

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

Monsieur MOHAMED NENNOUCHE est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE de MARSEILLE

Le jeudi 20 novembre 2025 à 14h00

Lieu : Salle Amphithéâtre Alexandrie, IUT Aix-Marseille Université - département Réseaux et Télécommunications, 163 avenue de Luminy, Case 920, 13288 Marseille cedex 9

Titre : **Communication optique sans fil pour la collecte de données sous-marines : modélisation des canaux et intégration de l'intelligence artificielle**

Ecole doctorale : ED 184 - Mathématiques et Informatique de Marseille

Spécialité : Mathématiques

Composition du jury :

M. Mohammad-Ali KHALIGHI	Ecole Centrale Méditerranée	Co-directeur de thèse
Mme Nadège THIRION-MOREAU	Aix-Marseille Université, laboratoire d'informatique et des systèmes	Présidente
M. Laurent ROS	Université Grenoble-Alpes, GIPSA Lab	Rapporteur
M. Pascal CHARGÉ	Université de Nantes, Institut d'Electronique et des Technologies du numérique	Rapporteur
M. Djamal MERAD	Aix-Marseille université, Laboratoire d'Informatique et des Systèmes	Examineur
M. Alexis DOWHUSZKO	Aalto University, Department of Information & Communication Engineering	Examineur

Résumé (FR)

L'émergence de l'Internet des objets sous-marins, ainsi que l'intérêt croissant pour la surveillance des écosystèmes aquatiques, ont renforcé le besoin des systèmes de communication sous-marine performants. Dans ce contexte, les communications optiques sans-fil présentent de nombreux atouts : un débit de transmission potentiellement élevé, une faible latence, une bonne efficacité énergétique et un impact environnemental réduit. Cependant, ces systèmes doivent relever plusieurs défis liés à l'environnement sous-marin, tels que l'absorption et la diffusion de la lumière, les erreurs de pointage, ou encore les turbulences océaniques. Ces contraintes nécessitent la mise en œuvre d'approches innovantes pour garantir une communication fiable et efficace. Cette thèse porte sur la collecte de données issues de capteurs sous-marins à l'aide de liaisons optiques sans fil, avec un accent particulier sur la surveillance des récifs coralliens et d'autres écosystèmes marins sensibles. Elle explore deux scénarios de transmission : l'un à faible débit, adapté à l'envoi de données basiques, et l'autre à haut débit, destiné à la transmission d'images ou de vidéos. Dans un premier temps, nous proposons une approche novatrice consistant en la transmission directe (sans passer par un nœud de relais en surface) des données collectées par un capteur sous-marin vers un drone en vol stationnaire à quelques mètres au-dessus de la surface de l'eau. Une modélisation physique complète du canal de transmission mer-air est présentée, prenant en compte

les effets d'absorption et de diffusion dans l'eau, l'influence des vagues et des bulles d'air générées en surface, ainsi que les vibrations du drone induites par le vent. Dans un second temps, afin de répondre à des cas d'usage nécessitant une transmission haut-débit (notamment pour l'envoi d'images), nous explorons l'apport de techniques d'intelligence artificielle pour améliorer les performances des liaisons optiques sous-marines. Nous proposons tout d'abord un démodulateur basé sur l'algorithme KNN (K-Nearest Neighbors), démontrant de très bonnes performances même à de faibles puissances optiques reçues, tout en maintenant une complexité de calcul modérée. Enfin, pour aller plus loin, nous étudions l'application des communications sémantiques basées sur des autoencodeurs variationnels pour la transmission d'images sous-marines. Cette approche se révèle significativement plus robuste que les méthodes conventionnelles, telles que la combinaison compression/correction d'erreurs, notamment sur de longues distances et en présence de turbulences océaniques.

Mots-clés : Communications optiques sous-marines, Intelligence artificielle, Télécommunications, Modélisation du canal de transmission, IA générative

Abstract (EN)

The emergence of the Internet of Underwater Things, as well as the growing interest in the monitoring of aquatic ecosystems, has reinforced the need for efficient underwater communication systems. In this context, wireless optical communications offer many advantages: potentially high transmission rates, low latency, good energy efficiency, and reduced environmental impact. However, these systems must face several challenges related to the underwater environment, such as light absorption and scattering, pointing errors, and oceanic turbulence. These constraints require the implementation of innovative approaches to ensure reliable and efficient communication. This thesis focuses on the collection of data from underwater sensors using wireless optical links, with particular emphasis on the monitoring of coral reefs and other sensitive marine ecosystems. It explores two transmission scenarios: one with low data rate, suitable for sending basic data, and another with high data rate, intended for the transmission of images or videos. First, we propose an innovative approach consisting of the direct transmission (without passing through a relay node on the surface) of the data collected by an underwater sensor to a drone hovering a few meters above the water surface. A complete physical modeling of the sea-air transmission channel is presented, taking into account the effects of absorption and scattering in water, the presence of waves and air bubbles generated by wind at the surface, as well as the vibrations of the drone due to variations in wind speed. In a second step, in order to address use cases requiring high data rate transmission (in particular for the sending of images), we explore the contribution of artificial intelligence techniques to improve the performance of underwater optical links. We first propose a demodulator based on the KNN (K-Nearest Neighbors) algorithm, showing very good performance even at low received optical powers, while maintaining moderate computational complexity. Finally, to go further, we study the application of semantic communications based on variational autoencoders for the transmission of underwater images. This approach proves to be significantly more robust than conventional methods, such as the combination of compression and error correction, particularly over long distances and in the presence of oceanic turbulence.

Keywords: Underwater wireless optical communications, Artificial intelligence, Telecommunication, Channel modeling, Generative AI