

## Sujet de thèse

Laboratoire: Institut Fresnel

Directeur de thèse : Ali Khalighi

Email : [Ali.Khalighi@fresnel.fr](mailto:Ali.Khalighi@fresnel.fr)

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

Tel : 04 13 94 54 35

**Titre :**

## Optimisation des liaisons satellitaires laser avec l'intelligence artificielle

**Description :**

**Contexte :**

La demande croissante pour la connectivité massive dans les applications relevant de l'Internet-des-objets (IoT), ainsi que pour l'accès universel à l'Internet haut débit, suscite un intérêt croissant pour le déploiement de petits satellites en orbite basse (LEO). Le principal avantage de ces satellites est leurs faibles coûts de développement et de lancement par rapport aux satellites en orbite géostationnaire (GEO). Plusieurs projets ambitieux tels que Starlink de SpaceX, Kuiper d'Amazon, ou encore OneWeb d'Airbus, sont en phase de déploiement pour mettre en place un réseau de communication global au niveau de la planète nécessitant le lancement de milliers de microsattellites dans les orbites basses [1]. De tels réseaux satellitaires à très haut débit (Very High Throughput Satellite, VHTS), pourront ainsi répondre aux besoins substantiels en trafic des données [2].

Malgré les avantages précédemment cités, les microsattellites ont des capacités et des ressources (énergétique, calcul, etc.) limitées. La gestion des besoins grandissants en débit de transmission et en trafic de données rend alors nécessaire le développement de solutions performantes et robustes permettant des liaisons de transmission très haut-débit entre les satellites mais aussi entre les satellites et les stations terrestres. Dans ce contexte, la technologie d'optique en espace libre (FSO, Free-Space Optics) permet à la nouvelle génération des réseaux satellitaires de transmettre des données avec des débits très élevés, en toute sécurité, et sur de très longues distances [3]. Le schéma de la Figure 1 montre les liaisons FSO entre les microsattellites LEO pour une constellation de type Starlink, par exemple [4].

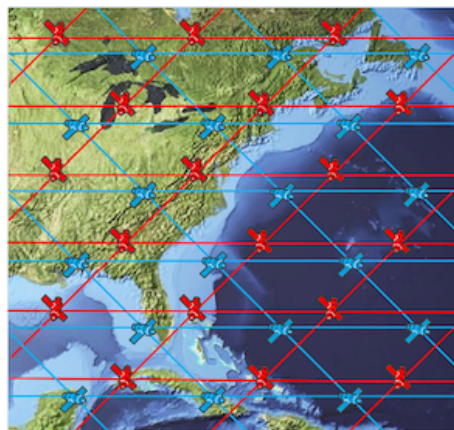


Figure 1 : Liaisons laser entre les microsattellites dans une méga-constellation LEO [4].

### Problématiques et objectifs de la thèse :

En pratique, la mise en place de telles liaisons s'associe avec plusieurs challenges en matière de (a) fiabilité des liaisons et de (b) gestion de ressources au niveau des microsattellites.

En effet, il est primordial de réduire l'impact des erreurs de pointage (c'est-à-dire, le mauvais alignement entre l'émetteur et le récepteur) et de turbulences atmosphériques pour assurer des liaisons fiables. Ceci est le cas pour les liaisons FSO « uplink » aussi bien que pour les liaisons FSO bidirectionnels (« uplink » et « downlink »), cf. la Figure 2. Aussi, la distribution irrégulière des utilisateurs (sur Terre) et la variabilité des connexions (et donc du trafic de données au cours de la journée) appellent à la conception de nouvelles architectures efficaces pour l'allocation flexible des ressources nécessaires en fonction du trafic demandé [5].

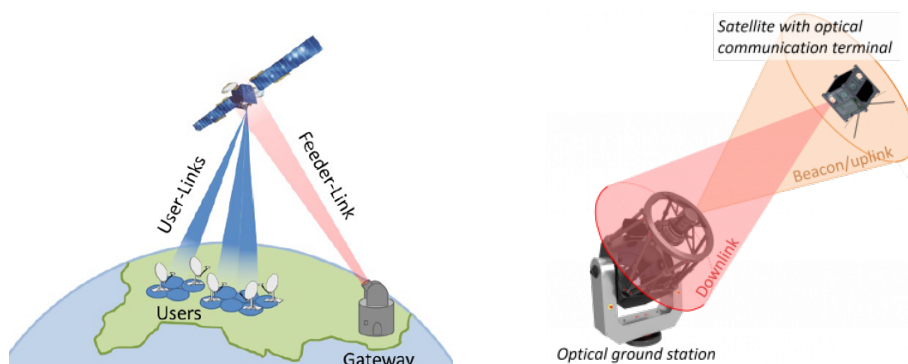


Figure 1 : Illustrations des liaisons laser en uplink (gauche) et bidirectionnel (droite).

(a) Le premier objectif de la thèse est de proposer des solutions de correction de pointage du faisceau laser pour établir des liaisons de communication à grande fiabilité entre les microsattellites [6]. Ces solutions doivent prendre en compte les conditions atmosphériques ainsi que les vibrations des payloads. L'accent sera mis sur les méthodes adaptatives basées sur l'intelligence artificielle (machine learning) [7]. (b) Dans un deuxième temps, on proposera des stratégies d'allocation de ressources automatisées au moyen de l'apprentissage automatique (deep learning) dans le but d'augmenter la capacité des liaisons satellite-Terre [8].

### Collaborations :

Cette thèse sera réalisée en collaboration étroite avec les chercheurs des Universités d'Édimbourg (Ecosse) et d'Alto (Finlande) avec des séjours courte-durée prévus le long de la thèse. Elle bénéficiera également d'un réseau de collaboration international sur les communications spatiales dans le cadre du projet *COST Action CA19111 NEWFOCUS* coordonné par l'Institut Fresnel. Aussi, ce travail se réalisera avec des échanges réguliers avec nos partenaires industriels.

### Compétences requises :

Une base solide en optique et en traitement du signal est un atout important. Une expérience ou formation en transmissions numériques sera aussi la bienvenue. Le(la) candidat(e) doit **impérativement** avoir un très bon niveau d'anglais (expressions orale et écrite) et prêt(e) pour des séjours courte-durée dans les laboratoires partenaires.

### Références bibliographiques :

[1] S. Clark, SpaceX smashes record with launch of 143 small satellites, SPACEFLIGHTNOW, 24 Jan. 2021, <https://spaceflightnow.com/2021/01/24/spacex-launches-record-setting-rideshare-mission-with-143-small-satellites/>

- [2] N. U. L. Hassan et al., "Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies," *IEEE Wireless Communications*, 2020
- [3] M.A. Khalighi, M. Uysal, "Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014
- [4] A. U. Chaudhry, H. Yanikomeroglu, "Free space optics for next-generation satellite networks," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2020.
- [5] B. Deng et al., "The Next Generation Heterogeneous Satellite Communication Networks: Integration of Resource Management and Deep Reinforcement Learning," *IEEE Wireless Communications*, 2020
- [6] S. Huang and M. Safari, "Free-Space Optical Communication Impaired by Angular Fluctuations," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7475-7487, Nov. 2017.
- [7] M. Fernandes et al., "Adaptive optical beam alignment and link protection switching for 5G over-FSO," *Optics Express* 2021
- [8] F. G. Ortiz-Gomez et al., "Convolutional Neural Networks for Flexible Payload Management in VHTS Systems," in *IEEE Systems Journal*, Sept. 2021