

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Setif 1 University Ferhat Abbas
Faculty of Sciences
Department of Mathematics



جامعة سطيف 1 فرحات عباس
كلية العلوم
قسم الرياضيات

Master's Thesis in Mathematics

Option : Applied Mathematics

Theme :

MACHINE LEARNING FOR OPERATIONS RESARCH

Presented by

Miss. Lamis BENHACHICHE

Supervisor: **Pr. Nourreddine DAILI**

Thesis defended on June 03, 2026, in front of the jury composed of:

Mr. Rachid CHEURFA	Prof. Setif 1 University Ferhat Abbas	President
Mr. Nourreddine DAILI	Prof. Setif 1 University Ferhat Abbas	Supervisor
Mr. Salim MESBAHI	Prof. Setif 1 University Ferhat Abbas	Examiner

2025/2026

Abstract

This memory deals with the hybridization between Machine Learning and Operations Research in optimization problems. It presents the fundamental of both fields and their main methods. The study highlights their complementarity in decision-making and optimisation improvement. An application to vehicle routing problems was also discussed. The results show that the ML-OR combination is a promising approach for solving complex problems.

MSC2020: 90-XX, 68T05, 90C59, 90Cxx, 90B50, 90B06.

Keywords: Operations Research, Machine Learning, hybridisation, optimisation algorithm, decision support, vehicle routing.

Résumé

Ce mémoire traite de l'hybridation entre le Machine Learning et la Recherche Opérationnelle dans les problèmes d'optimisation. Il présente les fondements de ces deux domaines ainsi que leurs principales méthodes. L'étude met en évidence leur complémentarité dans l'aide à la décision et l'amélioration des solutions d'optimisation. Une application aux problèmes de tournées de livraison a également été abordée. Les résultats montrent que la combinaison ML-RO constitue une approche prometteuse pour résoudre des problèmes complexes.

Mots-clés: Recherche Opérationnelle, Machine Learning, hybridation, algorithmes d'optimisation, aide à la décision, tournées.

الملخص

تتناول هذه المذكرة موضوع الدمج بين التعلم الآلي وبحوث العمليات من مسائل التحسين. ثم عرض المفاهيم الأساسية لكل المجالين وأهم الطرق المستخدمة فيهما. كما توضح الدراسة التكامل بينهما في تحسين اتخاذ القرار وحل المشكلات المعقدة. تم تقديم تطبيقا يتعلق بمشكلات مسارات التوصيل. قد أظهرت النتائج أن الدمج بين التعلم الآلي وبحوث العمليات يمثل مقاربة واعدة في مجال التحسين.

الكلمات المفتاحية: بحوث العمليات، التعلم الآلي، التهجين، خوارزميات التحسين، المساعدة على اتخاذ القرار، مسارات التوصيل.

Table des matières

Liste des Figures	i
Liste des Tables	ii
Liste des acronymes	iii
Introduction générale	iv
1 Fondements de la Recherche Opérationnelle	1
1.1 Introduction	2
1.2 Définition de la recherche opérationnelle	2
1.3 Modélisation dun problème doptimisation	3
1.3.1 Variables de décisions	3
1.3.2 Contraintes	3
1.3.3 Fonction objectif (ou fonction économique)	3
1.4 Principales méthodes de la Recherche Opérationnelle	5
1.4.1 Programmation Linéaire	8
1.4.2 Méthodes heuristiques	8
1.4.3 Les méta-heuristiques	9
1.5 Les limites de la Recherche Opérationnelle	10
1.5.1 Difficulté de résolution des problèmes complexes	10
1.5.2 Simplification excessive des systèmes réels	10
1.5.3 Difficulté dadaptation aux environnements incertains	11
1.5.4 Difficulté de mise en uvre pratique	11
1.6 Conclusion	12
2 Fondements sur le Machine Learning	13
2.1 Introduction	14
2.2 De lIntelligence Artificielle au Machine Learning	14
2.2.1 Lintelligence artificiel	14
2.2.2 Le Machine Learning	14

2.3	Survol historique du Machine Learning	15
2.4	Les principaux paradigmes de Machine Learning	18
2.4.1	Apprentissage supervisé	19
2.4.2	Apprentissage non supervisé	19
2.4.3	Apprentissage par renforcement	20
2.5	Algorithmes traditionnels de Machine Learning	20
2.5.1	Régression linéaire	20
2.5.2	Régression logistique	21
2.5.3	Arbres de décision	21
2.5.4	Forêt aléatoire (Random Forest)	21
2.5.5	K-moyennes	22
2.6	Processus de Machine Learning	22
2.6.1	Types de données	22
2.6.2	Acquisition et préparation de données	23
2.6.3	Choix du modèle	24
2.6.4	Entraînement du modèle	24
2.6.5	Évaluation du modèle	24
2.6.6	Déploiement du modèle	24
2.7	Application et domaine du Machine Learning	25
2.8	Conclusion	27
3	Hybridation entre Machine Learning et Recherche Opérationnelle	28
3.1	Introduction	29
3.2	Pourquoi combiner ML et RO	29
3.2.1	Rôles respectifs de la RO et le ML	30
3.2.2	Archétypes de combinaison	30
3.3	Les différents types d'hybridation	32
3.3.1	Hybridation séquentielle	32
3.3.2	Hybridation itérative	32
3.3.3	Hybridation intégrée	33
3.3.4	Hybridation par modèle substitut (surrogate)	35
3.4	Implémentation et résultat	37
3.4.1	Présentation du problème: Optimisation de tournées de livraison	37
3.4.2	Application de l'approche de Machine Learning pour l'estimation des temps de trajet	41
3.4.3	Exploitation des prédictions du ML par la recherche opérationnelle	48

3.4.4	Résultats et comparaison	52
3.4.5	Discussion et limites de l'approche	53
3.5	Conclusion	54
Conclusion		55