

# Métamodélisation et optimisation pour les dispositifs nanophotoniques

## Sujet de la thèse

La conception de dispositifs micro et nanophotoniques fait intervenir de nombreuses variables tant en terme de géométrie que de propriétés physiques des matériaux. Il s'agit d'un processus ardu, qui peut nécessiter un nombre d'essais considérable. Aussi le concepteur se tourne-t-il de plus en plus fréquemment vers l'optimisation numérique, qui permet en principe d'atteindre plus rapidement les objectifs fixés par le cahier des charges [1].

Cependant, la modélisation nécessaire à l'optimisation de ces micro-composants implique de résoudre précisément les équations de Maxwell dans un espace à trois dimensions, par des méthodes telles que la Méthode des Eléments Finis (FEM), les différences finies dans le domaine temporel (FDTD) ou la Méthode des Intégrales aux Frontières (BEM). L'utilisation directe de ces modèles haute-fidélité est très coûteuse en temps de calcul ; elle ne peut donc pas être directement intégrée dans le processus d'optimisation numérique dès que le nombre de paramètres dépasse quelques unités.

Les métamodèles ou modèles de substitution (surrogate models) [2] permettent de pallier cette difficulté : à partir d'un nombre réduit de calculs haute-fidélité, correspondant à un échantillonnage judicieusement choisi de l'espace des paramètres, le métamodèle permet d'évaluer la réponse du système à d'autres jeux de paramètres. Ainsi, après une phase d'apprentissage et de création, le métamodèle, qui est considérablement plus rapide que le modèle initial tout en conservant une précision suffisante, est utilisable pour optimiser les micro-dispositifs.

L'objectif de cette thèse est de rationaliser et systématiser la méthodologie d'optimisation numérique dans un cadre adapté aux problématiques de la nanophotonique et des capteurs optiques miniaturisés et intégrés sur silicium, de développer les logiciels associés aux procédures retenues et à leur coordination sur une plateforme adaptée, et de documenter des études de cas. Il s'agira donc de proposer de nouvelles méthodes numériques d'optimisation s'appuyant sur les métamodèles, de les tester sur des cas-tests représentatifs, de les comparer à des méthodes plus communément utilisées, de mettre en avant des éléments d'adaptation de ces méthodes et outils, et en conclusion, d'élaborer des guides à la stratégie d'optimisation numérique.

## Contexte

Ce sujet s'inscrit dans le cadre de la collaboration entre le laboratoire Laboratoire Capteurs et NANophotonique (LCNA) du CEA-LETI et l'Equipe-Projet INRIA (EPI) Opale du Centre de Recherche INRIA Sophia Antipolis Méditerranée (CRISAM).

Le CEA-LETI est un des principaux centres de recherche européens en microélectronique. Le laboratoire LCNA est spécialisé dans la conception et la caractérisation de capteurs

optiques de gaz et de composants optoélectroniques (imageurs visible et infrarouge, sources infrarouge, etc.). Pour effectuer les calculs d'optique électromagnétique, les chercheurs du laboratoire utilisent des logiciels commerciaux (FEM, FDTD, etc.) et développent si nécessaire des logiciels spécifiques (Rigorous Coupled-Wave Analysis, BEM, etc.). Une boîte à outil utilisant notamment la Proper Orthogonal Décomposition et le Krigeage, et permettant la métamodélisation multi-fidélité, a été développée sous MATLAB au laboratoire [3].

L'EPI Opale (« Optimisation, Algorithmes et intégration de systèmes complexes régis par E.D.P. ») a été créée en 2002, à la suite de l'EPI Sinus (« Simulation Numérique dans les Sciences de l'Ingénieur », 1983-2001), pour orienter nos recherches en méthodologie numérique vers l'optimisation, à un tournant de nos disciplines de compétence, alors que le progrès des outils de simulation de haute-fidélité rendait la conception optimale des systèmes complexes d'importance stratégique dans les bureaux d'études. Les domaines d'expertise sont les techniques d'approximation des E.D.P. par volumes-finis et HPC en simulation ; l'optimisation différentiable (méthodes de gradients, différentiation automatique, sensibilités) et non-différentiable (algorithmes génétiques, par essaims de particules, hybrides), les modèles de substitution (Krigeage, réseaux de neurones, etc.) et surtout les stratégies globales d'optimisation "compétition et coopération" [4-6]. Les secteurs d'application de transfert technologique sont l'aérodynamique des avions, l'hydrodynamique des bateaux, l'analyse structurale d'éléments en acier, l'électromagnétisme des antennes.

Le poste est basé à Grenoble. Le doctorant bénéficiera des logiciels et des moyens de calcul disponibles au CEA-LETI. Il effectuera des visites à Sophia Antipolis à un rythme et pour des durées à préciser.

## Références

- [1] A. Vukovic et al., J. Opt. Soc. Am. A, 27, 10, 2010.
- [2] A. Forrester et al., Engineering Design via Surrogate Modelling: A Practical Guide. John Wiley & Sons, 2008.
- [3] M. Herda et A. Glière, International Workshop on Reduced Basis, POD and PGD model, Blois, France, 2013.
- [4] J.-A. Désidéri, Computational Optimization and Applications, 52:3–28, 2012.
- [5] J.-A. Désidéri, CRAS Paris, 350:313–318, 2012.
- [6] J.-A. Désidéri et al., Am. Inst. for Aeronautics and Astronautics, in press.

## Unité d'accueil

Laboratoire Capteurs et Nanophotonique  
CEA - LETI, MINATEC Campus  
17, rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9, France

## Contact

Jean-Antoine Désidéri (HDR) Directeur de thèse C.R. INRIA S.A.M., Opale	Alain Glière (HDR) co-Directeur de thèse, encadrant CEA CEA - LETI DOPT/LCNA
+33 (0) 4 92 38 77 93 <a href="mailto:Jean-Antoine.Desideri@inria.fr">Jean-Antoine.Desideri@inria.fr</a>	+33 (0)4 38 78 37 57 <a href="mailto:alain.gliere@cea.fr">alain.gliere@cea.fr</a>