

## Contrat doctoral – ED Galilée

**Titre du sujet :** Étude et Analyse de l'impact des systèmes MIMO Holographiques sur l'optimisation de l'allocation des ressources dans les réseaux 5G

- Unité de recherche : Laboratoire L2TI (UR 3043) et Laboratoire LAGA
- Discipline : Réseaux et Télécommunication
- Direction de thèse : Pr. Fayssal Benkhaldoun (Directeur) & Mohamed Amine Ouamri (Co-directeur)
- Contact : [mohamedamine.ouamri@univ-paris13.fr](mailto:mohamedamine.ouamri@univ-paris13.fr)
- Domaine de recherche : Réseaux informatique et télécoms
- Mots clés : Apprentissage profond, , réseaux 5G/6G, Allocation de resouces, réseaux informatiques et/ou télécoms

### Description du sujet

Les réseaux 5G représentent une évolution majeure des systèmes de communication mobile, introduisant une forte hétérogénéité des services avec notamment l'eMBB (enhanced Mobile Broadband), orienté vers les très hauts débits, et l'URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications), qui impose des contraintes extrêmement strictes en termes de latence et de fiabilité. Cette coexistence rend l'allocation des ressources radio particulièrement complexe, car elle nécessite un arbitrage optimal entre plusieurs objectifs souvent contradictoires [1] [2]. Dans ce cadre, les systèmes MIMO holographiques apparaissent comme une technologie disruptive [3]. Basés sur des surfaces électromagnétiques intelligentes et denses, ils permettent un contrôle quasi continu du champ électromagnétique, offrant ainsi une flexibilité sans précédent dans la formation des faisceaux et la gestion des interférences. Cette nouvelle architecture transforme profondément la modélisation classique des systèmes MIMO en introduisant une dimension spatiale continue. Sur le plan mathématique, le problème d'allocation des ressources peut être formulé comme un problème d'optimisation multi-objectifs contraint, où l'on cherche à maximiser simultanément le débit global des utilisateurs eMBB tout en minimisant la latence et la probabilité de perte de paquet des utilisateurs URLLC. Ce problème est généralement non convexe et dépend fortement des variables de canal, de puissance et de configuration spatiale des surfaces MIMO holographiques. L'espace de décision devient alors fonctionnel, puisqu'il ne s'agit plus seulement d'optimiser des variables discrètes, mais une distribution continue du champ électromagnétique.

### Contexte et problématique

L'intégration des systèmes MIMO holographiques dans les réseaux 5G pose des défis scientifiques et techniques importants, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources radio dans des environnements très dynamiques et impliquant de nombreux utilisateurs. Le problème central concerne l'allocation optimale des ressources entre les services eMBB et URLLC, dont les exigences en termes de qualité de service sont souvent opposées [4]. Sur le plan mathématique, cela correspond à un problème d'optimisation complexe sous contraintes fortement couplées, avec des fonctions objectifs non convexes et des variables continues associées au contrôle du champ électromagnétique. L'ajout des surfaces MIMO holographiques complexifie encore davantage le modèle classique des canaux MIMO, en introduisant une description à paramètres distribués, souvent représentée à l'aide d'équations intégrales ou de modèles de champs continus

[5]. De plus, la forte variabilité du réseau, les fluctuations rapides du canal et la densité élevée d'utilisateurs rendent les méthodes d'optimisation traditionnelles peu adaptées. Cela justifie le recours à des approches basées sur l'intelligence artificielle, capables d'estimer des solutions efficaces en temps réel dans des espaces de grande dimension.

La question principale posée est comment modéliser, optimiser et contrôler de manière efficace l'allocation des ressources dans un réseau 5G intégrant des systèmes MIMO holographiques, tout en conciliant les exigences contradictoires des services eMBB et URLLC ?

## Objectifs scientifiques et résultats attendus

Cette thèse vise à analyser en profondeur l'impact des systèmes MIMO holographiques sur les mécanismes d'allocation des ressources dans les réseaux 5G, en combinant des approches de modélisation mathématique, d'optimisation et d'intelligence artificielle.

Les objectifs principaux sont les suivants :

- Développer un modèle mathématique du canal MIMO holographique basé sur une représentation continue du champ électromagnétique, permettant de capturer précisément les effets de focalisation et d'interférences.
- Formuler le problème d'allocation des ressources comme un problème d'optimisation multi-objectifs sous contraintes, intégrant les exigences spécifiques des services eMBB et URLLC.
- Étudier les propriétés de convexité et proposer des techniques de relaxation ou d'approximation pour rendre le problème tractable.
- Exploiter des techniques d'apprentissage automatique, notamment l'apprentissage par renforcement profond, pour permettre une allocation dynamique et adaptative des ressources en temps réel.

## Profil des candidats

- Connaissances en IA nécessaire (plus spécifiquement en apprentissage profond).
- Connaissances des réseaux 5G/6G est un plus.
- Anglais nécessaire.

## Références

[1] M. A. Ouamri and M. Y. Saidi, "Towards Efficient eMBB and URLLC Puncturing in Single MIMO Cell : DRL Study," 2025 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom), Nice, France, 2025, pp. 1-6.

[2] H. E. Benmadani, M. A. Ouamri, M. Azni, and T. E. Alharbi, "Dynamic eMBB scheduling strategy for GBR and NGBR in Non Standalone 5G NR: A deep reinforcement learning approach," *Computer Networks*, vol. 272, p. 111692, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.comnet.2025.111692.

[3] M. A. Ouamri, A. B. M. Adam, M. A. M. Elhassan, E. Moustapha Diallo and X. Li, "Discrete Softmax Policy Gradient for Statistical QoS Provisioning in RIS-Aided Holographic MIMO Networks," in *IEEE Communications Letters*, vol. 29, no. 11, pp. 2516-2520, Nov. 2025.

[4] Xiaopeng Yuan, Boyao Li, Yulin Hu, Yao Zhu, Anke Schmeink, "Toward Scalable Clustered URLLC IoT Network: Resource Allocation and Cooperation Scheduling for Reliability Enhancement", *IEEE Internet of Things Journal*, vol.11, no.15, pp.25982-25996, 2024.

[5] F. Wei, G. Feng, S. Qin, Y. Peng and Y. Liu, "Hierarchical Network Slicing for UAV-Assisted Wireless Networks With Deployment Optimization," in *IEEE J. Sel. Areas Commun*, vol. 42, no. 12, pp. 3705-3718, Dec. 2024.

[6] M. Alsenwi, E. Lagunas and S. Chatzinotas, "Distributed Learning Framework for eMBB-URLLC Multiplexing in Open Radio Access Networks," in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 21, no. 5, pp. 5718-5732, Oct. 2024.