

Noureddine Mouhoub

*Docteur en Informatique,
Attaché Temporaire
d'Enseignement et de Recherche*

📍 Bordeaux INP - LaBRI
Université de Bordeaux
F-33405, Talence, France

☎ +33 6 99 61 28 19

✉ noureddine.mouhoub@labri.fr

🌐 www.labri.fr/perso/nmouhoub

29 ans, marié, un enfant



Dernière mise à jour : Mars 2025.

Ce document présente un aperçu des activités professionnelles que j'ai exercées tout au long de ma carrière, tant dans le domaine de la recherche que dans celui de l'enseignement et les responsabilités. Il débute par une vue d'ensemble de ces activités, suivie de sections dédiées à : mon parcours académique, la liste de mes productions scientifiques, les événements scientifiques et présentations, la liste des enseignements dispensés, ainsi que mon encadrement de stages et ma participation aux jurys. Dans ce document, mes publications sont référencées comme suit : Jx pour les articles publiés dans des journaux internationaux, Cx pour les publications dans des conférences internationales et Nx pour celles dans des conférences nationales.

Aperçu de la carrière

Je suis Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER) à Institut National Polytechnique de Bordeaux (Bordeaux INP) et au Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI) depuis septembre 2024. J'ai obtenu la qualification aux fonctions de maître de conférences en Informatique délivrée par le Conseil National des Universités (CNU) en Janvier 2024. J'ai obtenu un Doctorat en Informatique sur les algorithmes de routage pour les réseaux multicouches en décembre 2023, que j'ai effectué à l'Université de Bordeaux et au LaBRI. Avant cela, j'ai obtenu un Master en Informatique Théorique à l'Université de Bordeaux en septembre 2019.

Recherche

Mes travaux portent sur les algorithmes de routage dans les réseaux hétérogènes et multicouches, avec un intérêt pour la modélisation, l'optimisation, l'algorithmique et la complexité appliquées aux réseaux. Je m'intéresse également à l'application de l'intelligence artificielle à la cybersécurité, notamment pour automatiser la détection des menaces. Ces recherches s'inscrivent dans des domaines tels que la 5G, l'Internet des Objets (IoT) et la cybersécurité, où l'optimisation et la résilience des infrastructures sont cruciales. Elles s'intègrent dans deux projets majeurs. Le projet ANR HÉRA vise à étudier les réseaux hétérogènes où coexistent plusieurs protocoles, rendant les algorithmes de routage classiques inadaptés. Il combine une exploration théorique (structure, résilience, complexité) avec le développement d'un générateur de topologies et la conception d'algorithmes de routage centralisés et distribués automatisant l'établissement de tunnels. Le projet France 2030 PentestLLM, quant à lui, explore l'utilisation des grands modèles de langages pour améliorer les capacités des pentesters, en automatisant la génération de codes et de scripts permettant l'exploitation de vulnérabilités.

Algorithmes de routage pour les réseaux hétérogènes et multicouches. Jusqu'à présent, l'automatisation complète du routage dans les réseaux avec tunnels (coexistence IPv4/IPv6, réseaux VPN, réseaux IoT, etc), demeure une tâche complexe. Malgré les diverses tentatives d'automatisation telles que Teredo, 6over4, GRE, TSP, IPsec, MPLS-TE, etc., elles n'ont pas encore résolu intégralement cette problématique. En réalité, dans la plupart de ces approches, les routes sont pré-établies et ne sont pas toujours les plus optimales en termes de coût de trajet. De plus, aucune de ces méthodes ne parvient à déterminer automatiquement les points d'entrée et de sortie des divers tunnels. Ainsi, cette tâche requiert soit une configuration manuelle,

soit une pré-détermination. Cela découle de la complexité inhérente à la conception d'algorithmes de calcul de chemins qui tiennent compte des encapsulations et des piles de protocoles correspondantes. Il se trouve que des problèmes simples dans un réseau classique, comme par exemple le calcul de chemins et le routage, deviennent très difficiles dans un réseau multicouche (le calcul d'un chemin sous contrainte de bande passante est trivialement polynomial dans un réseau classique, mais est NP-difficile dans un réseau hétérogène et multicouche, de même, la longueur d'un chemin dans un tel réseau peut être exponentielle). J'ai d'abord proposé une approche de concaténation de chemins à travers une décomposition spécifique des routes avec tunnels, permettant d'identifier les cas compatibles. Ces résultats ont conduit à deux algorithmes de plus court chemin adaptés aux réseaux multicouches, exploitables en mode centralisé ou distribué avec mémoire partagée, et intégrant le routage par sauts et par segments. J'ai également étudié leur transformation en protocole de routage, abordant des aspects tels que les en-têtes, le chiffrement des piles de protocoles et le déploiement sous SDN. Ce travail a été publié dans IFIP Networking [C1], AlgoTel [N2] et IEEE/ACM Transactions on Networking [J1], avec une implémentation disponible sur GitHub [HÉRA]. Par ailleurs, un travail en cours vise à généraliser l'algorithme de Bellman-Ford en remplaçant le vecteur de distances par un vecteur de piles de protocoles, appelé Stack-Vector [J3].

Algèbres de routage appliquées aux réseaux hétérogènes et multicouches. La définition d'un nouveau protocole de routage nécessite une conception et une validation, qui peuvent être facilement modélisées à l'aide d'une structure algébrique appelée algèbre de routage. Cette dernière est définie par un ensemble de routes et deux opérations binaires pour composer et choisir les routes. En général, les protocoles de routage standards reposent sur deux opérations, "min" pour la comparaison des poids des chemins et "+" pour calculer le poids d'un chemin à partir des poids des liens qui le composent. Les structures algébriques de base utilisées dans de tels contextes sont les semi-anneaux, les algèbres de fonctions et les algèbres de Sobrinho. Cependant, à ce jour, toutes les algèbres de routage existantes ont été appliquées dans le cas des réseaux monocouches. Autrement dit, elles permettent de modéliser des problèmes de routage sans la prise en compte de tunnels (*ex.*, chemins plus courts, chemins plus larges, chemins plus fiables, etc). Pour cela, j'ai proposé une modification de ces algèbres afin de modéliser le problème de routage avec tunnels dans un réseau hétérogène et multicouche. En se basant sur cela, j'ai étudié des propriétés de convergence sur les algèbres proposées. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans la conférence internationale IEEE ICNP [C2]. La version complète a été publiée dans le journal international Journal of Network and Computer Applications (JNCA) [J2]. La version courte est en soumission pour la conférence nationale AlgoTel [N3].

Générateur de topologie pour les réseaux hétérogènes et multicouches. La simulation dans le domaine de la communication et des réseaux informatiques est un outil puissant pour évaluer et analyser de nouveaux protocoles de routage. L'avantage supplémentaire des simulations informatiques est qu'elles ne sont pas limitées par des facteurs matériels. Ainsi des réseaux à plusieurs milliers de noeuds peuvent être simulés. L'évaluation de protocoles nécessite cependant que la topologie du réseau soit configurée de manière appropriée. Dans ce contexte, la collecte de cartes réelles de topologies réseaux et/ou la génération de cartes synthétiques de topologies réseaux est le premier pas à réaliser avant de pouvoir faire des simulations. Or, collecter des cartes de réseaux hétérogènes et multicouches est une tâche complexe et coûteuse. En effet, les noeuds hétérogènes ou multiprotocolaires ne sont pas connus à l'avance dans les outils de collecte de cartes. Ainsi, les zones situées derrière les NATs ou à l'intérieur des opérateurs de réseau ne peuvent pas être facilement explorées. De plus, les modèles de génération des cartes synthétiques de topologies réseaux permettent uniquement de générer des topologies monocouches. C'est pourquoi j'ai proposé un générateur de topologies de réseaux hétérogènes et multicouches qui possède trois méthodes de génération de réseaux hétérogènes et multicouches (mono-aléatoire, multi-aléatoires et multi-réels). Ce travail a fait l'objet d'une publication dans la conférence internationale IEEE VCC [C3], et dans la conférence nationale CoRes [N1], et disponible dans le dépôt GitHub sous forme de logiciel libre et open source [MNTG].

Bien que ces activités de recherche portent sur le routage avec établissement automatique de tunnels dans les réseaux hétérogènes et multicouches [T1], qui est un problème dans le domaine des réseaux, ils font intervenir des outils théoriques très variés des mathématiques discrètes : 1) En théorie des graphes : la généralisation des algorithmes de calcul de chemins Bellman-Ford et Floyd-Warshall, le calcul d'arbre et le problème de Steiner, la génération de cartes de réseaux avec graphes aléatoires, le placement des convertisseurs et le problème ensemble dominant; 2) En théorie des langages : la modélisation avec automate à pile et grammaire algébrique; 3) En théorie de la complexité : les bornes sur la longueur des chemins avec tunnels, la réduction du problème de calcul de chemins avec tunnels sous contrainte de bande passante vers le problème chemin hamiltonien, la réduction du problème de placement de convertisseurs vers le problème SAT; 4) En combinatoire : la modélisation avec les chemins de Dyck et Motzkin; 5) En algèbre : la modélisation avec les algèbres tropicales (algèbre min-plus); 6) En théorie de l'information : le chiffrement des tunnels.

IA générative pour les tests d'intrusion en cybersécurité. De nos jours, les avancées dans le domaine de l'IA générative permettent de créer du contenu original, comme des images, des textes ou des modèles, à partir d'exemples existants. Cette technologie trouve des applications dans de nombreux domaines, tels que la médecine, l'agriculture, et bien d'autres, en facilitant la simulation de scénarios ou l'amélioration de données rares, offrant ainsi de nouvelles perspectives. Ma première contribution dans ce domaine a été l'étude et l'application des réseaux antagonistes génératifs (GAN) pour l'augmentation de données dans le domaine biomédical. Plus précisément, nous avons développé une version modifiée des GAN, appelée Gene Expression Generator (GEG), pour générer des données synthétiques à partir de jeux de données biomédicales binaires. Cette approche a permis d'améliorer la performance des modèles d'apprentissage supervisé en augmentant la taille des ensembles de données disponibles et en réduisant la dépendance aux données étiquetées, souvent coûteuses et difficiles à obtenir dans ce domaine. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans la conférence internationale IDEAL [C4]. Depuis 2025, je m'intéresse à l'application des grands modèles de langage (LLM) à la cybersécurité. L'utilisation de la génération augmentée par récupération (RAG) permet à ces modèles de répondre à des questions sur des corpus privés ou inédits. Cependant, RAG rencontre des limites pour traiter des questions globales sur un corpus complet, car elles nécessitent de résumer les liens complexes et interconnectés entre les données, ce qui dépasse les capacités des méthodes classiques de récupération. Une méthode récente, appelée GraphRAG, basée sur des graphes de connaissances, permet de répondre à des questions globales tout en gérant la généralité des questions et la taille des textes. Dans notre approche, nous utilisons GraphRAG pour construire un graphe de connaissances à partir de rapports CVE, d'exploits et de checklists de sécurité, et un LLM fine-tuné pour générer des scénarios d'attaque et des scripts adaptés à des contextes spécifiques en effectuant des recherches dans le graphe de connaissances. Ce travail est en préparation pour soumission dans une conférence internationale [C5].

Dans la suite de ma carrière, je souhaite poursuivre et approfondir mes recherches sur les réseaux IoT et la 5G, en mettant l'accent sur les enjeux liés aux réseaux et à la sécurité. Mes futurs travaux de recherche s'articuleront autour des axes suivants, tout en restant ouvert à d'autres travaux connexes.

Softwarisation des réseaux IoT. Dans les réseaux IoT modernes, la gestion de la mobilité des nœuds est un défi majeur, particulièrement dans les environnements où les nœuds sont mobiles, tels que les véhicules connectés, les drones ou les capteurs mobiles. Ces nœuds mobiles sont souvent confrontés à des interruptions de communication lorsqu'ils se déplacent d'une zone de couverture à une autre, ce qui entraîne des pertes de données et une dégradation des performances du réseau. Dans le contexte des réseaux IoT utilisant le protocole CoAP, qui est couramment employé pour sa faible consommation de ressources et sa simplicité, ce problème devient encore plus pertinent, car CoAP est conçu pour fonctionner dans des environnements contraints, où chaque interruption peut avoir un impact majeur sur la fiabilité du service. Le *handover*, ou transition entre contrôleurs SDN, est particulièrement délicat dans ces réseaux IoT, car il peut provoquer des déconnexions temporaires, des retards ou des erreurs de communication si la gestion de la mobilité n'est pas adéquate. Les approches existantes pour résoudre ce problème reposent généralement sur des solutions centralisées ou statiques, où un contrôleur SDN central gère la mobilité des nœuds et assure la continuité de la communication. Cependant, ces méthodes présentent plusieurs limitations. Tout d'abord, elles n'offrent pas une adaptation dynamique aux mouvements des nœuds, ce qui peut entraîner des temps de latence élevés lors de la transition entre les contrôleurs. De plus, la centralisation peut devenir un goulot d'étranglement,

en particulier lorsque de nombreux nœuds doivent être gérés simultanément, ce qui affecte les performances du réseau et limite la scalabilité. Par ailleurs, les mécanismes de coordination entre les contrôleurs SDN existants ne sont pas toujours optimisés pour anticiper les besoins de mobilité et peuvent conduire à des interruptions de service importantes, surtout dans les situations de forte mobilité des nœuds IoT. Une approche innovante pour résoudre ce problème consiste à adopter une gestion distribuée du handover entre les contrôleurs SDN. L'idée ici est de permettre à chaque contrôleur de gérer localement les nœuds dans sa zone tout en coordonnant les transitions entre zones de manière proactive. En combinant cette approche avec des modèles de prédiction du mouvement des nœuds, tels que les réseaux de neurones Long Short-Term Memory (LSTM) ou des modèles markoviens, il devient possible d'anticiper les déplacements des nœuds et d'ajuster dynamiquement la gestion des connexions avant même que la migration n'ait lieu. Cela permettrait de réduire les interruptions et d'assurer une meilleure continuité de service pour les nœuds mobiles, en anticipant leur arrivée dans de nouvelles zones de couverture et en préparant les ressources nécessaires avant même qu'elles ne soient requises. L'intégration de la virtualisation des fonctions réseau (NFV) dans cette approche pourrait offrir des avantages supplémentaires. En effet, la NFV permettrait de déployer dynamiquement des services réseau à proximité des nœuds mobiles, réduisant ainsi la latence et optimisant l'utilisation des ressources réseau. Par exemple, des fonctions telles que l'équilibrage de charge ou la gestion de la qualité de service (QoS) pourraient être déployées localement dans les zones de couverture des nœuds mobiles, ce qui permettrait de mieux gérer la mobilité tout en minimisant l'impact sur les performances du réseau. Cette approche permettrait également de déployer des services de manière plus flexible, en fonction des besoins locaux et des conditions de réseau, ce qui rendrait le système plus résilient et adaptable. En combinant cette gestion distribuée du handover, des modèles prédictifs pour l'anticipation des mouvements, et de la NFV, offrirait une solution plus flexible et réactive face aux défis liés à la mobilité dans les réseaux IoT. Elle permettrait de réduire les délais de latence, d'optimiser l'utilisation des ressources et de garantir une meilleure résilience du réseau, en particulier dans les environnements où les nœuds sont hautement mobiles. Une telle approche garantirait la continuité de service dans les réseaux IoT en assurant une transition fluide entre contrôleurs SDN tout en tenant compte des contraintes spécifiques de CoAP. Ainsi, cette solution pourrait considérablement améliorer la performance, la fiabilité et la scalabilité des réseaux IoT modernes, en particulier dans les scénarios où la mobilité des nœuds est élevée et les interruptions doivent être minimisées.

Protocole de routage efficace pour les réseaux IoT. L'Internet des Objets (IoT) repose sur des réseaux utilisant divers protocoles de communication tels que ZigBee, LoRa, 6LoWPAN, MQTT, et CoAP. Le protocole RPL est couramment employé dans ces réseaux à faible consommation, conçus pour des topologies maillées. Toutefois, RPL présente plusieurs limitations. En particulier, il fonctionne sur une seule couche sans tenir compte de la diversité des technologies sous-jacentes (comme ZigBee, Wi-Fi ou LoRa), et il utilise des arbres dirigés acycliques (DODAG) basés sur des métriques simples, telles que le nombre de sauts ou la latence, sans tenir compte des caractéristiques spécifiques des protocoles employés. Cela conduit à une gestion inefficace des transitions inter-protocoles, par exemple entre ZigBee, Wi-Fi et LoRa, générant des délais et une perte de performance. De plus, les passerelles inter-protocoles ne sont pas optimisées, ce qui accroît les délais et réduit l'efficacité du réseau, notamment lors de mises à jour de routes suite à des changements de topologie. Bien que RPL privilégie des routes stables, celles-ci ne sont pas nécessairement les plus efficaces, ce qui entraîne un routage sous-optimal. Les variantes de RPL, telles que mRPL, ORPL et MRHOF, apportent certaines améliorations, mais elles ne résolvent pas la gestion multi-protocoles, limitant ainsi leur capacité à répondre aux besoins des réseaux IoT hétérogènes. Pour surmonter ces défis, nos algorithmes de routage multicouche, prenant en compte simultanément plusieurs critères (gestion des tunnels et encapsulations, traductions de protocoles et calculs de chemins optimisés en fonction de la latence, de l'énergie, du débit et de la sécurité), pourraient être adaptés à RPL pour améliorer la gestion de l'hétérogénéité protocolaire. Cette approche permettrait d'optimiser le routage, de mieux gérer l'interopérabilité entre différents réseaux et d'améliorer la performance globale du réseau IoT. L'adaptation et l'intégration des algorithmes de routage multicouche dans le protocole RPL peuvent être réalisées en étendant le DODAG pour inclure différentes technologies, en ajoutant des métriques inter-protocoles dans sa construction et en intégrant un mécanisme de traduction et d'encapsulation dynamique pour optimiser la transition entre protocoles. En modélisant le réseau IoT comme un graphe multicouche, chaque technologie (ZigBee, LoRa, Wi-Fi, etc.) serait représentée comme une couche distincte. Cette approche permettrait de mieux gérer le routage inter-protocoles, en choisissant dynamiquement les meilleurs chemins en fonction des caractéristiques de chaque technologie, par

exemple, en décidant si le chemin direct entre un capteur ZigBee et un serveur Wi-Fi est plus optimal que de passer par un nœud LoRa. L'idée est d'adapter les algorithmes pour traiter les passages entre technologies comme des tunnels ou des traductions, en transformant les passerelles inter-protocoles en nœuds capables de choisir dynamiquement la meilleure encapsulation/traduction. Ce processus serait basé sur une métrique combinée prenant en compte le coût énergétique de chaque technologie, le débit et la latence des protocoles comme le Wi-Fi, ainsi que la couverture longue portée des technologies comme LoRa. Cette approche améliorerait l'interopérabilité entre les différentes technologies, optimiserait les performances du réseau IoT et offrirait une gestion plus dynamique et réactive des transitions entre protocoles.

Sécurité pour les réseaux IoT. L'Internet des Objets (IoT) a connu des avancées rapides ces dernières années, devenant un pilier essentiel dans de nombreux secteurs, notamment les maisons et industries intelligentes. Cependant, cette croissance a exposé les systèmes IoT à des menaces de plus en plus sophistiquées, créant ainsi des défis majeurs en matière de sécurité. Des efforts considérables ont été déployés pour renforcer la sécurité des dispositifs IoT, notamment grâce à l'intelligence artificielle (IA), l'apprentissage automatique (ML) et l'apprentissage profond (DL), utilisés pour des tâches telles que la classification du trafic malveillant, la détection de logiciels malveillants et la découverte de vulnérabilités. Plus récemment, les grands modèles de langage (LLM) ont montré un potentiel prometteur pour améliorer la sécurité de l'IoT, notamment pour la détection des menaces, la découverte de bogues via le fuzzing et l'analyse de code statique. Cependant, bien que des volumes considérables d'informations existent concernant la sécurité IoT, elles restent souvent difficiles à exploiter, même pour les experts. L'IoT est constitué de millions de dispositifs interconnectés, dont la complexité croissante et l'augmentation de la connectivité génèrent de nouvelles vulnérabilités. La recherche s'est concentrée sur la découverte de menaces et la conception de stratégies de défense, mais peu de travaux ont exploité les données existantes pour offrir des solutions pratiques et accessibles aux utilisateurs, notamment ceux qui ne sont pas experts en cybersécurité. Les LLM ont été appliqués avec succès à divers défis de la sécurité IoT, comme la détection de vulnérabilités complexes ou l'interprétation des données des capteurs IoT. Par exemple, le modèle SecurityBERT a montré de bons résultats pour la détection des menaces, et d'autres travaux ont utilisé des LLM pour contrôler les dispositifs IoT, faciliter leur collaboration et améliorer l'analyse des données collectées. Toutefois, l'un des principaux défis réside dans le fait que les données brutes restent difficilement compréhensibles, même pour les utilisateurs non techniques, d'où la nécessité d'une approche qui rende ces informations exploitables et accessibles à tous. L'utilisation combinée des LLM et de la méthode RAG (Récupération Augmentée par Génération) offre un grand potentiel, mais elle se heurte à plusieurs défis. Parmi ceux-ci, on trouve l'évolution rapide des menaces IoT, les formats de données hétérogènes et la nature des requêtes des utilisateurs. Par exemple, les ensembles de données de vulnérabilité, tels que VARIoT, sont régulièrement mis à jour, rendant difficile l'adaptation des modèles de langage statiques, qui risquent de devenir rapidement obsolètes. De plus, la diversité des formats de données (bases de données structurées, rapports non structurés, etc.) complique l'utilisation efficace des LLM sans mécanisme de traitement des données robuste. Enfin, les limitations des LLM concernant certaines requêtes sensibles, souvent censurées, compliquent la génération de réponses précises aux questions relatives à la sécurité. Pour répondre à ces défis, nous proposons une approche basée sur trois axes principaux : 1) Gestion des ensembles de données IoT permettant de convertir des ensembles de données de menaces IoT sous divers formats en documents structurés, prêts à être récupérés et traités par un LLM, assurant ainsi l'adaptation aux informations constamment mises à jour ; 2) Récupération adaptative avec un mécanisme utilisant la Sélection et le Self-Querying, qui permet d'extraire uniquement les documents pertinents tout en éliminant ceux qui sont non pertinents, réduisant ainsi la surcharge d'informations ; 3) Reformulation des requêtes utilisateurs grâce à des techniques d'apprentissage automatique et de traitement du langage naturel (NLP), permettant au LLM de répondre à des questions, même si elles sont sensibles ou censurées. Cette approche vise à fournir des solutions compréhensibles, exploitables et adaptées aux besoins variés des utilisateurs IoT, tout en assurant une réponse rapide aux menaces de sécurité et en facilitant l'accès à des informations critiques de manière précise et efficace.

Optimisation dans les réseaux IoT et 5G. L'optimisation du placement des services IoT (SPP) dans les environnements de Fog Computing (FC) et de Cloud Computing est un problème complexe et multidimensionnel, nécessitant une allocation efficace des ressources pour garantir une qualité de service (QoS) optimale. Ce problème sous-jacent peut être formalisé comme un problème d'optimisation combinatoire NP-difficile, où la sélection et l'affectation des ressources doivent tenir compte de multiples contraintes, notamment la latence, la consommation énergétique, la charge du réseau et la sécurité des services IoT. Historiquement, l'optimisation classique a utilisé des modèles basés sur la théorie des graphes, où le problème de placement est assimilé à un problème de partitionnement ou de coloration de graphe, permettant de représenter les interconnexions entre services et ressources physiques. Des approches comme les algorithmes de flot de réseau, les arbres couvrants minimaux ou les couplages parfaits ont été explorées pour minimiser les coûts de communication et équilibrer la charge entre les nœuds Fog et Cloud. Cependant, ces approches déterministes sont souvent limitées par leur complexité computationnelle, rendant leur application difficile à grande échelle dans un contexte IoT hautement dynamique. Par conséquent, des méthodes heuristiques et métaheuristiques, comme les algorithmes évolutionnaires (NSGA-II, MOEA/D), les colonies de fourmis (ACO) et l'optimisation par essais particuliers (PSO), ont été proposées pour approximer des solutions quasi-optimales en un temps raisonnable, bien qu'elles souffrent du piégeage dans des optima locaux. Plus récemment, l'apprentissage automatique et l'apprentissage par renforcement profond (DRL) ont été appliqués au problème du IoT SPP, notamment avec des modèles basés sur les réseaux de neurones graphiques (GNN-RL) pour capturer les relations complexes entre les microservices et leur environnement de déploiement. Toutefois, ces modèles nécessitent un temps d'apprentissage conséquent et peinent à s'adapter en temps réel aux changements soudains du réseau et des charges de travail. De plus, les architectures à base de microservices introduisent de nouvelles contraintes d'interdépendance et de gestion de multiples instances d'un même service, rendant le problème encore plus difficile. Pour surmonter ces défis, nous proposons une approche hybride combinant le GNN-RL avec des heuristiques adaptatives et des techniques d'optimisation multicritères inspirées des méthodes de graphes pour modéliser plus efficacement les dépendances entre services. Cette approche intégrera également une classification des applications IoT selon leur criticité et tolérance aux défaillances, facilitant ainsi une priorisation intelligente du placement des services. En exploitant des architectures décentralisées basées sur la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et la gestion par SDN (Software-Defined Networking), une telle solution visera à concevoir un cadre évolutif, scalable et sécurisé, capable d'adapter dynamiquement le placement des services IoT aux variations du réseau et aux besoins des utilisateurs.

Le network slicing est une technologie clé pour la gestion des ressources dans les réseaux 5G et B5G, permettant de créer des tranches logiques adaptées aux besoins spécifiques des applications. Cependant, malgré les avancées réalisées avec des approches comme l'apprentissage par renforcement profond (DRL), la théorie des jeux et les heuristiques multi-objectifs, plusieurs défis subsistent, notamment la scalabilité, l'inefficacité énergétique et l'absence de solutions optimales pour l'adaptation dynamique des tranches en fonction de la charge réseau. La complexité du problème de network slicing est exacerbée par le nombre de ressources à gérer et les exigences contradictoires des différentes applications, rendant l'optimisation combinatoire et NP-difficile. Pour résoudre ces limitations, nous proposons une approche hybride qui combine des techniques classiques d'optimisation avec l'intelligence artificielle. Tout d'abord, nous formulons le network slicing comme un problème de partitionnement de graphes, où les nœuds représentent des ressources et les arêtes modélisent les relations de connectivité et d'interférence, ce qui permet d'utiliser des algorithmes comme la coloration de graphes et le couplage maximal pour optimiser l'allocation des ressources. En complément, des techniques de SAT solving et d'ensembles dominants sont employées pour réduire la taille de l'espace de recherche, accélérant ainsi la convergence vers une solution optimale. Ensuite, l'intégration d'approches multi-objectifs, comme l'optimisation basée sur le front de Pareto, permettra de gérer simultanément plusieurs critères, tels que la latence, la consommation énergétique et l'utilisation des ressources. Afin d'améliorer la scalabilité et la réactivité, nous proposons l'utilisation des réseaux neuronaux de graphes (GNNs) pour anticiper la dynamique du réseau et ajuster les tranches en temps réel. Enfin, des techniques telles que la programmation linéaire en nombres entiers (MILP) seront utilisées pour garantir une allocation optimale des ressources sous des contraintes strictes de qualité de service (QoS). Cette approche hybride vise à surmonter les défis de l'optimisation du network slicing, en rendant le système plus adaptatif, scalable, et énergétiquement efficace, tout en répondant aux exigences variées des réseaux 5G et B5G.

Enseignement

Depuis 2017, j'ai assuré un large éventail d'enseignements (environ 500 heures) en informatique au sein de l'Université de Bordeaux et de Bordeaux INP, couvrant des niveaux allant de la Licence à l'école d'ingénieurs et au Master. J'ai enseigné des matières fondamentales telles que l'algorithmique et la programmation (Algorithmique des structures de données, Programmation C, Programmation orientée objets, Programmation VBA, Programmation web), les réseaux et systèmes (Architecture des ordinateurs, Systèmes d'exploitation, Réseaux et Protocoles, Architecture et Applications des réseaux TCP/IP, Bases de données), ainsi que des disciplines plus théoriques comme l'algorithmique des graphes, la compilation, la logique mathématique, la calculabilité et la complexité. Mon engagement pédagogique s'est également traduit par l'encadrement de projets étudiants en algorithmique, bases de données, réseaux et programmation, ainsi que de stages de Master. En parallèle, j'ai assuré un tutorat en informatique, accompagnant les étudiants dans leurs apprentissages et leur progression. En m'investissant dans ces différentes responsabilités, j'ai contribué à former et accompagner les étudiants dans l'acquisition des compétences essentielles à leur avenir académique et professionnel.

Responsabilités et services

Depuis 2019, je suis impliqué dans diverses activités académiques et administratives. J'ai occupé le poste de vice-président de l'Association des doctorants en Informatique de Bordeaux pendant l'année universitaire 2019–2020, où j'ai contribué à dynamiser les échanges entre doctorants. Durant la même période, j'ai co-organisé le Séminaire des doctorants en Informatique de Bordeaux, en coordonnant des présentations et des discussions sur des thématiques de recherche variées. Dans le cadre de mes responsabilités pédagogiques, j'ai été responsable du cours Réseaux et Protocoles en Master 1 durant l'année universitaire 2020–2021. Par ailleurs, je contribue à la communauté scientifique en tant que relecteur pour les conférences IEEE ICC 2024, IEEE VTC 2025 et la revue IEEE/ACM Transactions on Networking 2025.

Le reste du CV fournit des informations détaillées sur ces aspects, ainsi que toute information jugé pertinent pour évaluer ma carrière.

Parcours académique

- 2024 – 2029 **Qualification aux fonctions de maître de conférences**, *CNU, (France)*.
Section : 27 (Informatique).
- 2024 – 2025 **Attaché temporaire d'enseignement et de recherche**, *Bordeaux INP, LaBRI, (France)*.
Projet : PentestLLM du programme France 2030 avec Toufik Ahmed.
- 2019 – 2023 **Doctorat en Informatique**, *Université de Bordeaux, LaBRI, (France)*.
Projet : HÉRA de l'Agence National de Recherche avec Mohamed Lamine Lamali.
Sujet : Algorithmes pour le routage dans les réseaux multicouches.
Directeurs : Damien Magoni et Mohamed Lamine Lamali.
- 2019 – 2019 **Stage de recherche**, *Université de Bordeaux, LaBRI, (France)*.
Projet : HÉRA de l'Agence National de Recherche avec Mohamed Lamine Lamali.
Sujet : Amélioration d'un algorithme distribué de calcul de chemins dans les réseaux multicouches.
Directeur : Mohamed Lamine Lamali.
- 2017 – 2019 **Master en Informatique Théorique**, *Université de Bordeaux, (France)*.
Parcours : Méthodes formelles.
Tuteur pédagogique, *Université de Bordeaux, (France)*.
- 2014 – 2017 **Programme d'échange Erasmus**, *Université de Bordeaux, (France)*.
Parcours : Informatique (Licence 3).
Licence en Informatique, *Université 8 Mai 1945 Guelma, (Algérie)*.
Prix : Major de promotion (1^{er}/113).

Liste des publications

Journaux internationaux

- [J1] **A Transitive Closure Algorithm for Routing with Automatic Tunneling** 
IEEE/ACM Transaction on Networking (ToN), 2024 (Rang A*).
Avec Mohamed Lamine Lamali et Damien Magoni.
- [J2] **Metarouting with Automatic Tunneling in Multilayer Networks** 
Journal of Network and Computer Applications (JNCA), 2024 (Rang A*).
Avec Maria Moloney et Damien Magoni.
- [J3] **A Distributed Stack-Vector Routing Protocol for Heterogeneous Networks** 
En cours de soumission au IEEE/ACM Transaction on Networking (ToN), 2025 (Rang A*).
Avec Mohamed Lamine Lamali et Johanne Cohen.

Conférences internationales

- [C1] **A Highly Parallelizable Algorithm for Routing With Automatic Tunneling** 
IFIP Networking Conference (Networking), 2022 (T.A. 29%).
Avec Mohamed Lamine Lamali et Damien Magoni.
- [C2] **Semiring Algebraic Structure for Metarouting with Automatic Tunneling** 
IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), 2022 (T.A. 21%).
Avec Mohamed Lamine Lamali et Damien Magoni.
- [C3] **MNTG: A New Flexible Multilayer Network Topology Generator** 
IEEE Virtual Conference on Communications (VCC), 2023.
Avec Maria Moloney et Damien Magoni.
- [C4] **Data Generation Using Gene Expression Generator** 
Intelligent Data Engineering and Automated Learning Conference (IDEAL), 2020.
Avec Zakarya Farou et Tomáš Horváth.
- [C5] **PentestGraphRAG: A Graph-Based Retrieval-Augmented Generation Approach for Automated Pentesting** 
En cours de préparation pour soumission, 2025.
Avec Toufik Ahmed et Imed Ghnaya.

Conférences nationales

- [N1] **Générateur de topologies pour les réseaux hétérogènes et multicouches** 
Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication (CoRes). 2024.
Avec Maria Moloney et Damien Magoni.
- [N2] **(Presque) Floyd-Warshall sous stéroïdes : (encore) un algorithme de routage pour l'établissement automatique de tunnels** 
Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel). 2022.
Avec Mohamed Lamine Lamali et Damien Magoni.
- [N3] **Algèbre de routage pour le calcul de chemins avec établissement automatique de tunnels** 
En cours de soumission pour les Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel). 2025.
Avec Damien Magoni et Maria Moloney.

Thèse de doctorat

- [T1] **Algorithmes pour le routage dans les réseaux multicouches** 
École Doctorale Mathématique et Informatique, Université de Bordeaux (EDMI).

Logiciels Open Source

- [HÉRA] **Multilayer Routing Algorithms** 
Projet HÉRA de l'Agence National de Recherche (ANR). Licence LGPL.
- [MNTG] **Multilayer Network Topology Generator** 
Projet HÉRA de l'Agence National de Recherche (ANR). Licence LGPL.

Événements scientifiques et présentations

- Mai 2024 **Rencontres francophones AlgoTel et CoRes**, Saint-Briac-sur-Mer, (France).
- Nov 2023 **Conférence internationale IEEE VCC**, Virtuelle, (Virtuelle).
- Oct 2022 **Conférence internationale IEEE ICNP**, Kentucky, (États-Unis).
- Juin 2022 **Conférence internationale IFIP Networking**, Catane, (Italie).
- Mai 2022 **Rencontres francophones AlgoTel et CoRes**, Paris, (France).
- Mai 2022 **Séminaire des doctorants en Informatique**, Bordeaux, (France).
- Nov 2021 **Séminaire de l'équipe Programmation, Réseaux et Systèmes**, Bordeaux, (France).
- Sept 2021 **Rencontres francophones AlgoTel et CoRes**, La Rochelle, (France).
- Mai 2021 **Journée de l'école doctorale Mathématiques et Informatique**, Bordeaux, (France).

Liste des enseignements

- 2024 – 2025 **Architecture des réseaux TCP/IP**, 2A Ingénieur. Cours intégré, TD et TP (28h).
Projet d'algorithme et de programmation 1, 1A Ingénieur. Encadrement (25h).
Projet d'algorithme et de programmation 3, 1A Ingénieur. Encadrement (25h).
Projet bases de données et internet, 1A Ingénieur. Encadrement (10h).
Projet de programmation orientée objets, 2A Ingénieur. TP (20h).
Introduction réseaux, 1A Ingénieur. Cours intégré, TD et TP (17h).
Programmation orientée objets, 2A Ingénieur. TD et TP (14h).
Applications TCP/IP, 2A Ingénieur. Cours intégré et TD (17h).
Calculabilité et complexité, 2A Ingénieur. TD (16h).
Projet de réseaux, 2A Ingénieur. TP (20h).
Stage, 2A Ingénieur. Encadrement (1h).
Bordeaux INP, (France).
- 2023 – 2024 **Algorithmique des structures de données**, Licence 2. Cours intégré, TD et TP (37h).
Informatique appliquée Excel et VBA, Licence 3. Cours intégré et TP (24h).
Compilation, Licence 3. TD et TP (32h).
Stage, Master 2. Encadrement (3h).
Université de Bordeaux, (France).
- 2021 – 2022 **Bases de données et Programmation web**, Licence 1. Cours intégré et TP (32h).
Logique et Preuve, Licence 3. TD et TP (28h).
Stage, Master 2. Encadrement (6h).
Université de Bordeaux, (France).
- 2020 – 2021 **Réseaux et protocoles**, Master 1. Cours intégré, TD et TP (24h).
Architecture des ordinateurs, Licence 2. TD et TP (29h).
Programmation C, Licence 2. TD et TP (11h).
Université de Bordeaux, (France).

2019 – 2020 **Réseaux et protocoles**, *Master 1. TD et TP (24h)*.
Université de Bordeaux, (France).

2017 – 2019 **Tutorat en Algorithmique des graphes**, *Licence 3. Cours de soutien (46h)*.
Tutorat en Systèmes d'exploitation, *Licence 3. Cours de soutien (46h)*.
Université de Bordeaux, (France).

Encadrement et participation aux jury

2024 – 2025 **Membre de jury**, *Soutenances de stage*, 2A Ingénieur en Informatique, Bordeaux INP, (France).

2023 – 2024 **Rapporteur de stage**, *Développements numériques pour le pilotage de robots collaboratifs*,
Master 2 Systèmes Autonomes et Interactions, AEROSPLINE Bordeaux, (France).

Référent de stage, *Développer les capacités de simulations graphiques 3D réaliste de missions drone par couplage à XPLANE*, Master 2 Informatique pour l'image et le son, Thales Bordeaux, (France).

2021 – 2022 **Rapporteur de stage**, *Mise en place d'un dispositif de génération automatique d'une base d'apprentissage de reconnaissance visuelle pour la Robocup*, Master 2 Systèmes Autonomes et Interactions, Bordeaux INP, (France).

Référent de stage, *Vérification automatique de systèmes distribués*, Master 2 Vérification Logicielle, ONERA Toulouse, (France).

Membre de jury, *Soutenances de stage*, Master 2 Calcul Intensif et Sciences des Données, Master 2 Réseaux de Communications et Internet, Université de Bordeaux, (France).

Membre de jury, *Soutenances de projets de fin d'études PFE*, Master 2 Réseaux de Communications et Internet, Université de Bordeaux, (France).