

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2025-28**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Chatillon

Département/Dir./Serv. : DOTA

Tél. : 01 46 73 47 86

Responsable(s) du stage : Krafft Léa, Meimon Serge

Email : lea.krafft@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Imagerie subaquatique

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

Intitulé : Voir à travers les eaux turbides : Traitements numériques et analyse de données expérimentales.

Sujet :

Augmenter la portée des systèmes de détection et d'imagerie d'objets immergés dans les eaux turbides (contenant des particules absorbantes/diffusantes) pourrait avoir des retombées significatives dans divers secteurs à la fois industriels (travaux sous-marins, oil & gas, énergies marines renouvelables, câbles et pipelines...), militaires (guerre des mines, surveillance...) et scientifiques (biologie, archéologie...).

Ce projet se confronte à une problématique scientifique de taille : la maîtrise de la propagation des ondes électromagnétiques à travers le milieu subaquatique complexe, à la fois aberré et diffusant.

Lorsqu'un faisceau lumineux est émis pour illuminer l'objet immergé, des effets de turbulence optique (variation de l'indice de réfraction) dépendant de la température et le taux de salinité du milieu déforment le front d'onde et dégradent la résolution d'imagerie. Lors de sa propagation, le faisceau se divise en trois composantes : balistique, serpentine et diffuse. Alors que la composante balistique est utilisée pour l'imagerie, la composante diffuse (ou la diffusion multiple) ne peut pas être exploitée et génère un bruit qui réduit considérablement le contraste de l'image.

Ces effets restreignent la portée des systèmes de détection à quelques dizaines de mètres dans les cas les plus favorables (eau claire). Compenser les effets de turbulence pour pouvoir exploiter les photons serpentines et utiliser des méthodes de filtrage pour minimiser la composante multidiffusées à la détection ont potentiel à étendre d'un facteur 10 la portée.

L'équipe Haute Résolution Angulaire (HRA) de l'ONERA, spécialiste en propagation optique et en maîtrise de surface d'onde s'est saisie de cette problématique.

L'objectif est de mettre à profit les développements récents menés par l'unité HRA et par des équipes de l'Institut Langevin en imagerie biomédicale pour répondre aux défis de la propagation et l'imagerie à travers les milieux turbides. Des travaux en collaboration entre HRA et ces équipes de l'Institut Langevin sont en cours afin d'adapter trois approches expérimentales pour l'imagerie en milieu subaquatique.

- La première approche consiste à caractériser la contribution des photons multidiffusés avec un dispositif d'imagerie incohérente plein champ (détection avec une caméra) et à évaluer son évolution avec le degré de filtrage spatial appliqué par ce dispositif. Il s'agit d'intégrer à un microscope plein champ un module d'illumination par projection de motifs avec un DMD (matrice de micromiroirs) [1]. Une illumination partielle du champ avec un tel dispositif permet de réduire la contribution des photons multidiffusés sur les zones illuminées et d'augmenter ainsi le contraste d'imagerie. La reconstruction du champ total est obtenue après application d'un filtrage spatial numérique selon la méthode décrite dans Krafft et al. [1]. Cette étude comprend l'application de ces traitements numériques pour le filtrage spatial et la reconstruction du champ à partir des images obtenues au cours de l'expérience en milieu turbide, la mesure du flux multidiffusé détecté par la caméra d'imagerie et l'analyse de sa distribution spatiale (en transmission et réflexion). L'étude porte également sur la mesure du contraste de l'objet imagé à travers ce milieu, en fonction des différents degrés de filtrage spatial appliqués. Ces résultats pourront être corrélés avec des modèles analytiques et des simulations de la diffusion faisant l'objet de travaux antérieurs.
- Nous nous proposons également d'étudier une méthode d'imagerie interférométrique qui associe filtrage temporel et détection cohérente pour discriminer la contribution du fond multidiffusé par rapport au signal d'intérêt. La méthode investiguée est l'holographie Doppler [2] qui exploite l'effet Doppler pour visualiser des

phénomènes dynamiques. Dans le cadre de l'imagerie de la rétine, des travaux ont par ailleurs démontré l'intérêt de cette technique pour mesurer le flux sanguin dans les vaisseaux. Un dispositif expérimental, ainsi que des moyens de calcul adaptés sont mis en œuvre pour l'imagerie des hélices d'un drone à travers un milieu turbide. Il s'agit d'exploiter les données préalablement traitées par des algorithmes de calcul numérique, afin de décrire le mouvement des hélices et d'extraire des données quantifiées sur leur vitesse de rotation.

- De plus, la correction de front d'onde par wavefront shaping [3] pour la focalisation en milieu subaquatique fait également l'objet d'une thèse en cours. Dans cette démarche, on s'attachera à apporter des données quantitatives sur les performances de correction par wavefront shaping du dispositif expérimental conçu et mis en œuvre dans le cadre de cette thèse. Cette étude intégrera entre autres des mesures avant et après correction de la quantité de flux optique transmis à travers le milieu turbide et l'acquisition de la fonction d'étalement du point.

Ces trois approches expérimentales sont en mesure de produire des données nécessitant une démarche d'exploitation et d'analyse soutenue. Dans le cadre de ce stage, il s'agira pour le ou la candidat.e de traiter les données acquises avant le stage et de conduire un travail d'analyse sur l'efficacité d'une de ces trois approches. En fonction de l'avancement des travaux l'étudiant(e) pourra étendre sa démarche d'analyse à une approche complémentaire dans la perspective de pouvoir à terme les comparer. L'étude des données obtenues avec le système de wavefront shaping sera effectuée en binôme avec le doctorant. Pour chacune des approches considérées, le ou la candidat.e bénéficiera des librairies existantes développées au cours des travaux antérieurs en particulier dans le domaine biomédical. Les dispositifs expérimentaux seront mis à disposition du ou de la candidat.e pour lui permettre de mieux comprendre le fonctionnement des différentes approches et pour compléter les données obtenues antérieurement avec des mesures de calibration des systèmes étudiés.

Bibliographie :

[1] Léa Krafft, Elena Gofas-Salas, Yann Lai-Tim, Michel Paques, Laurent Mugnier, Olivier Thouvenin, Pedro Mecê, and Serge Meimon, "Partial-field illumination ophthalmoscope: improving the contrast of a camera-based retinal imager," Appl. Opt. 60, 9951-9956 (2021).

[2] Léo Puyo, Clémentine David, Rana Saad, Sami Saad, Josselin Gautier, José Alain Sahel, Vincent Borderie, Michel Paques, and Michael Atlan, "Laser Doppler holography of the anterior segment for blood flow imaging, eye tracking, and transparency assessment," Biomed. Opt. Express 12, 4478-4495 (2021).

[3] Gigan, S., Katz, O., de Aguiar, H. B., Andresen, E., Aubry, A., Bertolotti, J., ... & Yilmaz, H. (2022). Roadmap on Wavefront Shaping and deep imaging in complex media. Journal of Physics: Photonics.

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

Méthodes à mettre en oeuvre :

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

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : mars à juillet 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :
M2

Ecoles ou établissements souhaités :
M2 recherche ou Ecole d'Ingénieur