

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2026-17**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DOTA/ERIO

Tél. : 01.80.38.63.65
01.80.38.64.13

Responsable(s) du stage :
Alice Fontbonne, Guillaume Druart

Email : alice.fontbonne@onera.fr,
guillaume.druart@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 : Tolérancement de systèmes d'imagerie dans un traceur de rayons différentiable

Sujet :

La conception optique est un domaine complexe en constante évolution, stimulée récemment par l'émergence de traceurs de rayons différentiables qui ouvrent de nouvelles perspectives de design. Ces avancées accentuent les défis traditionnels de la conception optique, et permettront d'améliorer le processus global de conception. Celui-ci se fait généralement en plusieurs étapes : recherche d'un point de départ adapté au cahier des charges, optimisation avec modifications itératives de la fonction de mérite, puis tolérancement de la solution. Si les performances du système optique sont insuffisantes dans les bornes de tolérancement, le processus d'optimisation doit être recommencé. Cela rend nécessaire la bonne définition de ses bornes de tolérancement, pour ne pas qu'elles soient trop contraignantes, et une bonne expérience du concepteur en optique, pour converger vers une solution réalisable. En effet, le tolérancement permet de prédire les performances réelles du système tel qu'il est construit et de guider la fabrication et l'assemblage du système optique réel [Lamontagne2022, Blanchard2024]. Un des enjeux majeurs de la conception optique est d'inclure le tolérancement dès la conception optique afin de mieux cibler la fabrication et de réduire les coûts de production inutiles.

L'association « Freeform Optics – Recherche & Solutions » (FO-RS) regroupe des entreprises et des établissements académiques (parmi eux, l'ONERA) désireux de joindre leurs efforts pour promouvoir et faire progresser les connaissances dans la conception, la modélisation, la fabrication, la métrologie et l'intégration de composants optiques dites « de formes libres » (*freeform*). Les systèmes d'imagerie ont des exigences plus élevées en ce qui concerne la précision des surfaces *freeform*, et les méthodes de modélisation et de tolérancement de ces surfaces sont encore en cours d'étude [Ni2019]. En effet la communauté manque encore d'expérience pour converger vers les systèmes les plus tolérants. L'ONERA a développé une méthode basée sur un modèle optique par tracé de rayons différentiel (nommé « FORMIDABLE » [Volatier2023]). Ce logiciel sous licence ESCL et écrit en Julia présente plusieurs avantages, notamment le fait que les surfaces *freeform* décrites localement par des « NURBS » (pour Non-Uniform Rational B-Splines [Chrisp2014]) 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 degré de liberté est également plus important, et leur tolérancement est encore peu étudié.

L'objectif du stage est double : développer sous FORMIDABLE des outils de tolérancement performants adaptés aux optiques *freeform* et utiliser l'expertise des industriels de FO-RS pour intégrer une base de données de tolérances liées à la fabricabilité des optiques [Kauffman2022, Deng2022]. Pour répondre à ces objectifs, le stage se déroulera en plusieurs étapes clés :

- Etude bibliographique sur le tolérancement des optiques ;
- Prise en main et amélioration des outils dédiés au tolérancement dans FORMIDABLE ;
- Discussions auprès de FO-RS pour l'intégration de contraintes de tolérancement spécifiques aux machines d'usinage et montages optomécaniques ;
- Mise en place d'un cas d'étude simple (Triplet de Cooke) ;
- Mise en place d'un cas d'étude complexe intégrant des surfaces NURBS.

Références :

[Chrisp2014] 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>.

[Ni2019] Junhao Ni, Tong Yang, Yue Liu, Dewen Cheng, and Yongtian Wang, "Description and tolerance analysis of freeform surface figure error using specific-probability-distributed Gaussian radial basis functions," *Opt. Express* 27, 31820-31839 (2019).

[Kaufman2022] Morris I. Kaufman, Robert M. Malone, Daniel K. Frayer, Gavin O. Griffin, Brandon B. Light, "How to use manufacturing statistics when tolerancing a lens system," *Proc. SPIE 12222, Optical System Alignment, Tolerancing, and Verification XIV*, 122220F (2022); <https://doi.org/10.1117/12.2632109>.

[Deng2022] Yuting Deng, Yilin Tan, Xiaofei Wu, and Jun Zhu, "Local tolerance and quality evaluation for optical surfaces," *Optica* 9, 1039-1049 (2022).

[Lamontagne2022] Frédéric Lamontagne, Nathalie Blanchard, Simon Paradis, Nichola Desnoyers, "Integrated opto-mechanical tolerance analysis," *Proc. SPIE 12222, Optical System Alignment, Tolerancing, and Verification XIV*, 122220G (2022); <https://doi.org/10.1117/12.2633388>.

[Volatier2023] 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>.

[Blanchard2024] Nathalie Blanchard, Frédéric Lamontagne, Michel Doucet, "Optical tolerances analysis methodology using realistic optomechanical models," *Proc. SPIE 13019, Optical Design and Engineering IX*, 130190D (2024); <https://doi.org/10.1117/12.3017649>.

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

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| ☐ Recherche théorique | ☐ Travail de synthèse |
| ☒ Recherche appliquée | ☐ Travail de documentation |
| ☐ Recherche expérimentale | ☐ Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : Février – Août 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Conception optique, tolérancement, programmation. Des connaissances en Python et/ou Julia seraient appréciées. Des aptitudes pour la communication avec des industriels et professionnels en conception optique sont attendues. Un intérêt pour les mathématiques appliquées et l'optimisation serait un plus.	Ecoles ou établissements souhaités : Ecole d'ingénieur ou master 2 recherche
---	---