publications les plus récentes dans le domaine concerné par la thèse. Cette rubrique est aussi à renseigner si le directeur de thèse est IFPEN)

Professeur associé à l'Ecole des Mines de Saint Etienne (depuis 2002)
HDR en Mathématiques Appliquées (2011)
Responsable de la Chaire OQUAIDO (à partir de 2015)

- [10] J. Fruth, O. Roustant, S. Kuhnt, 2015, *Sequential designs for sensitivity analysis of functional inputs in computer experiments*, Reliability Engineering & System Safety, 134, p. 260-267.
- [11] T. Muehlenstaedt, J. Fruth, O. Roustant, *Computer experiments with functional inputs and scalar outputs by a norm-based approach*, soumis en 2015.
- [12] M. Binois, D. Ginsbourger, O. Roustant, 2015, *Quantifying uncertainty on Pareto fronts with Gaussian Process conditional simulations*, European Journal of Operational Research, 243 (2,1), p. 386-394.
- [13] A. Marrel, B. Iooss, B. Laurent and O. Roustant, 2009, *Calculations of Sobol indices for the Gaussian process metamodel*, Reliability Engineering & System Safety, 94 (3), p. 742-751.

3.2 Périmètre d'interaction du doctorant : équipe de recherche interne, externe, co-publiante

Internes :

Equipe du projet XBH DOPING (Habiba Boulharts)
Compétences optimisation et incertitudes du département mathématiques appliquées (Miguel Munoz Zuniga, François Wahl, Frederic Delbos),
Equipe du département Contrôle, Signal et Système (Olivier Lepreux, Paolino Tona, Yann Creff)

Externes

Partenaires de la chaire OQUAIDO : Ecole des Mines des Saint-Etienne (Olivier Roustant, Nicolas Durrande), Ecole Centrale de Lyon (Céline Helbert), Université Joseph Fourier (Clémentine Prieur), Polytech Lyon (Céline Vial), UNICE (Luc Pronzato), Université de Toulouse (Fabrice Gamboa), université Paris Diderot (Josselin Garnier), INRIA, CEA, IRSN, BRGM, SAFRAN, Storengy.