الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
**People's Democratic Republic of Algeria**
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
**Ministry of Higher Education and Scientific Research**
**المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 1945 - سيدي بلعباس**
**Higher School of Computer Science**
**8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbes**

# Master's Thesis

To obtain the diploma of **Master's Degree**

Field of Study: **Computer Science**

Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

## Theme

---

# Multi-objective Optimization for solving location allocation problems of mobility hubs inside Urban enviroments

---

Presented by
**Yousra Lina Boudchicha**

Defended on: **September 2025**
*In front of the jury composed of*

| | |
|---|---|
| **Mrs. TAOULI Amina** | President of the Jury |
| **Mr. Chaib Souleyman** | Thesis Supervisor |
| **Mrs. Tlahig Houda** | Co-Supervisor |
| **Mrs. MEZRAR Samiha** | Examiner |

*Academic Year: 2024/2025*

# Abstract

The rapid growth of urbanization and mobility demand has created critical challenges for sustainable transportation systems. Among these, hub location–allocation problems (HLAPs) have become a central concern in designing efficient carpooling and multimodal mobility infrastructures, where the objective is to balance accessibility, cost efficiency, and environmental impact [1][2]. Such problems are NP-hard and cannot be solved efficiently using exact methods for real-scale instances, which motivates the use of approximation, heuristic, and metaheuristic methods [3, 4].

This thesis explores the application of multi-objective optimization to HLAPs, focusing on advanced metaheuristics. Evolutionary algorithms such as the NSGA-II, GA, and MOPSO are analyzed and compared, along with hybrid models that integrate local search or combine multiple metaheuristics [5, 6]. These techniques are evaluated under conflicting objectives, including minimization of travel costs, walking distances, and $CO_2$ emissions [7, 8], as well as maximization of coverage and social benefits [9, 10].

The comparative study of state-of-the-art methods [11, 12, 13, 14, 15] shows that evolutionary multi-objective approaches consistently outperform classical mathematical programming in generating diverse Pareto-optimal solutions and enabling decision-makers to explore trade-offs [16, 17]. However, persistent challenges remain: most studies rely on synthetic data or simplified assumptions, while real-world environmental benefits of carpooling hubs remain modest without supportive policy measures [18, 19].

The synthesis highlights that hybrid metaheuristics i.e balancing global exploration and local exploitation, offer the most promising direction for HLAPs [20, 21]. This work contributes to advancing decision-support tools for sustainable urban mobility by providing a structured comparative framework and by identifying research gaps. Future work should focus on integrating dynamic demand modeling [22], multimodal transport interactions [23, 24], and policy frameworks [25] to ensure practical and scalable implementations for greener mobility planning.

***Keywords***— Multi-objective optimization, Hub location-allocation problem, NSGA-II, Genetic Algorithms, MOPSO, Metaheuristics, Urban mobility, Sustainability.

# الملخص

يشكّل النمو السريع للتحضّر وتزايد الطلب على التنقّل تحدياتٍ أساسية أمام أنظمة النقل المستدام. ومن بين هذه التحديات، تبرز مسائل تحديد مواقع وتجميع المراكز (sPALH) كقضية محورية في تصميم بنى تحتية فعّالة لمشاركة السيارات والتنقّل متعدد الوسائط، حيث يتمثل الهدف في تحقيق التوازن بين سهولة الوصول، الكفاءة من حيث التكلفة، والأثر البيئي [1][2]. وتُصنّف هذه المسائل ضمن فئة المسائل الصعبة حسابياً (drah-PN)، مما يجعل حلها غير ممكن بالطرق الدقيقة في الحالات واسعة النطاق، وهو ما يستدعي اللجوء إلى أساليب التقريب، والخوارزميات الاستدلالية، والميتاهيوريستيك [3, 4].

تتناول هذه الأطروحة تطبيق التحسين متعدّد الأهداف على مسائل sPALH، مع التركيز على الميتاهيوريستيك المتقدّمة. يتم تحليل ومقارنة الخوارزميات التطورية مثل II-AGSN، و AG، و OSPOM، إلى جانب النماذج الهجينة التي تدمج البحث المحلي أو تجمع بين عدة ميتاهيوريستيك [5, 6]. وتُقيّم هذه التقنيات تحت أهداف متعارضة تشمل تقليل تكاليف التنقّل، مسافات المشي، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون $_2$OC [7, 8]، بالإضافة إلى تعظيم التغطية والفوائد الاجتماعية [9, 01].

تُظهر الدراسة المقارنة لأحدث الأساليب [11, 21, 31, 41, 51] أن المناهج التطورية متعدّدة الأهداف تتفوّق باستمرار على البرمجة الرياضية الكلاسيكية في إنتاج حلول مثلى متنوّعة (lamitpo-oteraP)، وتمكين صانعي القرار من استكشاف المفاضلات [61, 71]. ومع ذلك، تظل هناك تحديات قائمة، إذ تعتمد معظم الدراسات على بيانات اصطناعية أو افتراضات مبسّطة، بينما تبقى الفوائد البيئية الفعلية لمراكز مشاركة السيارات محدودة دون إجراءات سياسات داعمة [81, 91].

ويبرز من هذا التحليل أن الميتاهيوريستيك الهجينة، أي الموازنة بين الاستكشاف الشامل و الاستغلال المحلي، تمثّل الاتجاه الأكثر وعداً لمسائل sPALH [02, 12]. وتساهم هذه الدراسة في تطوير أدوات دعم القرار للتنقّل الحضري المستدام من خلال توفير إطار مقارن منظّم وتحديد الفجوات البحثية. كما ينبغي أن تركز الأعمال المستقبلية على دمج نماذج الطلب الديناميكي [22]، والتفاعلات بين وسائل النقل المتعددة [32, 42]، والأطر السياسية [52] لضمان تطبيقات عملية وقابلة للتوسّع من أجل تخطيط أكثر خضرة للتنقّل.

**الكلمات المفتاحية** — التحسين متعدّد الأهداف، مسألة تحديد مواقع وتجميع المراكز، خوارزمية II-AGSN، الخوارزميات الجينية، خوارزمية OSPOM، الميتاهيوريستيك، التنقّل الحضري، الاستدامة

# Résumé

La croissance rapide de l'urbanisation et de la demande en mobilité a engendré des défis majeurs pour les systèmes de transport durable. Parmi eux, les problèmes de localisation–allocation de hubs (HLAPs) sont devenus une préoccupation centrale dans la conception d'infrastructures efficaces de covoiturage et de mobilité multimodale, où l'objectif est d'équilibrer accessibilité, efficacité économique et impact environnemental [1][2]. Ces problèmes sont de nature NP-difficile et ne peuvent être résolus efficacement par des méthodes exactes pour des instances de grande taille, ce qui motive le recours à des méthodes d'approximation, heuristiques et métaheuristiques [3, 4].

Cette thèse explore l'application de l'optimisation multi-objectifs aux HLAPs, en se concentrant sur des métaheuristiques avancées. Des algorithmes évolutionnaires tels que le NSGA-II, les algorithmes génétiques (GA) et le MOPSO sont analysés et comparés, ainsi que des modèles hybrides intégrant des recherches locales ou combinant plusieurs métaheuristiques [5, 6]. Ces techniques sont évaluées selon des objectifs contradictoires, incluant la minimisation des coûts de déplacement, des distances de marche et des émissions de $CO_2$ [7, 8], ainsi que la maximisation de la couverture et des bénéfices sociaux [9, 10].

L'étude comparative des méthodes de pointe [11, 12, 13, 14, 15] montre que les approches évolutionnaires multi-objectifs surpassent systématiquement la programmation mathématique classique pour générer des solutions Pareto-optimales diversifiées et permettre aux décideurs d'explorer les compromis [16, 17]. Toutefois, des défis persistent : la plupart des études reposent sur des données synthétiques ou des hypothèses simplifiées, tandis que les bénéfices environnementaux réels des hubs de covoiturage demeurent limités sans mesures politiques d'accompagnement [18, 19].

La synthèse met en évidence que les métaheuristiques hybrides, c'est-à-dire l'équilibre entre exploration globale et exploitation locale, offrent la voie la plus prometteuse pour les HLAPs [20, 21]. Ce travail contribue à l'avancement des outils d'aide à la décision pour une mobilité urbaine durable en proposant un cadre comparatif structuré et en identifiant les lacunes de la recherche. Les travaux futurs devraient se concentrer sur l'intégration de la modélisation dynamique de la demande [22], des interactions de transport multimodal [23, 24], et des cadres politiques [25] afin de garantir des mises en œuvre pratiques et évolutives pour une planification de mobilité plus verte.

***Keywords***— Optimisation multi-objectifs, Problème de localisation-allocation de hubs, NSGA-II, Algorithmes génétiques, MOPSO, Métaheuristiques, Mobilité urbaine, Durabilité.