

---

## Sujet de thèse

Laboratoire: Institut Fresnel

Directeur de thèse : Nicolas Bonod

Email : nicolas.bonod@fresnel.fr

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Tel: 04-13-94-54-48

Titre: **Design inverse assisté par méthodes d'apprentissage de métasurfaces et composants photoniques**

**Description :** L'objectif de cette thèse est de développer des méthodes de design inverse capables de déterminer la structure de métasurfaces et de composants photoniques à partir d'une réponse électromagnétique connue dans l'espace des fréquences spectrales et angulaires. La méthode développée devra déterminer la structuration d'un matériau ou d'un ensemble de matériaux capable de fournir une réponse électromagnétique précise dans un intervalle spectral et angulaire [1].

**Une optimisation dans un espace des contraintes de haute dimension.** L'optimisation se réalisera ainsi dans un espace des paramètres de haute dimension qui nous conduira à intégrer et à développer des méthodes d'apprentissage pour optimiser les performances de ces composants. Le caractère dégénéré des solutions au problème design inverse se prête à l'utilisation de méthodes d'optimisation. C'est la raison pour laquelle nous couplerons ces méthodes de design inverse aux méthodes d'apprentissage [2].

**Cycles d'apprentissage.** Un design optimal est généralement obtenu par alternance de deux blocs élémentaires d'un cycle d'apprentissage. On distingue ainsi le *générateur*, permettant à partir de variables extraites du spectre cible de générer un design potentiel, ou prédiction, et le *simulateur-optimiseur* qui établit les performances des prédictions en simulant les propagations des champs, et détermine par diverses méthodes d'optimisation les modifications à apporter aux prédictions pour maximiser les performances.

Le *générateur* est limité par la conception de l'algorithme, à savoir la méthode et le modèle d'apprentissage utilisés pour obtenir les prédictions, mais aussi par l'information disponible, c'est-à-dire les variables extraites du spectre cible, utilisées comme entrée du modèle générateur. Des contraintes moins importantes existent pour le *simulateur-optimiseur*, qui est cependant chronophage et conditionne la vitesse d'apprentissage du *générateur*. L'amélioration des méthodes de design inverse peut alors se faire par accélération du *simulateur* et/ou choix de l'espace latent des variables porteuses de l'information utilisée par le *générateur* via une étude analytique poussée.

**Méthodologie.** De nombreux codes sont utilisés et développés à l'Institut Fresnel pour réaliser des simulations précises et peu coûteuses en temps. Aussi, l'objet de la thèse portera principalement sur le développement d'un générateur performant. Dans un premier temps, nous optimiserons les résonances dans les particules individuelles (méthodes modales, génétiques) qui feront ensuite office de base de décomposition des métasurfaces et fourniront un espace dont la dimension affectera la précision du générateur. La répartition de ces particules sera étudiée et optimisée pour obtenir des réponses aussi proches de certaines réponses cibles que possible par des méthodes d'apprentissage classiques. Ces répartitions serviront ensuite de base à des systèmes

encodeurs-décodeurs et exploiteront le potentiel de l'apprentissage profond [3], et notamment des réseaux de neurones convolutionnels, pour associer rapidement un spectre voulu à un design inconnu.

### **Références**

- [1] S. Molesky *et al.*, “Inverse design in nanophotonics,” *Nature Photonics* **12**, 659-670 (2018)
- [2] L. Zhaocheng *et al.*, “Generative model for the inverse design of metasurfaces,” *Nano Letters* **18**, 6570-6576 (2018)
- [3] J. Jiang, M. Chen, J.A. Fan, “Deep neural networks for the evaluation and design of photonic devices,” *Nature Reviews Materials*, 1-22 (2020)

**Mots-clés:** Nanophotonique, modélisation, design inverse, méthodes d'apprentissage