



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme **ABIBOU Soukayna**
Soutiendra : **le Samedi 16/05/2026 à 14H00**
Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

**Artificial Intelligence for Optimizing Sustainable Mobility Infrastructure:
Strategic Locations and Integration of Hydrogen and Electric Refueling
Stations**

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : Sciences et Techniques
Spécialité : Informatique

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
TAIRI Hamid	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
FARHAOUI Yousef	Faculté des Sciences et Techniques, Errachidia	PES	Rapporteur
EL ALLAQUI Ahmad	Faculté des Sciences et Techniques, Errachidia	PES	Rapporteur
SABRI My Abdelouahed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Rapporteur
GUALOUS Hamid	Université de Caen Normandie, France	PES	Examineur
RAMADAN Hiba	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
EL BOURAKADI Dounia	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MC	Invitée
YAHYAOUY Ali	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPTIMIZING SUSTAINABLE MOBILITY INFRASTRUCTURE: STRATEGIC LOCATIONS AND INTEGRATION OF HYDROGEN AND ELECTRIC REFUELING STATIONS

Résumé :

Le système de transport joue un rôle indispensable dans le bon fonctionnement des zones urbaines, façonnant la vie quotidienne de millions d'individus et stimulant la croissance économique. À travers le monde, le secteur des transports demeure fortement dépendant des combustibles fossiles, une dépendance qui soulève d'importants défis en matière de durabilité et de santé environnementale. Cette dépendance entraîne des conséquences considérables, notamment l'émission de gaz à effet de serre et de polluants toxiques, qui contribuent à la fois au changement climatique et à la dégradation de la qualité de l'air. Relever ces défis exige des approches innovantes, notamment l'adoption de solutions énergétiques propres. Alors que les villes continuent de s'étendre, il devient essentiel de repenser les systèmes de transport afin d'assurer un équilibre entre mobilité, protection de l'environnement et qualité de vie.

Parmi ces solutions, les véhicules à hydrogène et les véhicules électriques s'imposent comme deux des voies les plus prometteuses pour décarboner le transport routier. Toutefois, le déploiement efficace de ces technologies dépend non seulement de l'innovation au niveau des véhicules, mais aussi du développement d'une infrastructure de ravitaillement et de recharge robuste, intelligente et répartie de manière optimale. Cette thèse présente une étude approfondie de l'application de l'intelligence artificielle afin de surmonter les obstacles critiques liés au déploiement et à l'optimisation des infrastructures pour les carburants alternatifs, en particulier dans le contexte de la mobilité hydrogène et électrique. Notre recherche prend le Maroc comme étude de cas afin d'explorer le déploiement d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène et de recharge électrique, et d'évaluer leur potentiel à soutenir la transition vers un transport propre.

La première approche propose un cadre optimisé par l'IA pour la logistique du transport d'hydrogène, combinant un modèle d'apprentissage profond et un algorithme d'optimisation exacte afin de déterminer les itinéraires et méthodes de transport d'hydrogène gazeux les plus rentables et économes en énergie, du site de production jusqu'aux stations-service clientes. La deuxième approche introduit un modèle original d'optimisation multi-objectif, intégrant la logique floue à un algorithme heuristique d'optimisation pour le positionnement de distributeurs d'hydrogène dans des emplacements existants en milieu urbain. La troisième approche propose une stratégie d'implantation multi-objectif fondée sur l'IA pour les stations de ravitaillement en hydrogène, visant à minimiser les dépenses d'investissement, à maximiser un indicateur de trafic, et à respecter les contraintes géographiques, grâce à des algorithmes métaheuristiques hybrides combinant notamment l'apprentissage profond et l'optimisation par colonies de fourmis. La quatrième approche consiste en la mise au point d'un système intelligent de recommandation de stations de ravitaillement en hydrogène, tenant compte des préférences des usagers afin d'offrir des suggestions personnalisées et à faible latence en matière d'itinéraires et de ravitaillement, améliorant ainsi à la fois l'expérience utilisateur et l'utilisation du système. À cette fin, nous proposons une analyse comparative entre deux algorithmes largement utilisés, l'algorithme génétique et l'optimisation par essais de particules, afin d'identifier la solution optimale. Enfin, la cinquième approche élargit ce paradigme de planification assistée par l'IA à la mobilité électrique, en proposant un cadre hybride d'apprentissage par renforcement profond combinant des réseaux de neurones graphiques et l'apprentissage par renforcement profond pour déterminer les emplacements optimaux des bornes de recharge pour véhicules électriques dans un contexte urbain réel. Pour proposer une solution complète, nous validons notre modèle à l'aide de SUMO, un simulateur de trafic open source performant, calibré à partir de données urbaines réelles intégrant les trajectoires des véhicules, les matrices origine-destination et les comportements de recharge.

Conjointement, ces cinq approches interdépendantes démontrent comment l'intelligence artificielle peut servir de levier fondamental pour un déploiement rapide, économique et durable des infrastructures de carburants alternatifs. En combinant analyse géospatiale, recherche opérationnelle et apprentissage automatique, nos travaux contribuent à l'avancement de l'état de l'art en matière de systèmes de transport intelligents et fournissent des plans d'action concrets aux décideurs, urbanistes et acteurs du secteur énergétique engagés dans la transition vers une mobilité zéro émission.

Mots clés :

Artificial Intelligence, Optimization, Metaheuristics Algorithms, Exact Algorithms, Transportation System, Hydrogen Vehicles, Electric Vehicles.



Abstract:

The transport system plays an indispensable role in the smooth running of urban areas, shaping the daily lives of millions of people and stimulating economic growth. Around the world, transportation is strongly dependent on fossil fuels, a dependence that poses major challenges in terms of sustainability and environmental health. This dependence carries with it considerable consequences, such as the emission of greenhouse gases and toxic pollution that contribute to climate change and degraded air quality. Addressing these challenges requires innovative approaches that include the adoption of clean energy solutions. As cities continue to expand, it is essential to rethink transportation systems to ensure a balance between mobility, environmental protection, and quality of life.

Among these, hydrogen and electric vehicles have emerged as two of the most promising solutions to achieve decarbonization in road transportation. However, the successful deployment of these technologies depends not only on vehicle innovation but also on the development of robust, smart, and efficiently distributed refueling and recharging infrastructure. This thesis presents a comprehensive study of the application of artificial intelligence to overcome critical barriers to the deployment and optimization of alternative fuel infrastructure, particularly for hydrogen and electric mobility. Our research focuses on Morocco as a case study to explore the deployment of hydrogen and electric refueling infrastructure and rate their potential to support the transition to clean transport.

The first approach proposes an AI-optimized framework for hydrogen transportation logistics, where a deep learning model and exact optimization algorithm are used to determine the most cost-effective and energy-efficient routes and methods for transporting gaseous hydrogen from the production site to the hydrogen refueling stations' client. The second approach introduces a novel multi-objective optimization model where we combine fuzzy logic with a heuristic optimization algorithm for the installation of hydrogen dispensers in existing locations in an urban area. The third approach proposes an AI-based multi-objective site selection strategy for hydrogen refueling stations that minimizes capital expenditure, maximizes traffic score, and complies with geographical constraints, taking advantage of hybrid metaheuristic algorithms such as combining deep learning with ant colony optimization. The fourth approach consists of developing an intelligent hydrogen refueling station recommendation system that takes user preferences into account in order to offer personalized, low-latency suggestions for routes and refueling, thereby improving the user experience and system utilization. For that we provide a comparative analysis between two largely used algorithms, such as genetic algorithm and particle swarm optimization, to determine the optimal solution. Finally, the fifth approach extends this AI-enabled planning paradigm to electric mobility by proposing a hybrid deep reinforcement learning framework that combines graph neural networks and deep reinforcement learning to determine the optimal location of electric vehicle charging stations in a real urban context. To offer a complete solution, we validate our model using SUMO, a high-performance open-source traffic simulator that is calibrated using real urban data capturing vehicle trajectories, origin-destination matrices, and charging behaviors.

Together, these five interrelated approaches demonstrate how artificial intelligence can serve as a fundamental driver for the rapid, cost-effective, and sustainable deployment of alternative fuel infrastructure. By combining geospatial analysis, operational research, and machine learning, our work advances the state of the art in intelligent transportation systems and provides practical action plans for decision-makers, urban planners, and energy sector actors engaged in the transition to zero-emission mobility.

Key Words:

Artificial Intelligence, Optimization, Metaheuristics Algorithms, Exact Algorithms, Transportation System, Hydrogen Vehicles, Electric Vehicles.