

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ D'ALGER 1 BEN YUCEF BEN KHEDDA  
FACULTÉ DES SCIENCES



# Mémoire de fin d'étude

pour l'obtention du diplôme de

**Master (Mathématiques)**

Option : Recherche opérationnelle

## Thème

**Résolution approchée du problème de tournée des  
véhicules hétérogènes avec fenêtres temporelles HVRPTW**

Présentée par :

**MEDJERREDINE HOUDA & BENDAHDANE NOUR EL HOUDA**

Encadrée par :

**M<sup>me</sup> ZERFA LAMIA & M<sup>me</sup> BENRABIA IMÈNE**

Soutenu le 17 Octobre 2021 devant le jury composé de :

M <sup>me</sup> L. ZERFA	M.A.A à Université d'Alger 1	Encadrante
M <sup>me</sup> M. AIT ABDESSELAM	M.A.A à Université d'Alger 1	Examinatrice
M <sup>me</sup> R. OULD MOHAMED	M.A.A à Université d'Alger 1	Présidente
M <sup>me</sup> I. BENRABIA	Ingénieur à Cerist	Invitée

**Année Universitaire :2020/2021**

## *Dédicaces*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A ma très chère mère :*

*Celle qui était ma mère, ma sœur affectueuse et mon amie fidèle. Je la trouve toujours à mes côtés, celle qui est la sérénité de mon cœur, mon réconfort et mon plaisir dans la vie. Sa présence est ma source d'inspiration et ma force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père :*

*Tu as été toujours mon soutien et ma sécurité dans la vie, mon courage, ma confiance et ma force. Tu cherche toujours mon confort et que rien ne m'empêche de terminer mes études. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail reflète ma gratitude et mon affection.*

*A ma belle sœur et mes très chers frères :*

*Puisse Dieu vous donnez santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

*A toutes mes meilleurs amies.*

*Et tous ceux qui m'ont aidé et contribué à ce modeste travail.*

*Nour El Houda BENDAHMANE*

## *Dédicaces*

*A la mémoire de ma chère mère qui attendait avec impatience ce jour.  
Celle qui n'a jamais cessé de m'encourager, me motiver et m'écouter avec  
autant de patience,*

*sans qui je n'aurais jamais été là où je suis ni comme je le suis.*

*Que Dieu, le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis.*

*A mon cher père,*

*pour la confiance qu'il m'a accordé, les vraies valeurs qu'il m'a inculqué  
et les sacrifices qui a consentis pour m'assurer les conditions propices à ma  
réussite.*

*A mes frères et leurs petites familles,*

*source de joie et de bonheur.*

*A mes chères sœurs que j'adore*

*et particulièrement à ma jumelle Amira.*

*A tous mes proches et mes amies*

*qui ont cru en moi.*

*Je dédie ce fruit de plusieurs années d'études*

*en signe de reconnaissance.*

*Houda MEDJERREDINE*

## Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la santé pour terminer ce mémoire malgré les circonstances que nous vivions lors de sa réalisation.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus chaleureux que nous devons à nos familles en particuliers à nos parents, pour leurs présence, soutien moral et la confiance qu'ils nous ont fait. Également, avec beaucoup d'émotions nous exprimons nos remerciements à nos frères et sœurs pour leurs encouragements et simplement pour leur existence dans notre vie.

Nos vifs remerciements et respects s'adressent également à *Mme ZERFA Lamia* de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail et nous orienter, ainsi à *Mme BENRABIA Imène* de l'équipe théorie et ingénierie des systèmes informatiques qui sans elle ce mini projet n'aurait pas pu voir sa naissance. Nous tenons à les remercier énormément pour leurs aide, remarques et patience tout au long de ce projet. Sans oublier l'équipe de recherche de CERIST, en particulier *NOURI Sarah*, nous tenons à témoigner notre reconnaissance d'avoir répondu à toutes nos questions.

Nous souhaiterions exprimer notre gratitude et reconnaissance au *Pr BELBACHIR Hacène* pour son accueil au sein du CERIST et de nous avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage.

Notre profond respect et remerciements vont aussi aux membres du jury : *Mme ZERFA Lamia*, *Mme AIT ABDESSELAM Maya*, *Mme OULD MOHAMED Ryma* et *Mme BENRABIA Imène* d'avoir accepté de faire partie du jury de notre soutenance ainsi qu'au temps consacré par eux dans la lecture, l'examen et l'évaluation de notre mémoire.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe pédagogique de l'université d'Alger 1. Nous devons beaucoup aux enseignants qui nous ont accompagné tout au long de notre cursus universitaire en particulier *Mr BENAMIRA Elias*.

Nous ne pouvons passer sans remercier *Dr. Assia MEDJERREDINE* (Enseignante à l'USTHB) pour son aide, son soutien moral et ses remarques.

Enfin, Merci à tous ceux qui ont contribué à mener ce travail à sa fin.

Merci à tous.

---

## Résumé

La gestion des activités de distribution constitue un problème décisionnel majeur dans nombreuses organisations, ce qui fait du VRP (Problème de Tournée des Véhicules), un grand classique des problèmes d'optimisation combinatoire.

Dans le cadre d'un projet de recherche initié par le CERIST qui consiste à résoudre des différentes variantes du VRP. Nous sommes intéressées à traiter la variante HVRPTW (Problème de Tournées de Véhicules Hétérogènes avec Fenêtres Temporelles), en premier lieu, nous résolvons ce dernier par une méthode exacte en utilisant le solveur CPLEX basé sur le principe de la méthode Branch & Cut. Afin d'obtenir une solution pour ce problème de manière rapide et efficace nous proposons une heuristique adaptée à l'heuristique Clark & Wright, l'heuristique des économies qui est le modèle de référence pour la résolution du problème classique de tournées de véhicules. Ainsi, une métaheuristique adaptée à la recherche tabou. Les résultats expérimentaux montrent que notre heuristique donne une solution approchée au résultat optimal en temps d'exécution plus rapide comparativement au solveur CPLEX.

**Mots clés :** Optimisation combinatoire, VRP, hétérogène, heuristique de Clark & Wright, la recherche tabou.

---

## Abstract

The management of distribution activities is a major decision-making problem in many organizations, which makes VRP (Vehicle Routing Problem) a classic of combinatorial optimization problems.

As part of a research project initiated by CERIST which consists of solving different variants of VRP. We are interested in treating the HVRPTW variant (Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows), first, we solve the latter by an exact method using the CPLEX solver based on the principle of the Branch & Cut method. In order to obtain a solution for this problem quickly and efficiently, we propose a heuristic adapted to the Clark & Wright heuristic, the economy heuristic which is the reference model for the resolution of the classic vehicle routing problem. Also, a metaheuristic adapted to tabu search. The experimental results show that our heuristic gives an approximate solution with the optimal result in faster execution time compared to the CPLEX solver.

**Keywords :** Combinatorial optimization, VRP, heterogeneous, Clark & Wright heuristics, tabu search.

# Table des matières

Remerciements . . . . .	i
Résumé . . . . .	ii
Abstract . . . . .	iii
Table des matières . . . . .	iv
<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE</b>	<b>4</b>
1.1 Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique CERIST . .	6
1.2 HISTORIQUE . . . . .	6
1.3 Production scientifique . . . . .	6
1.4 Domaines de recherche . . . . .	7
1.5 Organisme . . . . .	7
1.6 Formation . . . . .	8
1.6.1 Formations qualifiantes . . . . .	8
1.6.2 Formations diplômantes . . . . .	8
1.7 Produits et logiciels . . . . .	8
1.8 Missions . . . . .	10
1.9 Évènements scientifiques . . . . .	11
<b>2 CONCEPTS DE BASE SUR L'OPTIMISATION COMBINATOIRE</b>	<b>12</b>
2.1 Introduction . . . . .	14
2.2 Définition de l'optimisation combinatoire . . . . .	14
2.3 Complexité . . . . .	14
2.3.1 Complexité des algorithmes . . . . .	15
2.3.2 La complexité des problèmes [1] [33] . . . . .	15
2.4 Quelques problèmes d'optimisation combinatoire . . . . .	16
2.4.1 Problème de sac à dos : "knapsack" [7] . . . . .	16
2.4.2 Problème du voyageur de commerce [7] . . . . .	17

2.5	Méthodes de résolution . . . . .	18
2.5.1	Méthodes exactes . . . . .	18
2.5.2	Méthodes approchées . . . . .	20
2.6	Conclusion . . . . .	23
<b>3</b>	<b>PROBLÈME DE TOURNÉE DES VÉHICULES HÉTÉROGÈNES AVEC FENÊTRES DE TEMPS</b>	<b>25</b>
3.1	Introduction . . . . .	27
3.2	Problème de tournée de véhicules -VRP . . . . .	27
3.3	Variantes du VRP : . . . . .	27
3.3.1	Problème de tournée de véhicule ouvert (OVRP) . . . . .	28
3.3.2	Problème de tournée de véhicule avec les fenêtres de temps (VRPTW) : . . . . .	28
3.3.3	Problème de tournée de véhicules multi-dépôts (MDVRP) : . . . . .	28
3.3.4	Problèmes de ramassage et livraison : . . . . .	29
3.3.5	Problème de routage de véhicule de flotte hétérogène : . . . . .	29
3.3.6	Problème de tournée de véhicule périodique : . . . . .	29
3.3.7	Problèmes de routage de véhicule stochastique et dynamique : . . . . .	30
3.3.8	Problème de tournée de véhicules hétérogènes avec des fenêtres temporelles 'HVRPTW' : . . . . .	30
3.4	Quelques heuristiques pour le problème de VRP . . . . .	31
3.5	Conclusion . . . . .	36
<b>4</b>	<b>MODÉLISATION ET RÉOLUTION DU PROBLÈME HVRPTW</b>	<b>37</b>
4.1	Introduction . . . . .	39
4.2	Position du problème . . . . .	39
4.3	Etat de l'art . . . . .	40
4.4	Modélisation mathématique du HVRPTW . . . . .	41
4.4.1	Définition des paramètres et variables utilisés . . . . .	41
4.4.2	Présentation des contraintes : . . . . .	42
4.4.3	La fonction objectif . . . . .	44
4.5	Résolution exacte du problème HVRPTW . . . . .	45
4.5.1	CPLEX comme un solveur de programme linéaire . . . . .	45
4.5.2	Résolution avec le solveur CPLEX . . . . .	46
4.6	Résolution par une heuristique adaptée au problème HVRPTW : . . . . .	51



4.7 Etude comparative . . . . .	59
4.8 Résolution par une métaheuristique adaptée au problème HVRPTW : . . . .	60
<b>Conclusion générale</b>	<b>63</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>65</b>