

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2025-Numéro d'ordre**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DOTA/ERIO

01.80.38.63.65  
Tél. : 01.80.38.66.88  
01.80.38.66.08

Responsable(s) du stage : Alice Fontbonne

Email : [alice.fontbonne@onera.fr](mailto:alice.fontbonne@onera.fr)

Loïc Brevault

[loic.brevault@onera.fr](mailto:loic.brevault@onera.fr)

Mathieu Balesdent

[mathieu.balesdent@onera.fr](mailto:mathieu.balesdent@onera.fr)

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Conception et optimisation des systèmes  
Optimisation de systèmes optiques et traitement de l'information

Type de stage :  Fin d'études bac+5  Master 2  Bac+2 à bac+4  Autres

### Intitulé : Comparaison d'algorithmes pour l'optimisation de systèmes d'imagerie

Sujet : Les systèmes d'imagerie sont constitués d'un système optique dont l'optimisation joue un rôle prépondérant dans l'obtention d'une image finale de bonne qualité. Aujourd'hui, les systèmes optiques sont de plus en plus complexes à optimiser, de par la démultiplication des variables liées à la représentation des surfaces optiques dites « de forme libre » (ou *freeform*). Les logiciels de conception optique propriétaires (Codev, OpticStudio, etc.) implémentent un algorithme d'optimisation basé sur le gradient (Levenberg-Marquardt [1, 2]) mais ne permettent pas aisément l'utilisation d'autres algorithmes qui pourraient s'avérer plus adaptés à l'optimisation de systèmes optiques *freeform*. En effet, on pourrait imaginer l'emploi d'algorithmes d'optimisation globale tels que Covariance Matrix Adaptation – Evolution Strategy [9]. Leur utilité reste cependant à prouver étant donné la dimensionnalité du problème, leur besoin en termes de temps de calculs, et leur capacité à gérer les contraintes du problème d'optimisation.

L'ONERA a développé une méthode basée sur un modèle optique par tracé de rayons différentiel (nommé « FORMIDABLE » [3]). Ce logiciel sous licence ESCL et écrit en Julia présente plusieurs avantages. D'une part, il est interfaçable avec des bibliothèques externes en Python (e.g., *scipy*) ce qui permet d'envisager l'utilisation d'algorithmes d'optimisation qui bénéficieraient de la nature différentiable du tracé. D'autre part, les surfaces *freeform* dites « NURBS » (pour *Non-Uniform Rational B-Splines* [4]) y sont implémentées. Cette représentation de surface est encore peu utilisée en conception optique mais s'avère prometteuse car elle permet un contrôle fin de la correction du front d'onde. En contrepartie, le nombre de degrés de liberté est également plus important. L'optimisation des surfaces NURBS est donc à ce jour un point crucial de la conception des futurs systèmes d'imagerie.

En se basant sur les bibliothèques OpenTURNS [5] et OPTUNA [10] mettant à disposition de nombreux algorithmes d'optimisation (avec et sans gradient) [6], les objectifs principaux du stage sont :

- De vérifier, à l'aide de FORMIDABLE, les résultats obtenus dans la littérature [7, 8] concernant l'optimisation de systèmes optiques conventionnels ;
- De compléter l'état de l'art sur l'optimisation de systèmes à grand nombre de variables ;
- De réaliser une étude systématique des algorithmes d'optimisation en utilisant des surfaces NURBS ;
- D'hybrider les algorithmes d'optimisation pour effectuer une recherche globale tout en bénéficiant de l'information sur le gradient [12] ;
- De proposer d'autres algorithmes pour étendre le problème d'optimisation, par exemple être capable de gérer des variables discrètes (indice des matériaux) [11, 12], ou plusieurs critères d'optimisation [13] (métriques liées à la conception optique/traitement d'images par exemple).

Les résultats obtenus pourront être soumis dans un journal à l'issue de ce stage.

Références :

- [1] Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*, 2(2), 164–168. <https://doi.org/10.1090/qam/10666>
- [2] Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for Least-Squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431–441. <https://doi.org/10.1137/0111030>
- [3] Volatier, J. (2023). Implementation of FORMIDABLE: a generalized differential optical design library with NURBS capabilities. *Journal of the European Optical Society. Rapid Publications*. <https://doi.org/10.1051/jeos/2023043>
- [4] Chrisp, M. P. (2014). New freeform NURBS imaging design code. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.2073081>
- [5] Baudin, M., Dufloy, A., Iooss, B., & Popelin, A. (2015). Open TURNS: An industrial software for uncertainty quantification in simulation. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1501.05242>
- [6] [https://openturns.github.io/openturns/latest/user\\_manual/optimization.html#](https://openturns.github.io/openturns/latest/user_manual/optimization.html#)
- [7] Houllier, T., & Lépine, T. (2019). Comparing optimization algorithms for conventional and freeform optical design. *Optics Express*, 27(13), 18940. <https://doi.org/10.1364/oe.27.018940>
- [8] Sahin, F. E. (2019). Open-source optimization algorithms for optical design. *Optik*, 178, 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.10.073>
- [9] Hansen, N., Müller, S. D., & Koumoutsakos, P. (2003). Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (CMA-ES). *Evolutionary computation*, 11(1), 1-18.
- [10] Takuya Akiba, Shotaro Sano, Toshihiko Yanase, Takeru Ohta, and Masanori Koyama. 2019. Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework. In KDD.
- [11] R. Hamano, S. Saito, M. Nomura, S. Shirakawa. CMA-ES with Margin: Lower-Bounding Marginal Probability for Mixed-Integer Black-Box Optimization, GECCO. 2022.
- [12] Marty, T., Héron, S., Semet, Y., Auger, A., & Hansen, N. (2024). Glass optimization for optical design: CMA-ES optimizer with integer handling. Proc. SPIE PC13023, Computational Optics 2024, PC1302304. <https://doi.org/10.1117/12.3016937>
- [13] Noel, M. M. (2012). A new gradient based particle swarm optimization algorithm for accurate computation of global minimum. *Applied Soft Computing*, 12(1), 353-359.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

**Méthodes à mettre en œuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique            | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

**Durée du stage :** Minimum : 4 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Février – Août 2025

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis : Mathématiques appliquées, optimisation Des connaissances en Python et/ou Julia seraient appréciées Un intérêt pour la conception optique serait un plus.	Ecoles ou établissements souhaités : Ecole d'ingénieur ou master 2 recherche
---	---