

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 5491 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbes



Master's Thesis

To obtain the diploma of **Engineering Degree**
Field of Study: **Computer Science**
Specialization: **Computer Systems Engineering**

Theme

**Optimizing the Vehicle Routing Problem (VRP)
with Time Windows under Uncertainty Constraints**

Presented by
Mohamed Khelifaoui

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

Ms. **BEZZAOUCHA Fatima Souad**
Ms. **TAOULI Amina**
Mr. **AZZA Mohamed**
Ms. **ELHANNANI Souad**

President of the Jury
Thesis Supervisor
Co-Supervisor
Examiner

Academic Year: 2024/2025

Abstract

Vehicle routing with time windows (VRPTW) lies at the intersection of operational efficiency and service reliability. In real operations, travel and service times, and sometimes demand, vary with context like traffic, weather, and event patterns, making deterministic plans brittle. This manuscript develops a coherent view of VRPTW under uncertainty that brings together modeling, prediction, and decision-making. First, it consolidates the optimization foundations: single- and multi-objective perspectives, canonical VRP/VRPTW formulations, and solution strategies, needed to reason about trade-offs among cost, punctuality, and fleet usage. Second, it surveys principled ways to handle uncertainty, comparing scenario-based stochastic programming, service-level (chance-constrained) models, and robust/distributionally robust optimization, with attention to calibration and out-of-sample evaluation.

Beyond deterministic models, this study considers how context-aware information and uncertainty estimates for travel and service times can be incorporated into routing decisions, with careful attention to temporal and spatial dependence so that path variability and on-time reliability are assessed realistically. It situates these choices within established benchmarks and the broader literature, outlining common assumptions, evaluation practices, and the trade-offs that arise when balancing efficiency, service levels, and computational tractability, thereby framing a rigorous, data-aware treatment of uncertainty in VRPTW that supports dependable planning under variable operating conditions.

Keywords: Vehicle Routing, Time Windows, Uncertainty, Stochastic Optimization, Robust/DRO, Chance Constraints, Travel-Time Prediction, Conformal/Quantile UQ, Multi-Objective Evaluation.

Résumé

L'acheminement des véhicules avec fenêtres de temps (VRPTW) se situe à l'intersection de l'efficacité opérationnelle et de la fiabilité du service. Dans les opérations réelles, les temps de trajet et de service, ainsi que parfois la demande, varient selon le contexte qui s'agit du trafic, conditions météorologiques ou événements, rendant les plans déterministes fragiles. Ce manuscrit développe une vision cohérente du VRPTW sous incertitude, intégrant modélisation, prédiction et prise de décision.

Dans un premier temps, il consolide les fondements de l'optimisation : les perspectives mono- et multi-objectives, les formulations canoniques du VRP/VRPTW et les stratégies de résolution, nécessaires pour analyser les compromis entre coût, ponctualité et utilisation de la flotte. Dans un second temps, il examine de manière rigoureuse les approches de traitement de l'incertitude, en comparant la programmation stochastique à base de scénarios, les modèles à niveau de service (contraintes de chance) et l'optimisation robuste ou distributionnellement robuste, tout en insistant sur la calibration et l'évaluation hors échantillon.

Au-delà des modèles déterministes, cette étude explore l'intégration d'informations contextuelles et d'estimations d'incertitude relatives aux temps de trajet et de service dans les décisions d'acheminement, en tenant compte de la dépendance temporelle et spatiale afin d'évaluer de manière réaliste la variabilité des trajets et la fiabilité des horaires. Elle replace ces choix dans le cadre des benchmarks établis et de la littérature existante, en mettant en évidence les hypothèses courantes, les pratiques d'évaluation et les compromis entre efficacité, niveau de service et complexité computationnelle. Ce travail propose ainsi une approche rigoureuse et fondée sur les données de la gestion de l'incertitude dans le VRPTW, favorisant une planification fiable dans des conditions opérationnelles variables.

Mots-clés : Routage de véhicules, Fenêtres de temps, Incertitude, Optimisation stochastique, Optimisation robuste/DRO, Contraintes de chance, Prédiction des temps de trajet, Quantification d'incertitude par conformal/quantile, Évaluation multi-objective.

الملخص

تُعدّ مسألة توجيه المركبات مع نوافذ زمنية (VRPTW) في صميم التوازن بين الكفاءة التشغيلية وموثوقية الخدمة. ففي العمليات الواقعية، تتغير أزمات السفر والخدمة، وأحياناً الطلب، تبعاً لعوامل السياق مثل حركة المرور، والطقس، والفعاليات، مما يجعل الخطط الحتمية هشة وغير مستقرة. يقدم هذا البحث رؤية متكاملة لمسألة توجيه المركبات تحت ظروف عدم اليقين، تجمع بين النمذجة، والتنبؤ، واتخاذ القرار.

في البداية، يُرسخ هذا العمل أسس التحسين الرياضي من خلال عرض المقاربات الأحادية والمتعددة الأهداف، والصيغ الكلاسيكية لمسائل VRP/VRPTW واستراتيجيات الحل المستخدمة لتحليل الموازنة بين التكلفة، والدقة الزمنية، واستخدام الأسطول. ثم يستعرض الطرق المنهجية لمعالجة عدم اليقين، من خلال مقارنة البرمجة العشوائية المعتمدة على السيناريوهات، ونماذج مستوى الخدمة (القيود الاحتمالية)، والتحسين القوي أو القوي توزيعياً، مع التركيز على المعايير والتقييم خارج العينة.

وعلاوةً على النماذج الحتمية، تبحث هذه الدراسة في كيفية دمج المعلومات السياقية وتقديرات عدم اليقين لأزمة السفر والخدمة ضمن قرارات التوجيه، مع مراعاة الارتباطين الزماني والمكاني لتقييم واقعي لتقلبات المسار وموثوقية الوصول في الوقت المحدد. كما تتضح هذه المقاربات ضمن إطار المقارنات المعيارية والأدبيات المتخصصة، مبرزة الافتراضات والممارسات التقييمية والتوازنات بين الكفاءة ومستوى الخدمة وقابلية الحساب. وبذلك، يقدم هذا العمل معالجة علمية ومنهجية قائمة على البيانات لعدم اليقين في مسألة توجيه المركبات ذات النوافذ الزمنية، بما يدعم التخطيط الموثوق في بيئات تشغيلية متغيرة.

الكلمات المفتاحية: توجيه المركبات، النوافذ الزمنية، عدم اليقين، التحسين العشوائي، التحسين القوي/التوزيعي، القيود الاحتمالية، التنبؤ بزمن السفر، تقدير عدم اليقين بطريقة الكواتنيل أو الكونفورمال، التقييم متعدد الأهداف.