Rédigé le 16 mars 2022 5 minutes de lecture
Actualités

- Recherche fondamentale

- Mathématiques et informatique
- Méthodes numériques et optimisation

Dans les multiples domaines applicatifs d'IFPEN, un besoin croissant de méthodes d'optimisation et de traitement des incertitudes se fait sentir lors des différentes phases de développement et de mise au point de systèmes de plus en plus complexes. Le projet de recherche DOPING (Design Optimal Pour l'INGénieur), porté par la direction scientifique d'IFPEN, a contribué au développement de méthodes transverses adaptées et à leur déploiement via la plateforme interne ATOUT (*Advanced Tools for Optimization and Uncertainty Treatment*).

L'optimisation au cœur du développement des systèmes

Pendant le processus de développement de systèmes complexes, l'optimisation apparaît principalement à trois niveaux :

- lors des étapes préliminaires de mise en place des simulateurs, pour le calage des modèles numériques sur des données expérimentales ;
- lors des étapes de conception utilisant ces simulateurs ;
- lors de la mise au point du fonctionnement des systèmes.

Dans chacune de ces étapes, il est nécessaire de prendre en compte de manière précise **toutes les entrées, avec leurs natures variées** (variables à valeurs continues, discrètes ou de catégorie, scalaires ou fonctionnelles), et les sorties souvent multiples et non linéaires. Il faut de plus intégrer des **incertitudes propres au système considéré**, à sa fabrication ou à son environnement de fonctionnement. Une difficulté supplémentaire est le temps de calcul requis pour simuler ces systèmes complexes à l'aide des modèles numériques existants. Leur utilisation répétée dans le cadre de processus d'optimisation ou d'exploration statistique conduit alors à construire des **modèles de substitution**, ou méta-modèles, moins chronophages.

Trois objectifs opérationnels

Rattaché à un programme de recherche fondamentale, le projet DOPING s'est concentré sur des verrous scientifiques affectant trois objectifs opérationnels communs aux divers domaines d'innovation d'IFPEN (Figure 1) :

1. L'**analyse de risque**, d'incertitudes et de sensibilité pour la compréhension et la maîtrise du fonctionnement des systèmes.

2. Le **calage des modèles numériques sur des données expérimentales** ou **l'assimilation de données** pour prédire le comportement du système et réduire les incertitudes associées à ces prédictions.

3. La conception optimale des systèmes intégrant des contraintes de **fiabilité** et de **robustesse**.

Figure 1 : Objectifs opérationnels

La plate-forme ATOUT

Capitaliser les résultats des travaux de recherche est généralement un enjeu essentiel dans la perspective de futurs développements. La capitalisation des méthodes développées a été réalisée au travers d'une **plate-forme interne** existante qui a été adaptée et étendue pour les multiples applications d'IFPEN, en collaboration avec la direction des Systèmes d'information et Tech'Advantage, filiale d'IFPEN. Cette plate-forme, dénommée ATOUT (*Advanced Tools for Optimization and Uncertainty Traitment*), est mise à disposition des directions de recherche et innovation pour les besoins applicatifs et permet un couplage avec des simulateurs « métier » (DeepLines™, DeepLines Wind™, FEMM, Abaqus®, PlugIm!, PumaFlow®, etc.).

Les principales thématiques de recherche

Les thématiques étudiées par le projet DOPING se situent à la croisée de différents domaines des mathématiques : l'optimisation numérique, la modélisation statistique et l'apprentissage et la quantification d'incertitudes (

Figure 2).

- La **planification d'expériences** est une étape clé pour construire des surfaces de réponses prédictives, à partir des simulateurs « boîtes noires » coûteux en temps de calcul. Le choix des points à simuler est alors guidé par l'objectif opérationnel poursuivi : analyse globale de sensibilité ou d'incertitudes, estimation de probabilité (de défaillance par exemple) [2], optimisation ou inversion [3]. Une difficulté récurrente est la prise en compte de contraintes sur les variables d'entrée, notamment les contraintes construites à partir de sorties du simulateur (contraintes « boîtes noires »), voire même des instabilités ou des échecs de simulation (contraintes « cachées »).

- La conception de technologies fiables nécessite le développement d'**outils d'analyse de risque et d'optimisation** adaptés : (i) pour l'estimation à coût de simulation limité d'événements rares tels que la rupture du mât d'une éolienne terrestre ou de l'ancrage d'une éolienne flottante [2], (ii) pour l'inversion et l'optimisation sous contraintes probabilistes [3] [4], telles que des contraintes sur les probabilités de défaillance.

- Certaines applications impliquent des variables fonctionnelles avec des dépendances spatiales ou temporelles (par exemple dans les applications sur les éoliennes : la vitesse du vent dépend du temps). Une approche classique de discrétisation de ces variables conduit à des vecteurs de grande taille. Les travaux réalisés visent à préserver la nature fonctionnelle des variables, tout en réduisant leur dimension [3][4], avant leur intégration dans un processus d'optimisation ou d'inversion.

- Dans le domaine de la conception optimale de systèmes complexes (conception de systèmes mécaniques ou de procédés de raffinage, optimisation de champ pétrolier ou de champ d'éoliennes, etc.), les problèmes d'optimisation à résoudre peuvent dépendre de variables discrètes, en plus de variables à valeurs continues décrivant les dimensions ou propriétés des différents composants [1][5][6].

Qu'est-ce qu'une variable discrète ?
Cela peut être : un nombre de composants (variables entières), des matériaux différents (variables catégorielles, généralement non ordonnées), la présence ou non de certains composants (variables binaires).

Une grande partie des résultats obtenus dans DOPING et validés sur des applications sont aujourd'hui disponibles dans la plate-forme ATOUT et ont pu être utilisés dans le cadre de projets collaboratifs et de prestations.

Figure 2 : Thématiques de recherche du projet DOPING , thèses et collaborations associées

DeTOCS prend la suite de DOPING

Les travaux de recherche engagés dans DOPING, sur ces thématiques, se poursuivent au sein du projet DeTOCS (*Design Tools for Optimization and Control of complex systems*), avec une extension du domaine d'application et de compétences au contrôle des systèmes. Le projet DETOCS se déploie au travers de plusieurs collaborations :

- des projets ANR : le projet SAMOURAI sur l'optimisation, l'analyse d'incertitudes et de fiabilité basées sur des simulations et des méta-modèles, et le projet ALEKCIA visant à développer des outils innovants pour la prédiction et l'analyse augmentées des **écoulements réactifs turbulents dans les moteurs à combustion interne à hydrogène** ;
- CIROQUO, un Consortium Industrie Recherche pour l'Optimisation et la Quantification d'incertitude pour les données Onéreuses regroupant 13 partenaires académiques, de recherche technologique et industriels ;
- une collaboration avec le laboratoire GERAD de Polytechnique Montréal (grâce à l'octroi d'une bourse Samuel de Champlain) sur la prise en compte des variables discrètes dans l'optimisation boîte noire ;
- une collaboration avec Safran pour le développement de la plate-forme *open source* LAGUN d'optimisation et d'exploration de données de simulation ;
- ainsi que plusieurs thèses dans le cadre du partenariat INRIA/IFPEN : sur l'inversion robuste avec entrées fonctionnelles et sur le contrôle par méthode d'apprentissage avec renforcement.

Contacts scientifiques : Delphine Sinoquet, habiba.boulharts@ifpen.fr

Publications

[1] Munoz Zuniga, M., and Sinoquet, D., Global Optimization for mixed categorical-continuous variables based on Gaussian process models with a randomized categorical space exploration step, 2020, INFOR: Information Systems and Operational Research, Taylor & Francis, 58, p.p.310-341, DOI:10.1080/03155986.2020.1730677, hal-02512185.
[2] Murangira, A., Munoz Zuniga, M., Perdrizet, T., Structural reliability assessment through metamodel based importance sampling with dimension reduction,2019, DOI:10.1016/j.ress.2020.107289.
[3] El Amri, M.R., Helbert, C., Lepreux, O., Munoz Zuniga, M., Prieur, C. and Sinoquet, D., Data driven stochastic inversion via functional quantization, Stat Comput, 2020, DOI:10.1007/s11222-019-09888-8, hal-0229176.
[4] Van Ackooij, W., Aleksovska, I., Munoz Zuniga, M., (Sub-)Differentiability of Probability Functions with Elliptical Distributions, 2018,Set-Valued and Variational Analysis Volume 26, Issue 4, pp 887-910, DOI:10.1007/s11228-017-0454-3, hal-02013571
[5] Poirette Y., Guiton M., Huwart G., Sinoquet D. and Leroy J-M., An optimization method for the configuration of inter array cables for floating offshore wind farm, Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE 2017, DOI:10.1115/OMAE2017-61655, hal-02284402
[6] Psaltis A., Sinoquet D. and Pagot A., Systematic optimization methodology for heat exchanger network and simultaneous process design, 2016, Computers and Chemical Engineering, DOI:10.1016/j.compchemeng.2016.09.013, hal-0145282

Concevoir, prédire et contrôler en environnement incertain
16 mars 2022

Lien vers la page web :