

## Stage : Imagerie micro-Doppler computationnelle des processus dynamiques de la rétine via tomographie par cohérence optique holographique dans l'axe en domaine temporel.

CNRS UMR 7587 - ESPCI - Institut Langevin, 75005 Paris. Hôpital des XV-XX, 75012 Paris. Institut de la vision, 75012 Paris. Hôpital Fondation Rothschild 75019 Paris. Fondation Digital Holography 75005 Paris. The University of Pittsburgh Medical Center (UPMC), Pennsylvania, United States. Contact : Michael Atlan. [micatlan@gmail.com](mailto:micatlan@gmail.com)

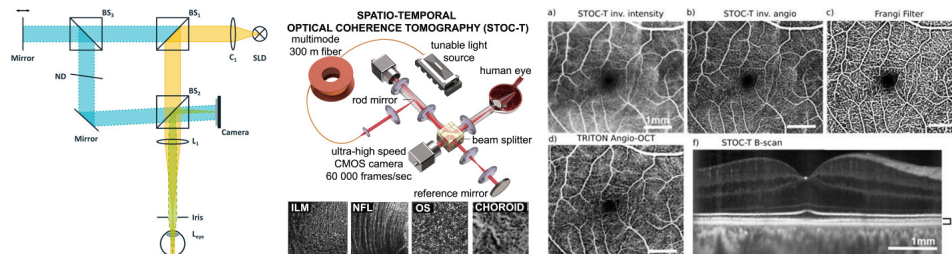


Fig. OCT dans le domaine temporel par holographie hors axe [1] (à gauche). Mise en forme du faisceau de lumière cohérente via une fibre multimode (STOC-T) [2] (au milieu). Angiographies par STOC-T [5] (à droite).

**Objectif:** Nous réalisons un dispositif d'imagerie cohérente de la rétine humaine, basé sur la tomographie par cohérence optique (OCT) temporelle, combinant un faisceau de lumière émis par une diode superluminescente et une détection holographique sur caméra, via un interféromètre de Michelson. L'analyse en valeurs singulières (SVD) est utilisée pour révéler le signal issu d'interférences dans l'axe. Le faisceau d'illumination (et de référence) traverse une fibre multimode, réduisant la contribution de la lumière multidiffusée par filtrage optique.

**Approche:** La source de lumière est une diode superluminescente proche infrarouge, offrant une cohérence spatiale élevée et une faible longueur de cohérence temporelle. Un OCT holographique dans le domaine temporel [1] est mis en œuvre en capturant des figures d'interférence sur une caméra ultra-rapide, par interférométrie de Michelson [2]. Ces interférences résultent du battement entre l'image défocalisée de l'objet et une onde de référence [3]. Le traitement numérique des signaux exploite une analyse en valeurs singulières [4], permettant de filtrer les artefacts comme les auto-battements et les images fantômes qui se recouvrent dans la configuration d'interférométrie dans l'axe. Afin de supprimer la diaphonie cohérente générée par les chemins optiques aléatoires dans les couches diffusantes de la rétine, la technique de mise en forme de faisceau via une fibre multimode du STOC-T [2] est mise en œuvre. Une analyse de Fourier est utilisée pour révéler les dynamiques de la rétine dans des images en coupe [4], aux temps  $\sim 500$  fois plus courts que l'OCT swept source [5].

**Mission et profil:** Les étudiants participeront à l'élaboration d'un prototype d'appareil d'imagerie rétinienne. Les tâches incluront la formation d'images cohérentes par propagation d'ondes, l'analyse des fluctuations, le filtrage statistique et la correction numérique des aberrations optiques. Ce traitement du signal sera réalisé sous Matlab, en utilisant les routines disponibles sur <https://github.com/DigitalHolography>.

### Références:

- [1] Helge Sudkamp, & al., "In-vivo retinal imaging with off-axis full-field time-domain optical coherence tomography," *Opt. Lett.* 41, 4987-4990 (2016)
- [2] Egidijus Aukorius, & al., Spatio-temporal optical coherence tomography provides full thickness imaging of the chorioretinal complex, *iScience*, Volume 25, Issue 12, 2022, 105513.
- [3] Austėja Trečiokaitė, & al., "Time-domain full-field optical coherence tomography with a digital defocus correction," *Opt. Lett.* 49, 2605-2608 (2024)
- [4] Puyo L., & al. Spatio-temporal filtering in laser Doppler holography for retinal blood flow imaging. *Biomed Opt Express*. 2020 May 26;11(6):3274-3287. doi: 10.1364/BOE.392699.
- [5] Kamil Liżewski, & al., Imaging the retinal and choroidal vasculature using STOC-T, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, Volume 44, Issue 1, 2024.

## Internship : Computational Micro-Doppler imaging of dynamic processes in the Human Retina via Time-Domain On-Axis Holographic Optical Coherence Tomography.

CNRS UMR 7587 - ESPCI - Institut Langevin, 75005 Paris. Hôpital des XV-XX, 75012 Paris. Institut de la vision, 75012 Paris. Hôpital Fondation Rothschild 75019 Paris. Fondation Digital Holography 75005 Paris. The University of Pittsburgh Medical Center (UPMC), Pennsylvania, United States. Contact : Michael Atlan. [micatlan@gmail.com](mailto:micatlan@gmail.com)

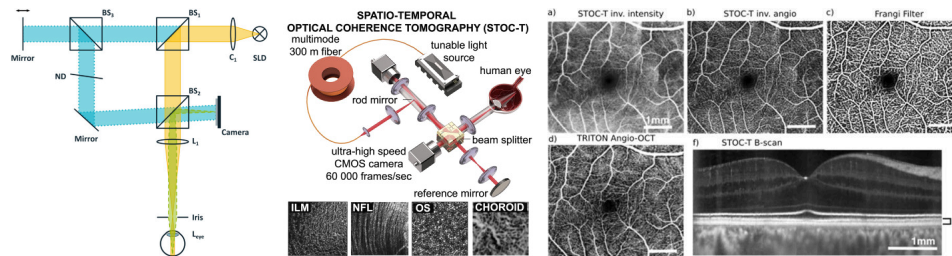


Fig. Time-domain OCT by off-axis holography [1] (on the left). Shaping of the coherent light beam via a multimode fiber (STOC-T) [2] (in the middle). STOC-T angiographies [5] (on the right).

**Objective:** We are developing a coherent imaging device for the human retina, based on time-domain Optical Coherence Tomography (OCT), combining a light beam emitted by a superluminescent diode and holographic detection on a camera, through a Michelson interferometer. Singular value decomposition (SVD) analysis is used to reveal the interference signal in the axial direction. The illumination (and reference) beam passes through a multimode fiber, reducing multiple scattered light contributions through optical filtering.

**Approach:** The light source is a near-infrared superluminescent diode, providing high spatial coherence and low temporal coherence length. A time-domain holographic OCT [1] is implemented by capturing interference patterns on an ultra-fast camera using Michelson interferometry [2]. These interferences result from the beating between the defocused image of the object and a reference wave [3]. The digital signal processing utilizes singular value decomposition analysis [4] to filter artifacts such as self-beatings and overlapping ghost images that appear in the on-axis interferometry configuration. To suppress coherent crosstalk generated by random optical paths in the scattering layers of the retina, the beam shaping technique via a multimode fiber from STOC-T [2] is implemented. A short-time Fourier analysis is used to reveal retinal dynamics in cross-sectional images [4], at times approximately 500 times shorter than swept-source OCT [5].

**Mission and Profile:** The students will participate in the development of a prototype retinal imaging device. Tasks will include coherent image formation through wave propagation, fluctuation analysis, statistical filtering, and digital correction of optical aberrations. This signal processing will be conducted using Matlab, using the routines available at <https://github.com/DigitalHolography>.

### References

- [1] Helge Sudkamp, & al., "In-vivo retinal imaging with off-axis full-field time-domain optical coherence tomography," *Opt. Lett.* 41, 4987-4990 (2016)
- [2] Egidijus Aukorius, & al., Spatio-temporal optical coherence tomography provides full thickness imaging of the chorioretinal complex, *iScience*, Volume 25, Issue 12, 2022, 105513.
- [3] Austėja Trečiokaitė, & al., "Time-domain full-field optical coherence tomography with a digital defocus correction," *Opt. Lett.* 49, 2605-2608 (2024)
- [4] Puyo L., & al. Spatio-temporal filtering in laser Doppler holography for retinal blood flow imaging. *Biomed Opt Express*. 2020 May 26;11(6):3274-3287. doi: 10.1364/BOE.392699.
- [5] Kamil Liżewski, & al., Imaging the retinal and choroidal vasculature using STOC-T, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, Volume 44, Issue 1, 2024.