

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De La recherche Scientifique
Université DE Mohamed El Bachir El Ibrahimi B-B-A
Faculté Des Mathématiques Et d'Informatique
Département Informatique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

Master en Informatique

Spécialité : Ingénierie de L'Informatique Décisionnelle

THEME

**L'algorithme Séquentielle (Réduit Simulé+
Algorithme 2-Opt Pour La Résolution Du Problème
De Routage De Véhicules avec Capacité (PRVC).**

Présenté Par :

SOUABNI Adem

BELHOUL Abd Eraouf

Devant le jury composé :

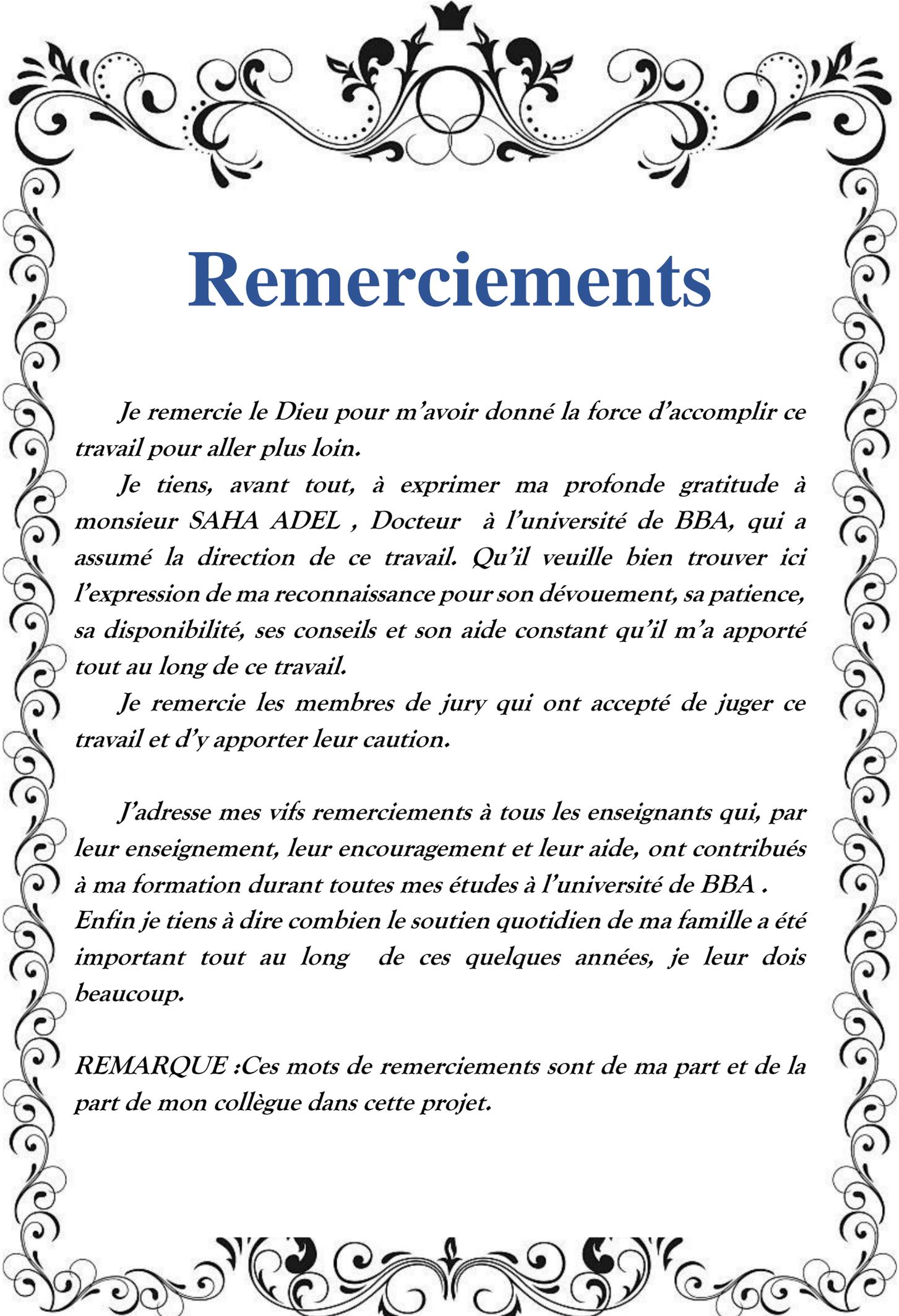
Président : Mr : ZOUACH Djafer MCA à L'U.Elbachir El' Ibrahimi-BBA

Examineur:Mr:BOUMAZA Farid MCA à L'U.Elbachir El' Ibrahimi-BBA

Examineur:Mm:BADAOUI Atika MCA à L'U.Elbachir El' Ibrahimi-BBA

Encadrant : Mr : SAHA ADEL MCA à L'U.Elbachir El' Ibrahimi-BBA

Promotion :2020/2021

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns surrounds the text. At the top center, there is a crown-like motif. The border consists of repeating scroll and leaf designs that frame the central content.

Remerciements

Je remercie le Dieu pour m'avoir donné la force d'accomplir ce travail pour aller plus loin.

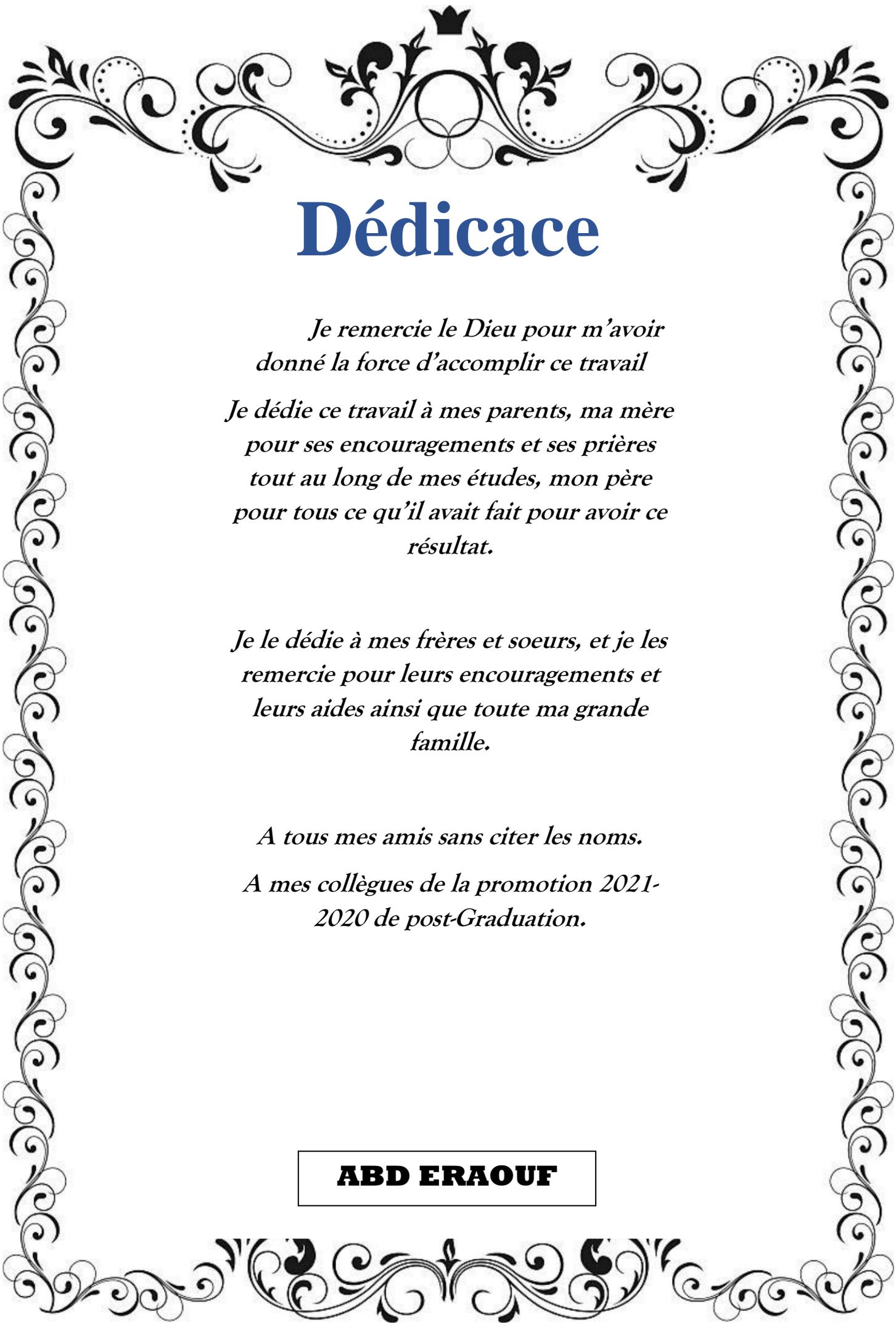
Je tiens, avant tout, à exprimer ma profonde gratitude à monsieur SAHA ADEL , Docteur à l'université de BBA, qui a assumé la direction de ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour son dévouement, sa patience, sa disponibilité, ses conseils et son aide constant qu'il m'a apporté tout au long de ce travail.

Je remercie les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail et d'y apporter leur caution.

J'adresse mes vifs remerciements à tous les enseignants qui, par leur enseignement, leur encouragement et leur aide, ont contribué à ma formation durant toutes mes études à l'université de BBA .

Enfin je tiens à dire combien le soutien quotidien de ma famille a été important tout au long de ces quelques années, je leur dois beaucoup.

REMARQUE : Ces mots de remerciements sont de ma part et de la part de mon collègue dans ce projet.



Dédicace

*Je remercie le Dieu pour m'avoir
donné la force d'accomplir ce travail*

*Je dédie ce travail à mes parents, ma mère
pour ses encouragements et ses prières
tout au long de mes études, mon père
pour tous ce qu'il avait fait pour avoir ce
résultat.*

*Je le dédie à mes frères et soeurs, et je les
remercie pour leurs encouragements et
leurs aides ainsi que toute ma grande
famille.*

A tous mes amis sans citer les noms.

*A mes collègues de la promotion 2021-
2020 de post-Graduation.*

ABD ERAOUF



Dédicace

*Je remercie le Dieu pour m'avoir
donné la force d'accomplir ce travail*

*Je dédie ce travail à mes parents, ma mère
pour ses encouragements et ses prières
tout au long de mes études, mon père
pour tous ce qu'il avait fait pour avoir ce
résultat.*

*Je le dédie à mes frères et soeurs, et je les
remercie pour leurs encouragements et
leurs aides ainsi que toute ma grande
famille.*

A tous mes amis sans citer les noms.

*A mes collègues de la promotion 2021-
2020 de post-Graduation.*

ADEM

Table De Métiers

Remerciements	
Dédicace	
Dédicace	
Table De Métiers	
Table Des Tableaux:.....	
Table Des Figures:	
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I : L'optimisation combinatoire	3
I.1- Introduction	4
I.2- Définition L'optimisation Combinatoire :	4
I.3- Définition Problème Combinatoire :	4
I.4 Un Problème D'optimisation	5
I.4.1 Définition :	5
I.4.2 Fonction objective :	6
I.4.3 Caractéristique D'un Problème D'optimisation :	6
I.4.4 Classification Des Problèmes D'optimisation :	7
I.4.5 Domaines D'application D'optimisation Combinatoire :	8
I.5 Exemples De Problèmes D'optimisation Combinatoire :	8
I.5.1 Problème Du Voyageur De Commerce :	8
I.5.2 Problème Du Sac-A-Dos (KNAPSACK PROBLEM) :	9
I.5.3- Problème De 8-Queen :	10
I.5.4- Problème De Routage De Véhicules (VRP) :	10
I.6-Méthode De Résolutions Des Problèmes D'optimisation :	11
I.6.1-Méthode Exacte :	11
I.6.2-Méthodes Approchées :	12
I.6.2.1-Méthodes Heuristiques :	12
I.6.2.2-Méthodes Méta Heuristiques :	13
I.7-Taxonomie Des Méthodes De Résolution :	14
I.8-Les Différentes Méthodes De Résolution En Optimisation Combinatoire :	15
I.8 Conclusion :	16
CHAPITRE II : Le problème de routage de véhicules (VRP)	17
II.1: Introduction	18
II.2 Définition Du Problème De Routage De Véhicules (VRP) :	18
II.3 Formulation Mathématiques :	20

II.4 Variantes Du Problème VRP :	23
II.4.1 Problème De Tournées De Véhicules Dynamique(PTVD) Dynamic Vehicle Routing Problem :	24
II.4.2 Le Problème De Tournées De Véhicules Avec Fenêtres De Temps(VRPFT), (Vehicle Routing Problem With Time Windows):	25
II.4.3 MDVRP(Multi-Depot Vehicle Routing Problem) :	26
II.4.4 (HVRP) Le Hétérogène Véhicule Routing Problème:	28
II.4.5 VRPB (Véhicule Routing Problème with Backhauls) :	29
II.4.6 SVRP (Stochastique Véhicule Routing Problème) :	29
II.4.7 PVRP (Périodique Véhicule Routing problème) :	30
II.4.8 TSP (Traveling Salesman Problème) :	31
II.4.9 Open Vehicle Routing Problem (OVRP) :	32
II.4.10 CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) :	32
II.4.11 MPVRP (Problème de Tournées de Véhicule à Produits Multiples) :	32
II.5 Classification Des Variantes De VRP :	33
II.6 Conclusion	34
CHAPITRE III : Résolution problème routage de véhicules par algorithme hybride [recuit simulé (Simulated Annealing) +2-opt]	35
III.1 Introduction :	36
III.2 Définition méthode hybride :	36
III.3 La Méthode De Recuit Simulé:	37
III.3.1 Définition recuit simulé (Simulated Annealing) :	37
III.3.3 Principe De La Méthode Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :	37
III.3.4 Algorithme De Metropolis :	37
III.3.5 Domaines D'applications De La Méthode Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :	38
III.3.6 Organigramme Général Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :	39
III.3.7 Algorithme du recuit simulé (Simulated Annealing) :	40
III.3.8.1 Avantages Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :	41
III.3.8.2 Inconvénients Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :	41
III.4 L'algorithme 2-opt :	42
III.4.1 Définition 2-opt :	42
III.4.2 Principe D'amélioration 2-opt :	42
III.4.3 Algorithme D'amélioration 2-Opt :	43
III.5 Conclusion :	44
CHAPITRE IV : Réalisation et résultats	45
IV.1 Introduction :	46

IV.2 Outils matériels et logiciels :.....	46
IV.2.1 Configuration matériels :.....	46
IV.2.2 Environnement logiciel :	46
IV.3 L'organigramme de l'algorithme hybride (recuit simulé +2-opt) sur le problème routage de véhicule.....	48
IV.3 Résultats et discussions :.....	49
IV.3.1 configuration les paramètres de recuit simulé (Simulated Annealing) :	49
IV.3.1.1 les paramètres de recuit simulé :.....	49
IV.3.1.2 Discussions Des Résultats Des Modeles VRP :	49
IV.4 Conclusion :	53
Conclusion générale :	54
Bibliographie :.....	55
Résumé :	58
Summary:	58
ملخص :	58

Table Des Tableaux:

TABLEAUX	PAGES
Tableau (II.01) : Caractéristiques du problème VRP	30
Tableau IV.1 : Caractéristique de l'outil utilisé, MATLAB	54
Tableau IV.2 : Les résultats de tests du modèle VRP (30, 5)	56
Tableau IV.3 : Les résultats de tests du modèle VRP (40, 6)	57
Tableau IV.4 : Les résultats de tests du modèle VRP (50, 7)	57
Tableau IV.5 : Les résultats de tests du modèle VRP (60, 7)	58
Tableau IV.6 : Les résultats de tests du modèle VRP (70, 8)	58
Tableau IV.7 : Comparaison entre VR ² P-SA et VRP-SA+2-opt	59

Table Des Figures:

Des Figures	PAGES
Figure I.01 : situation d'un problème combinatoire d'une voiture	11
Figure (I.02): Le problème du sac à dos	15
Figure (I.03) : exemple problème 8-Queen	16
Figure (I.04) : un problème de routage de véhicules	17
Figure (I.05) :classification générale des méthodes de résolution	20
Figure (I.06) : Les différentes méthodes de résolution en optimisation combinatoire	21
Figure(II.01): Un exemple de problème de VRP à $n = 20$ clients résolu avec $m = 4$ véhicules.	25
Figure (II.02) : Le problème DVRP	31
Figure (II.03) : Exemple de fenêtre de temps sur un client.	32
Figure (II.04) : Un exemple de MDVRP avec 3 dépôts et 9 clients.	33
Figure (II.05) :Une carte représentant les points de vente mondiaux de Samsung	34
Figure (II.06): distribution de GPL	35
Figure (II.07): Emplacements des clients de déchets à faible risque	37
Figure (II.08): exemple TSP	37
Figure (II.09): Organigramme Structuré Les Contraintes Avec Son Variante	39
Figure III.1 : Organigramme général du recuit simulé	46
Figure VI.1 : Organigramme De L'algorithme Hybride (Recuit Simulé + 2-Opt) Sur VRP	55

Introduction Générale

Introduction Générale

Aujourd'hui, Le domaine de la recherche opérationnelle peut aider les entreprises à obtenir des ensembles de données plus complets, à considérer toutes les options disponibles, à prédire tous les résultats possibles et à estimer le risque. En outre, elle peut être adaptée à des processus métier spécifiques ou à des cas d'utilisation pour déterminer les techniques les plus appropriées pour résoudre le problème ou elle recouvre des méthodes et techniques rationnelles pour trouver la meilleure façon de faire un choix et aboutir au résultat visé ou au meilleur résultat possible.

La Recherche Opérationnelle (RO), est la discipline des outils et méthodes scientifiques utilisables pour élaborer de meilleures solutions. C'est un ensemble de méthodes et techniques visant à résoudre des problèmes réalistes (programmes mathématiques minimisant ou maximisant un ou plusieurs critères en respectant certaines conditions dites « contraintes ») modélisant des problèmes réels dans différents domaines (économie, finance, gestion, transport, logistique, communication, etc.). Elle appartient aux mathématiques appliquées, elle cherche la meilleure solution et la plus optimale dans tous les problèmes.

L'optimisation joue un rôle important en recherche opérationnelle (domaine à la frontière entre l'informatique, les mathématiques et l'économie), il est nécessaire que RO visant à résoudre les problèmes d'optimisation pour trouver la ou les meilleures solutions vérifiant un ensemble de contraintes et d'objectifs définis par l'utilisateur. Nous avons deux types d'optimisation : l'optimisation continue et l'optimisation combinatoire.

L'optimisation combinatoire cherche le meilleur choix selon un critère donné parmi un ensemble des choix possibles pour des problèmes d'ordre théorique ou pratique. La plupart de ces problèmes d'optimisation appartiennent à la classe des problèmes NP-difficile ne possèdent pas, à ce jour, un algorithme général permettant de les résoudre en un temps polynomial.

La résolution des problèmes d'optimisation combinatoire sont classifiées en deux grandes catégories : Les méthodes exactes et Les méthodes approchées qui sont classifiées en Heuristiques et Méta-heuristique, ces méthodes permet de définir et d'apporter une meilleur solution a un problème donné.

Introduction Générale

Parmi ces problèmes, nous trouvons **le problème de routage véhicule mono dépôt** qui est facile à comprendre mais très difficile à résoudre. En effet, les chercheurs du domaine ont trouvé plusieurs algorithmes pour résoudre le problème mais malheureusement dans le cas général on a pas encore trouver une solution exacte, en ce cas on trouve que les meilleures solutions basées sur les algorithmes de recuit simulé (Simulated Annealing). Ces algorithmes sont l'un des meilleurs algorithmes qui nous donne de bonnes solutions approximatives.

Nous proposons, dans cette mémoire, d'étudier, d'améliorer un méthode hybride de l'algorithme recuit simulé (Simulated Annealing) avec l'algorithme 2-opt pour la résolution du **problème de routage véhicule mono dépôt**.

Organisation du mémoire :

Ce mémoire est organisé de la façon suivante :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités de L'optimisation combinatoire
- ✓ Dans le deuxième chapitre, nous allons détailler la définition et expliquer les principes variantes du problème de routage véhicule (vehicule routing problem)
- ✓ Le troisième chapitre, nous allons présenter les deux algorithmes Recuit simulé et 2-opt qui utilisé dans une méthode hybride pour résoudre ce problème
- ✓ Le quatrième chapitre est consacré à la réalisation de la méthode hybride de problème de routage véhicule avec l'algorithme recuit simulé combiné avec l'algorithme 2-opt et la discussion des résultats obtenus.

C

HAPITRE I :

L'optimisation combinatoire

I.1- Introduction

Durant le temps, beaucoup des problèmes encours de pratique nécessite le meilleur choix, selon un critère donné, parmi un ensemble de choix possibles, souvent très large, lorsque ces problèmes sont comme une problématique de choix d'une meilleure alternative dans un ensemble très grand mais fini d'alternative, elle nécessite un cadre formel pour résoudre ces problèmes, ce cadre nommé L'optimisation combinatoire.

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques concepts et exemples d'optimisation combinatoire.

I.2- Définition L'optimisation Combinatoire :

L'optimisation combinatoire : (sous-ensemble à nombre de solutions finies de l'optimisation discrète) est une branche de l'optimisation en mathématiques appliquées et en informatique, également liée à la recherche opérationnelle, l'algorithmique et la théorie de la complexité.

I.3- Définition Problème Combinatoire :

Un problème combinatoire est toute situation dont on cherche d'avoir une solution tout en respectant la présence d'un ensemble de contraintes. La solution c'est un résultat de faire combiner ces contraintes ensemble d'une manière qu'on maximise quelques-uns et on minimise les autres, ces contraintes ont une caractéristique primordiale, c'est que chaque contrainte influe sur les autres soient quand on minimise sa valeur ou on la maximise, dans un autre terme on dit que les contraintes sont conflictuelles.

Par exemple, le schéma suivant présente une situation de problème combinatoire : ou on veut acheter une voiture dans la mode et en même temps avec un prix raisonnable qui ne peut pas dépasser certaine limite. Si on maximise la première contrainte (une bonne voiture) on va avoir un prix maximal, dans le contraire on va aboutir à une mauvaise voiture mais avec un prix minimal dans les limites ; on constate dans cet exemple que c'est difficile d'arranger ces deux contraintes dans nos besoins. [1]

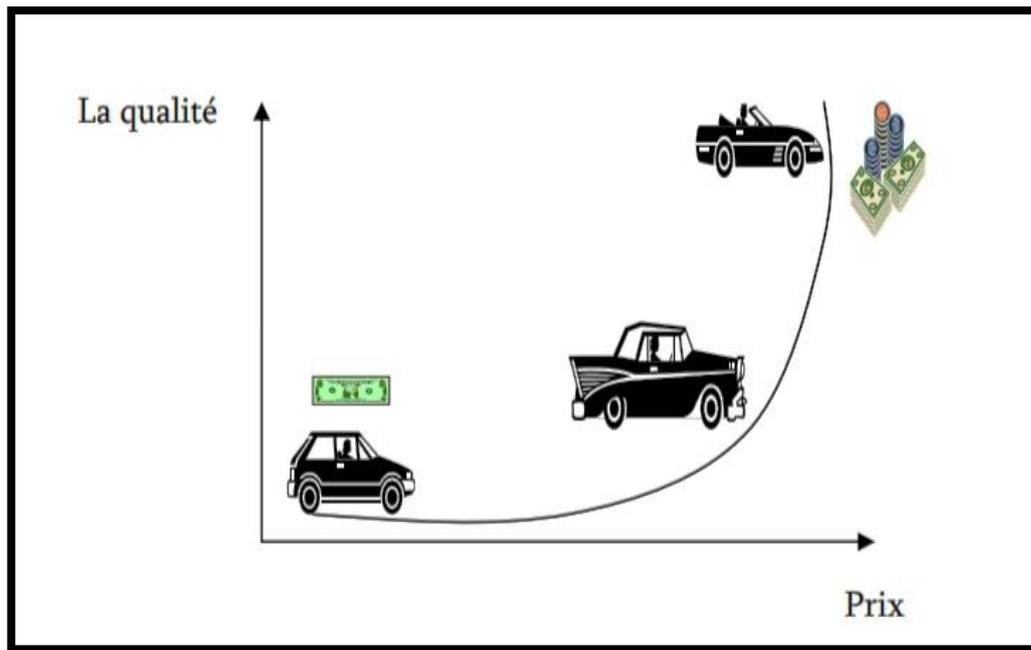


Figure I.01 : situation d'un problème combinatoire d'une voiture. [1]

I.4 Un Problème D'optimisation

I.4.1 Définition :

En mathématiques, en informatique et en économie, un problème d'optimisation est le problème de trouver la meilleure solution parmi toutes les solutions possibles.

Les problèmes d'optimisation peuvent être divisés en deux catégories, selon que les variables sont continues ou discrètes :

- Un problème d'optimisation avec des variables discrètes est connu sous le nom d'optimisation discrète, dans laquelle un objet tel qu'un entier, une permutation ou un graphique doit être trouvé à partir d'un ensemble dénombrable.
- Un problème avec des variables continues est connu comme une optimisation continue, dans laquelle une valeur optimale d'une fonction continue doit être trouvée. Ils peuvent inclure des problèmes contraints et des problèmes multimodaux.

I.4.2 Fonction objective :

C'est le nom donné à la fonction f (on l'appelle encore fonction de coût ou critère d'optimisation). C'est cette fonction que l'algorithme d'optimisation va devoir « optimiser » (trouver un optimum).

Mathématiquement parlant, un problème d'optimisation se présenter sous la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \blacksquare \min f(\bar{x}) \text{ (Fonction à optimiser)} \\ \blacksquare \text{ avec } \bar{g}(\bar{x}) \leq 0 \text{ (} \bar{g}(\bar{x}) \leq 0 \text{ m contraintes d'inégalité (I,1)} \\ \blacksquare \text{ et } \bar{h}(\bar{x}) = 0 \text{ (} p \text{ contraintes d'Egalite)} \end{array} \right.$$

$$\text{On a } \bar{x} \in R^n, \bar{g}(\bar{x}) \in R^m, \bar{h}(\bar{x}) \in R^p$$

Ici les vecteurs $\bar{g}(\bar{x})$ et $\bar{h}(\bar{x})$ représentent respectivement m contraintes d'inégalité et p contraintes d'Egalite[2]

I.4.3 Caractéristique D'un Problème D'optimisation :

- Un problème d'optimisation est défini par un espace d'état, une ou plusieurs fonction(s) objective(s) et un ensemble de contraintes.
- Les variables du problème peuvent être de nature diverse (réelle, entière, booléenne, etc.) et sont exprimées de données qualitatives ou quantitatives.
- Une fonction objective représente le but à atteindre pour le décideur (minimisation de coût, de durée, d'erreur, ...). Elle définit un espace de solutions potentielles au problème.
- L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche.
- Une méthode d'optimisation cherche le point ou un ensemble de points de l'espace d'état possible qui satisfait au mieux un ou plusieurs critères. Le résultat est appelé valeur optimale ou optimum. [3]

I.4.4 Classification Des Problèmes D'optimisation :

On peut classer les différents problèmes d'optimisation que l'on rencontre dans la vie courante en fonction de leurs caractéristiques :

1 - Nombre de variables de décision :

- Une \longrightarrow mono variable.
- Plusieurs \longrightarrow multi variable.

2 - Type de la variable de décision :

- Nombre réel continu \longrightarrow continu.
- Nombre entier \longrightarrow entier ou discret.
- Permutation sur un ensemble fini de nombres \longrightarrow combinatoire.

3 - Type de la fonction objectif :

- Fonction linéaire des variables de décision \longrightarrow linéaire.
- Fonction quadratique des variables de décision \longrightarrow quadratique.
- Fonction non linéaire des variables de décision \longrightarrow non linéaire

4 - Formulation du problème :

- Avec des contraintes \longrightarrow contraint.
- Sans contraintes \longrightarrow non contraint.

5 - Nombre de fonctions objectifs :

- Une \longrightarrow monoobjectif.
- Plusieurs \longrightarrow multi objectif [4]

CHAPITRE 01 : L'optimisation Combinatoire

I.4.5 Domaines D'application D'optimisation Combinatoire :

Les problèmes d'optimisation combinatoire représentent un outil très puissant d'aide à la décision dans les institutions économiques, sociales, industrielles, ... et trouvent leur application dans pas mal de domaines entre autres :

- Services publics : hôpitaux, transport public, informatique ;
- Industrie : automobile, aviation, énergie, télécom, production ;
- Finances : gestion de portefeuille ;
- Militaire : gestion des ressources, logistique ;
- L'économie : planification de projets, organisation d'activités, affectation de tâches, les problèmes de transport.
- L'informatique : conception de programmes. Implémentation de systèmes informatiques.
- La sociologie : modélisation et étude de phénomènes sociaux.

I.5 Exemples De Problèmes D'optimisation Combinatoire :

Les problèmes d'optimisation combinatoire en général se caractérisent par le fait qu'ils peuvent être modélisés par des formalismes mathématiques qui représentent en quelques sortes des méta problèmes dont la résolution implique la résolution de toute une classe de problèmes, parmi ces modèles on trouve :

I.5.1 Problème Du Voyageur De Commerce :

Il est dit aussi Traveling Salesman Problem (TSP) ou PVC. C'est un problème classique de la recherche opérationnelle. Le voyageur du commerce désire visiter un certain nombre de villes (ou clients). Il doit débuter et finir sa tournée par la même ville de départ, en visitant chacune des autres villes, une et une seule fois, l'objectif étant de trouver la tournée qui minimise la distance totale parcourue. Le PVC permet la formulation de nombreuses situations réelles. [5]

CHAPITRE 01 : L'optimisation Combinatoire

La difficulté de ce problème est de trouver l'ordre dans lequel chacun des clients sera visité, en minimisant un certain critère (temps ou cout du parcours, ou bien longueur totale parcourue . . .).

I.5.2 Problème Du Sac-A-Dos (KNAPSACK PROBLEM) :

Un randonneur doit décider de l'équipement qu'il veut emporter pour sa prochaine expédition. Pour des raisons évidentes, il veut limiter le poids total des objets emportés et s'est fixé une borne supérieure de P kg à ne pas dépasser.

Chacun des n objets de poids respectifs $p_1, \dots, p_n \in R$, et d'utilités respectives $u_1, \dots, u_n \in R$, et P $\in R$ un poids maximal que l'on dispose à porter. On pose $x_i = 1$ si on met le $i^{\text{ème}}$ objet dans le sac-à-dos, et $x_i = 0$ sinon. On veut maximiser l'utilité du sac à dos sous contrainte de poids :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max } \sum_{1 \leq i \leq n} x_i u_i \\ \sum_{1 \leq i \leq n} x_i p_i < P \\ x \in \{0,1\} \end{array} \right. \quad \text{.....(I.2)}$$

Encore une fois difficulté vient de ce que les variables d'optimisation x_i sont discrètes
Par exemple Le problème du sac à dos : quelles boîtes choisir afin de maximiser la somme emportée tout en ne dépassant pas les 15 kg autorisés ? [6]

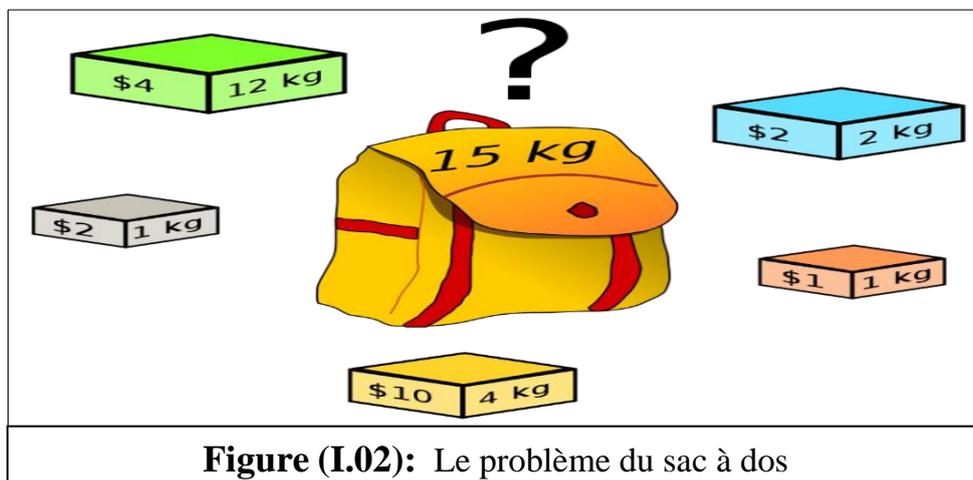


Figure (I.02): Le problème du sac à dos

CHAPITRE 01 : L'optimisation Combinatoire

I.5.3- Problème De 8-Queen :

Dans le problème de 8-Queens, on a un tableau d'échec régulier (8 par 8) et huit reines qui doivent être placées dans le tableau dans un état dont pas de deux reines ont une touche l'autre. Ce problème peut être naturellement généralisé, qui cède facilement le problème de N-Queens. Beaucoup d'approches classiques d'IA qui s'appliquent à ce problème travaillent d'une manière constructive ou incrémentale : un commence par placer une reine et après placer les n reines, une tente de placer la $(n^{ième} + 1)$ reine dans la meilleure position, c'est-à-dire une position dont la nouvelle reine ne peut toucher les autres. Typiquement, quelque sorte du mécanisme BackTracking est applique : s'il n'y a pas de position faisable pour la $(n^{ième} + 1)$ reine, la $n^{ième}$ est déplacée dans une autre position.

18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	♔	13	16	13	16
♔	14	17	15	♔	14	16	16
17	♔	16	18	15	♔	15	♔
18	14	♔	15	15	14	♔	16
14	14	13	17	12	14	12	18

Figure (I.03) : exemple problème 8-Queen

I.5.4- Problème De Routage De Véhicules (VRP) :

Le problème de routage de véhicules est une extension du problème du voyageur du commerce. Il a été introduit pour la première fois par Dantzig et al. [1954] sous le nom de _ Truck Dispatching Problem _ et a depuis fait l'objet d'études intensives pour le modéliser et le résoudre.

Dans sa version la plus basique dite Capacitated VRP (CVRP) ou VRP avec contraintes de capacité, une flotte de véhicules de capacité finie, basée dans un dépôt, doit assurer des tournées entre plusieurs clients (ou villes) ayant demandé chacun une certaine quantité de marchandises. L'ensemble des clients visités par un véhicule désigne la tournée de celui-ci.

CHAPITRE 01 : L'optimisation Combinatoire

Chaque client doit être desservi une et une seule fois et chaque tournée commence et se termine au dépôt.

L'objectif du VRP est de minimiser le coût total, c'est-à-dire la somme des distances ou des temps de parcours des tournées, tout en respectant la contrainte de capacité des véhicules : la quantité de marchandises livrées sur une tournée ne doit pas dépasser la capacité du véhicule qui l'assure. [7]

La figure représente un exemple de problème de VRP avec 13 clients, résolu avec 3 véhicules.

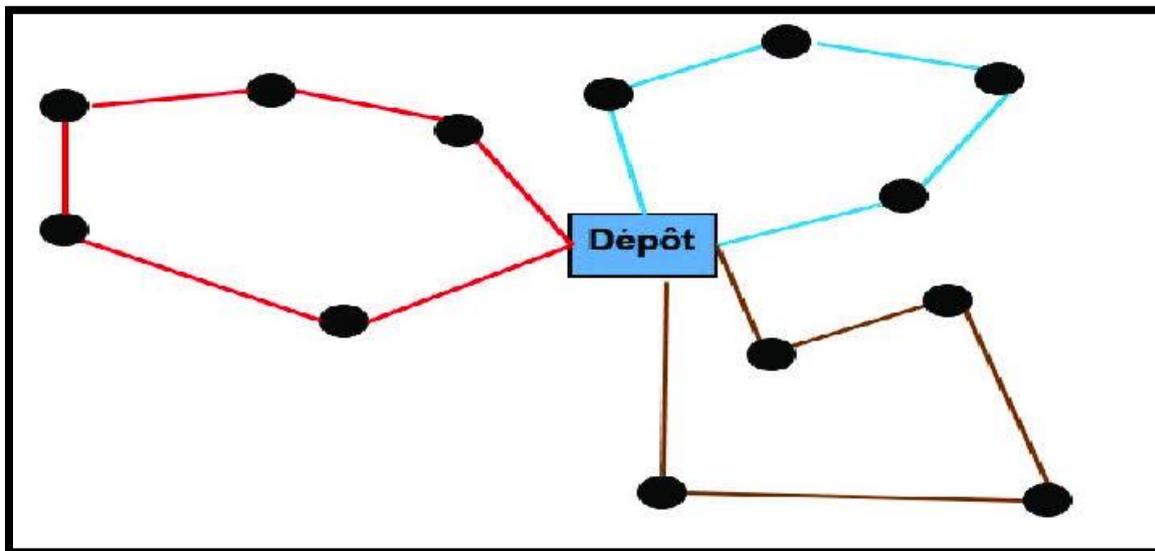


Figure (I.04) : un problème de routage de véhicules

I.6-Méthode De Résolutions Des Problèmes D'optimisation :

I.6.1-Méthode Exacte :

Les méthodes exactes sont généralement préconisées pour résoudre les problèmes de petites tailles pour lesquelles le nombre de combinaisons possibles est suffisamment faible pour pouvoir explorer l'espace de solutions dans un temps raisonnable. Elles permettent de trouver une solution optimale à un problème donné. Toutefois, ces méthodes peuvent devenir rapidement coûteuses en temps d'exécution, notamment pour les problèmes NP-difficiles. En effet, le temps de traitement et la complexité du problème sont généralement liés (plus c'est complexe, plus le temps d'exécution sera important). Ci-dessous, quelques méthodes exactes parmi les plus connues :

- Procédure par Séparation et Évaluation
- Programmation dynamique

- Programmation par contraintes
- Programmation linéaire

I.6.2-Méthodes Approchées :

Les méthodes approchées permettent de trouver de manière rapide une solution réalisable à un problème donné. Cependant cette solution n'est pas forcément la solution optimale.

Elle divisé à deux catégorie :

I.6.2.1-Méthodes Heuristiques :

Une heuristique est une méthode de calcul qui fournit rapidement une solution réalisable, pas nécessairement optimale ou exacte, pour un problème d'optimisation difficile. C'est un concept utilisé entre autres en optimisation combinatoire, en théorie des graphes, en théorie de la complexité des algorithmes et en intelligence artificielle.

Une heuristique s'impose quand les algorithmes de résolution exacte sont de complexité exponentielle, et dans beaucoup de problèmes difficiles. L'usage d'une heuristique est aussi pertinent pour calculer une solution approchée d'un problème ou pour accélérer le processus de résolution exacte. Généralement, une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre, mais les approches peuvent contenir des principes plus généraux. Elles peuvent être classées en deux catégories :

- Méthodes constructives : qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale, en essayant d'ajouter des éléments petits à petit jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.
- Méthodes de recherche locale(amélioration) : qui démarrent d'une solution initialement complète (Probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage (algorithme 2-opt).

I.6.2.2-Méthodes Méta Heuristiques :

Les métras heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essais particuliers). Les méta-heuristiques peuvent être classées de la manière suivante :

- Méta-heuristique à solution unique : Tels que la recherche tabou (TABU SEARCH), l'Algorithme a seuil, le recuit simulé (SIMULATED ANNEALING) ainsi que le *V.N.S.* (Recherche a voisinage variable / Variable NEIGHBOURHOOD SEARCH).
- Meta-heuristique à population de solutions_ : Tels que les Algorithmes Génétiques, les Algorithmes de colonie de fourmis ainsi que l'algorithme à évolution différentielle (*DE*).

I.7-Taxonomie Des Méthodes De Résolution :

Les méthodes de résolutions des problèmes d'optimisation sont généralement classifiées en deux grandes catégories : celles d'optimisation combinatoire et celles d'optimisation continue. Les méthodes d'optimisation continue sont classifiées en linéaires et non-linéaires, celles de l'optimisation combinatoire sont classifiées en exactes et approchées.

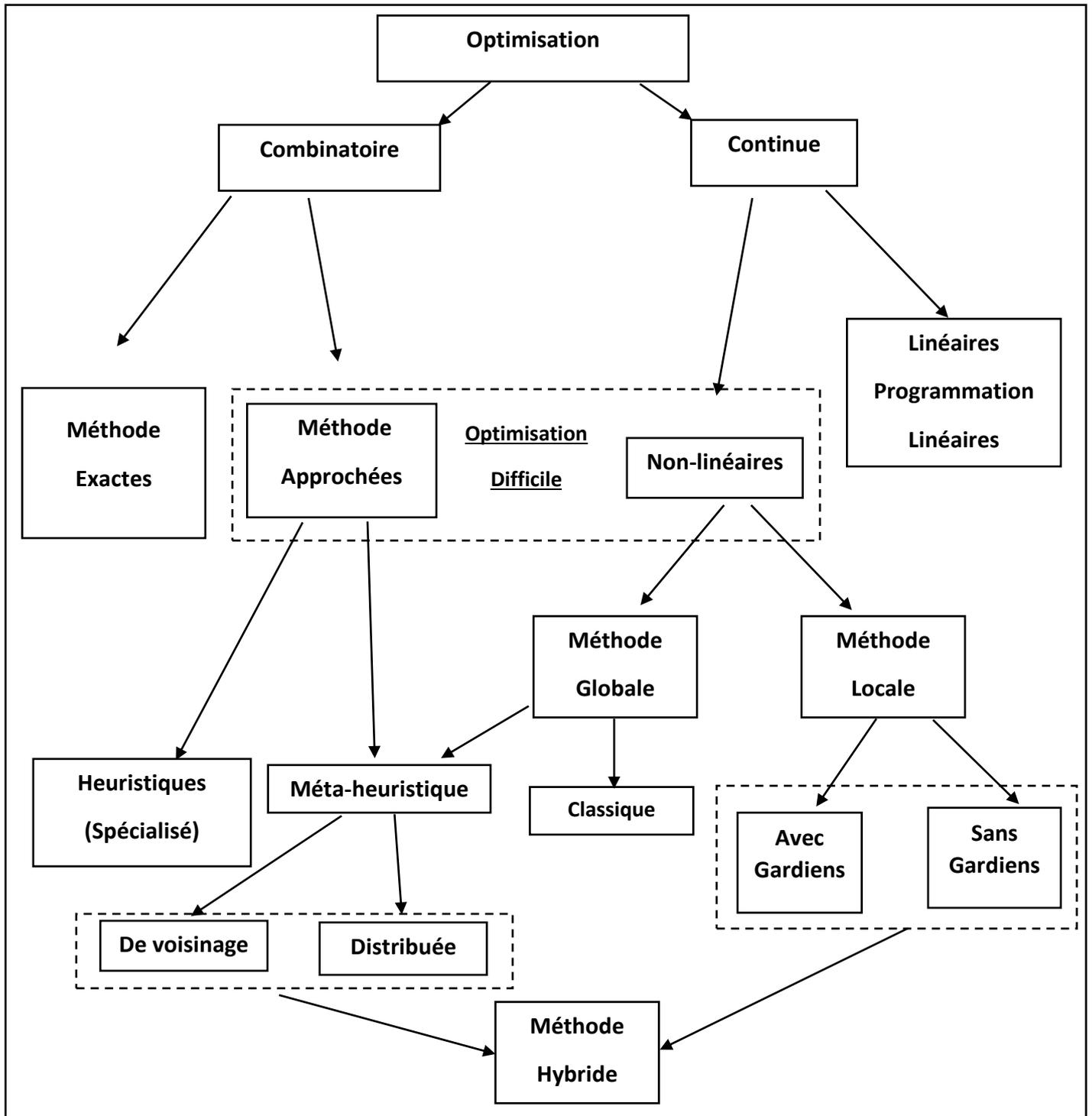


Figure (I.05) :classification générale des méthodes de résolution[4]

I.8-Les Différentes Méthodes De Résolution En Optimisation Combinatoire :

Nous l'expliquerons dans cette Figure (I.06) :

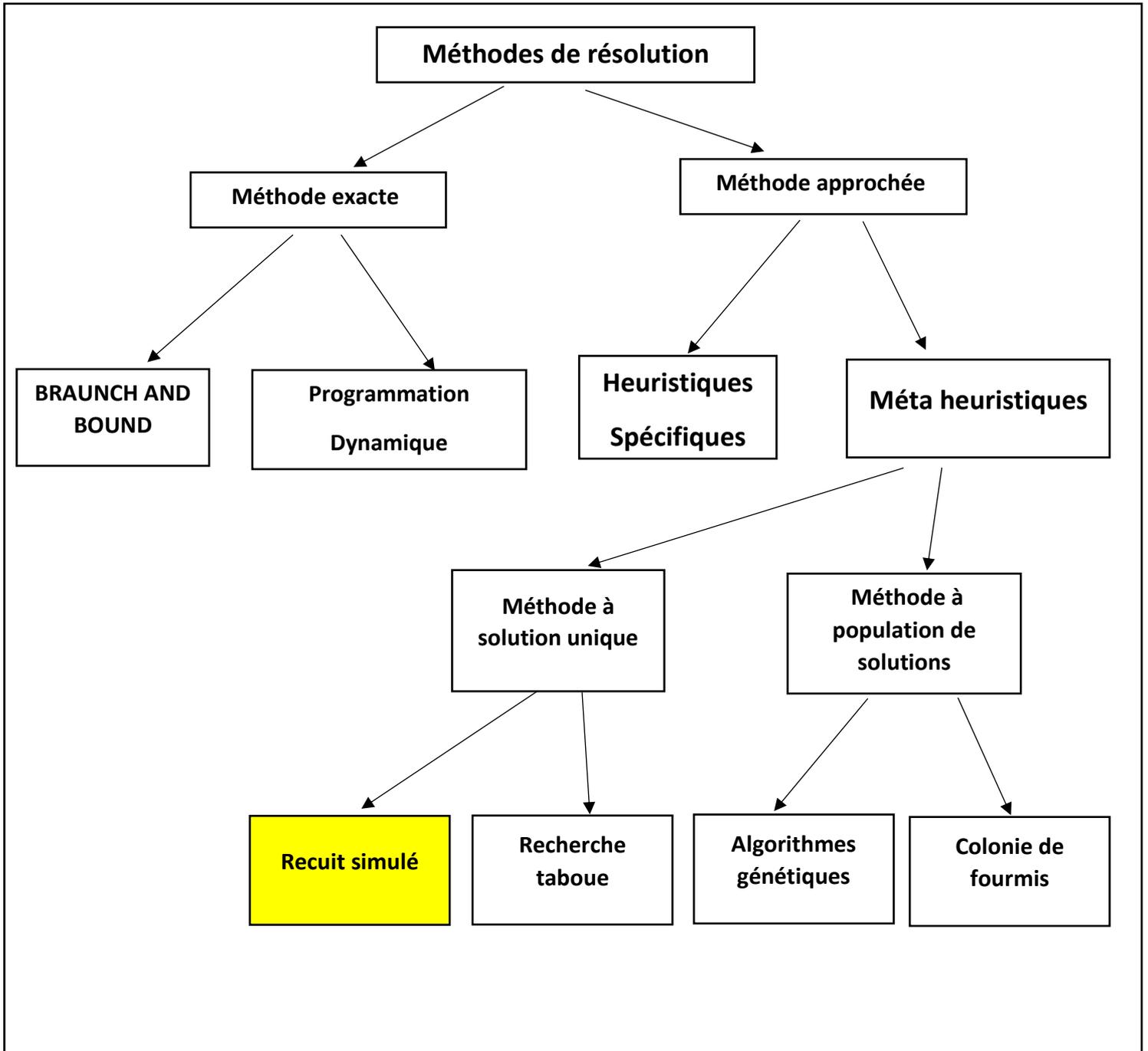


Figure (I.06) : Les différentes méthodes de résolution en optimisation combinatoire

CHAPITRE 01 : L'optimisation Combinatoire

I.8 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les principaux concepts d'optimisation combinatoire, ainsi les méthodes de résolution de ces derniers à savoir les méthodes exactes qui assurent l'exactitude de la solution mais dans un temps long pour les problèmes de grande taille, ainsi que les méthodes approchées qui sacrifient l'exactitude de la solution au profit du temps de réponse court.

C

HAPITRE II :

Le Problème De Routage De Véhicules (VRP)

II.1 : Introduction

Le problème de routage de véhicule (VRP) est également connu sous le nom de Problème de Tourné de Véhicule (PTV), c'est un nom générique donné à une classe de problèmes dans laquelle un certain nombre de clients doivent être visités par un certain nombre de véhicules. Ces itinéraires doivent être organisés de manière à améliorer un certain nombre de critères tels que le kilométrage total et les temps d'attente des clients. Il existe de nombreuses variantes de ce problème, notamment une ou plusieurs des limitations suivantes : capacité, nombre et type de véhicules, périodes de visite des clients, limitations technologiques du système et emplacements géographiques des clients.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire le concept général de problème VRP.

Ce chapitre contient une introduction au problème VRP, sa formulation mathématique, puis les principales variables VRP rencontrées au milieu de ce problème, et enfin nous sommes arrivés à une conclusion générale.

II.2 Définition Du Problème De Routage De Véhicules (VRP) :

Est une extension du problème du voyageur de commerce introduit pour la première fois par Dantzig et al. [1954] .Sous le nom de problème de répartition des camions.

Depuis, il a fait l'objet d'études approfondies de sa conception et de sa solution. Dans sa version la plus simple connue sous le nom de VRP capacitif (CVRP) ou VRP avec des limitations de capacité, Une flotte de véhicules de capacité négative, basée dans l'entrepôt, doit garantir des trajets entre plusieurs clients (ou villes) commandant chacun une certaine quantité de fret. Le groupe de clients que la voiture visite signifie le dernier tour. Chaque client ne doit être servi qu'une seule fois, chaque cycle commençant et se terminant dans l'entrepôt.

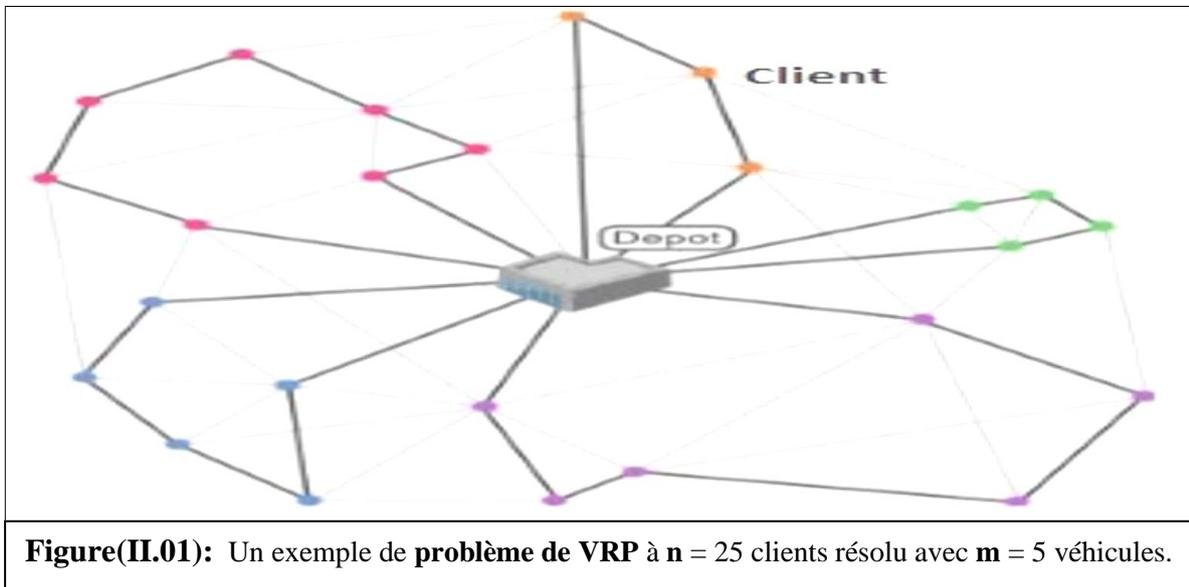
Le but du CVRP c'est la réduction du coût total, c'est-à-dire la somme des distances ou des temps de parcours sur les routes, Sous réserve de restrictions de capacité des véhicules : la quantité de marchandises livrées sur une route ne doit pas dépasser la capacité du véhicule mis à disposition. , limites technologiques du système ou des situations géographiques des clients. Le problème de base de tournées de véhicules peut se définir ainsi : Etant donné un graphe dont les nœuds représentent les clients et les arcs représentent les routes (i.e. lien de communication entre les clients), le problème consiste à concevoir des itinéraires pour un

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

ensemble des véhicules disponibles, afin d'une part de respecter les contraintes et d'autre part d'optimiser une fonction objectif donnée [7] .

Un exemple est donné en Figure(II.01)

Il décrit l'instance d'un VRP servant 25 clients sur 5 tournées.



Figure(II.01): Un exemple de **problème de VRP** à $n = 25$ clients résolu avec $m = 5$ véhicules.

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

II.3 Formulation Mathématiques :

C'est le nom donné à la fonction f (on l'appelle encore fonction de coût ou critère d'optimisation). C'est cette fonction que l'algorithme d'optimisation va devoir « optimiser » (trouver un optimum).

Mathématiquement parlant, La formulation du VRP que nous présentons ici correspond à la formulation mathématique utilisée en programmation linéaire en nombres entiers. Elle traduit la modélisation naturelle du problème par la définition d'une variable binaire x_{ijk} égale à 1 si le véhicule k parcourt l'arc (v_i, v_j) , noté plus simplement (i, j) .

Cette formulation est la plus utilisée dans la littérature, et a ainsi été adoptée par Laporte [1992], Rego and Roucairol [1994], Toth and Vigo [2001a], Crainic and Semet [2006] ... etc.

Nous reprenons les mêmes notations définies dans la section 1 en ajoutant à l'ensemble des sommets du graphe $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ un autre sommet v_0 , correspondant au dépôt.

Le graphe $G = (V, E)$ est complet, c-à-d que tous les sommets sont reliés entre eux. Cela signifie qu'une ville peut être visitée à partir de toute autre ville.

Les autres constantes du problème sont les suivantes :

n - nombre de clients (ou sommets).

m - nombre de véhicules.

Q - capacité des véhicules.

q_i - demande du client.

c_{ij} - le coût de l'arête entre les sommets i et j (distance ou temps de parcours). [8]

Les variables de décision du problème sont les x_{ijk} évoqués plus haut :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Si } (i, j) \text{ est parcouru par le véhicule } k \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

Ainsi, en tant que problème d'optimisation, le CVRP s'écrit :

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

$$\text{Minimiser } \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} x_{i,j}^v \quad (II.01)$$

Sujet aux contraintes suivantes :

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N} x_{i,j}^v = 1, \quad \forall i \in C \quad (II.02)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,h}^v - \sum_{j \in N} x_{h,j}^v = 0, \quad , \quad \forall h \in C, v \in V \quad (II.03)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0,j}^v = 1, \quad , \quad \forall v \in V \quad (II.04)$$

$$\sum_{j \in N} x_{j,n+1}^v = 1, \quad , \quad \forall v \in V \quad (II.05)$$

$$x_{i,j}^v = 1 \Rightarrow y_i - d_i = y_j, \quad \forall i, j \in N, v \in V \quad (II.06)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i, \quad \forall i \in C \quad (II.07)$$

$$x_{i,j}^v \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N, v \in V \quad (II.08)$$

La fonction de coût de la solution $X = (x_{i,j}^v), \forall i, j \in N, \forall v \in V$, est définie par :

$$\text{coût}(X) = \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} x_{i,j}^v \quad (II.09)$$

Le nombre de véhicules utilisés par la solution X, est défini par :

$$\text{Nb véhicules}(X) = \sum_{v \in V} \sum_{j \in C} x_{0,j}^v \quad (II.10)$$

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

La fonction objective équation (1) représente le nombre de véhicules utilisés pour les trajets effectués et la somme des coûts s'y rapportant.

La formulation du problème nécessite de satisfaire certaines contraintes :

L'équation(2) assure qu'on part une et une seule fois de chaque client, avec un seul véhicule.

L'équation (3) assure que le véhicule qui arrive chez un client est le même que celui qui part de ce client.

L'équation(4) assure que chaque véhicule ne sort qu'une seule fois du dépôt.

L'équation (5) assure le retour unique au dépôt pour chaque véhicule (ou tournée). Il n'y a pas de restriction sur le nombre de véhicules, mais un coût c_v est affecté à chaque véhicule utilisé. On impose une valeur de c_v suffisamment grande pour réduire principalement le nombre de véhicules et pour réduire au minimum dans un deuxième temps les coûts de transport.

Les équations (6) et (8) définissent les contraintes de capacité et d'intégrité.

Les équations (9) et 10) sont des fonctions de mesure qui permettent respectivement de quantifier la solution selon la distance totale parcourue, ainsi que le nombre de véhicules utilisés.

Le problème d'élaboration de tournées de véhicules est un problème NP-difficile, c'est-à-dire qu'il n'existe pas à ce jour un algorithme déterministe pouvant résoudre ce problème en temps polynomial [Garey et al. 1979]. Pour des problèmes comportant un grand nombre de clients (> 100 clients),

Des méthodes approchées sont nécessaires pour les résoudre.

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

II.4 Variantes Du Problème VRP :

L'émergence de nouvelles variantes de VRP est principalement due aux activités de chercheurs qui travaillent de plus en plus sur les problèmes de transmission et de distribution auxquels sont confrontées les sociétés et qui tentent d'exploiter les puissantes ressources disponibles pour être plus fidèles aux problèmes auxquels ils sont confrontés dans l'industrie. . Planification.

Au fil des années de recherche VRP, d'autres dérivés de ce problème sont apparus. Par exemple, avec la collecte des ordures ménagères, où les biens à collecter sont situés le long des rues traversées par un véhicule. Au départ, les problèmes considérés étaient les mêmes, tout comme les problèmes dans les nœuds tels que les problèmes entre arcs.

Cela signifie que tous les bords nouent un nœud qui peut se déplacer dans les deux sens et le temps de déplacement indépendamment de la direction du mouvement. Mais maintenant, il existe des variantes plus complexes où le problème est asymétrique (le temps de parcours dépend de la direction du chemin). Il est également possible que le problème présente d'autres restrictions d'accessibilité.

Comme le fait que certaines routes sont à sens unique. Mais ce n'est que l'un des changements observés dans la définition de l'étude des problèmes touristiques. Il existe de nombreux chercheurs dans la littérature. [9]

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des extensions du problème de tournées de véhicules qui permettent de décrire de nombreuses situations réelles.

Caractéristiques	Options possibles
Nombre de véhicules disponibles	- un - plusieurs
Type de véhicule	- homogène - hétérogène
Dépôts	- un - plusieurs
Demandes des clients	- statiques (connues en avance) - dynamiques (apparaissent au cours de temps)

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

	<ul style="list-style-type: none">- stochastiques (les demandes suivent des lois aléatoires)- fenêtre de temps.
Service proposé	<ul style="list-style-type: none">- ramassage ou livraison- ramassage et livraison- ramassage avant livraison
Période considérée	<ul style="list-style-type: none">- jour- semaine- périodique

Tableau (II.01) : Caractéristiques du problème VRP

II.4.1 Problème De Tournées De Véhicules Dynamique(PTVD) Dynamic Vehicle Routing Problem :

Contrairement au VRP classique où toutes les demandes des clients sont connues et planifiées à l'avance, le PTVD illustre mieux la réalité. Dans les problèmes de transport réels dans la société d'aujourd'hui la composante dynamique est très importante, elle s'exprime surtout par les apparitions de nouveaux clients, de nouvelles demandes, ou de pannes des véhicules de transport. Dans ce genre de situation, le décideur doit changer la planification des véhicules, en réponse aux nouvelles demandes en un temps acceptable, la planification des itinéraires de sa flotte de véhicules pour répondre aux nouvelles demandes urgentes. [10]

Un exemple de ceci est (Projet de distribution d'outils de maquillage et de parfums) **My Way** est une entreprise Egyptienne créée en 2002. L'entreprise adopte les deux idées de vente directe et d'augmentation des revenus par le marketing, ce qui est connu comme un des moyens de distribution et de vente des produits et de détermination de leurs prix au public et aux consommateurs. Lorsque le service Internet est utilisé pour créer un marché électronique qui ne nécessite qu'un clic sur un bouton pour obtenir les marchandises requises, et elles sont livrées directement au client sans aucun intermédiaire.

Pour chaque produit, sa description, son service, ses caractéristiques et ses prix sont mentionnés, et il y a aussi une boîte contenant des phrases encourageantes des précédents consommateurs de ce produit, et il y a aussi toutes les procédures nécessaires pour terminer le processus d'achat Le figure ci-dessous explique le traiter [11].

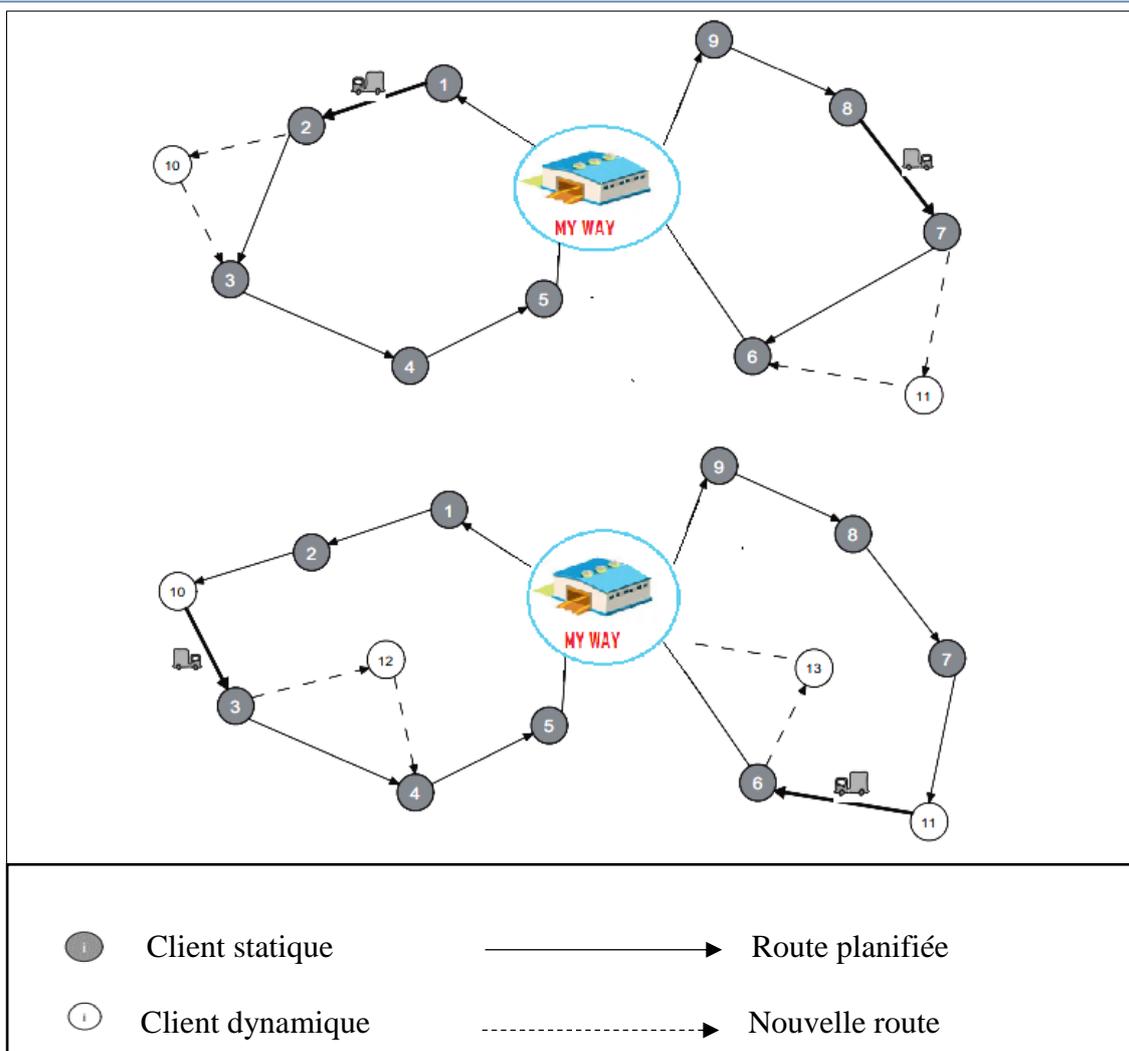


Figure (II.02) : Le problème DVRP

II.4.2 Le Problème De Tournées De Véhicules Avec Fenêtres De Temps (VRPFT), (Vehicle Routing Problem With Time Windows):

Est le problème le plus étudié. C'est un problème de VRP classique auquel on a ajouté une contrainte supplémentaire : chaque client doit fournir une limite de temps supérieure et inférieure entre lesquelles le service doit commencer [12]

Chaque client doit être servi dans un intervalle de temps défini, connu d'avance par le livreur et toute violation de cette contrainte peut engendrer une pénalité. Lorsque la contrainte de fenêtre de temps n'est pas satisfaite, soit on rejette la solution si on considère le cas rigide ou bien on construit une fonction de pénalité qui sera rajoutée ou combinée avec la fonction objective pour le cas relâché. En réalité, c'est un problème très fréquent. La distribution des produits périssables (le lait, la viande . . .), des journaux, les services ambulatoires, . . . sont

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

des exemples pratiques du PTVFT. Dans cette classe de problèmes, on distingue deux sous-classes :

- Le PTVFT rigide où le service doit impérativement être effectué dans la fenêtre de temps.
- Le PTVFT relâché où le retard ou l'avance engendre uniquement une pénalité. Une fenêtre de temps (TW - Time Window) impose qu'une ou plusieurs requêtes du problème soit traitée en respectant un intervalle pour le début de traitement du véhicule (livraison, collecte). Cet intervalle est défini par une date au plus tôt et une date au plus tard. Cette contrainte peut s'appliquer à des demandes de collecte ou de livraison comme présenté dans La figure.

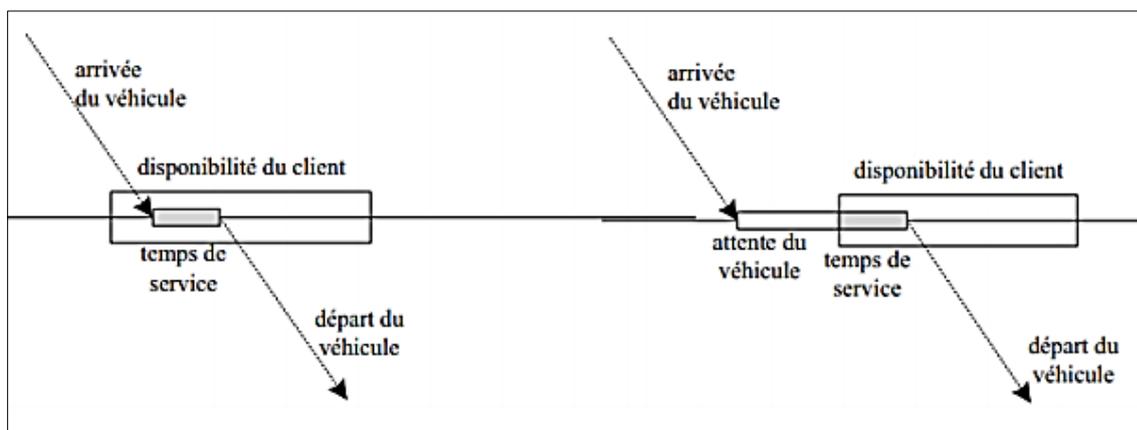


Figure (II.03) : Exemple de fenêtre de temps sur un client.

II.4.3 MDVRP(Multi-Depot Vehicle Routing Problem) :

dans ce type de problème il y a plusieurs dépôts disponibles qui sont distribués géographiquement. Chaque véhicule part et revient vers son dépôt initial (MDVRP)

Comporte plusieurs dépôts dans lesquels sont localisés les véhicules. Chaque tournée d'un véhicule doit commencer et finir au même dépôt. De plus, chaque client doit être visité exactement une fois par l'un des véhicules situés dans les dépôts indiqués par ce client [13]

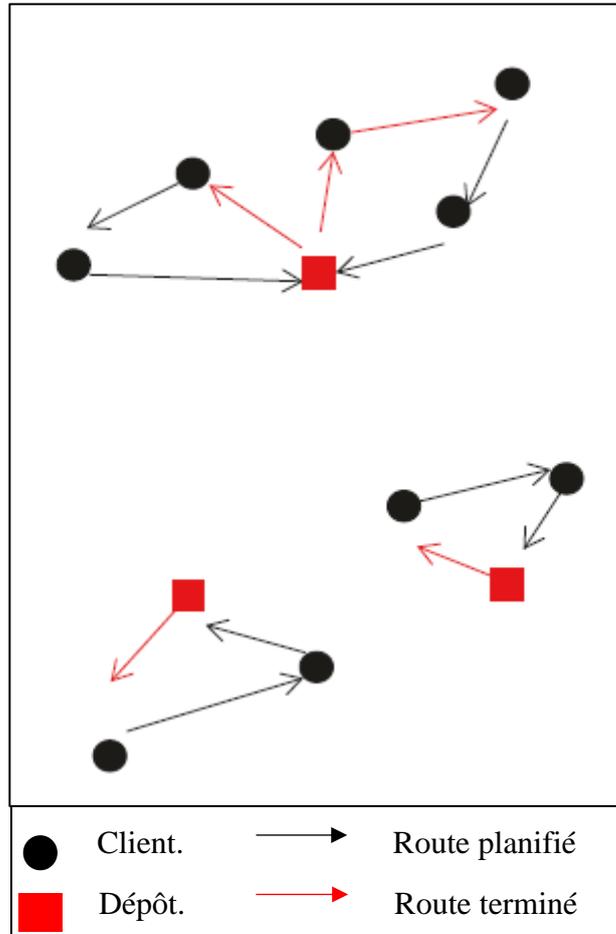


Figure (II.04) : Un exemple de MDVRP avec 3 dépôts et 9 clients.

La Compagnies de Samsung, dont le siège est en Corée du Sud, est spécialisée dans la fabrication de tous les appareils électroniques. La société emploie plus de 66 000 employés dans plus de 50 pays dans le monde. La stratégie mondiale de Samsung Electronics se concentre sur huit régions importantes à travers le monde, qui comprennent l'Amérique du Nord et l'Europe, l'Asie du Sud-Est, l'Asie centrale, le Moyen-Orient, l'Afrique, la Chine, les Caraïbes et l'Amérique latine[14].



Figure (II.05) :Une carte représentant les points de vente mondiaux de Samsung

II.4.4 (HVRP) Le Hétérogène Véhicule Routing Problème:

Le problème HVRP est que les véhicules ont des caractéristiques différentes, par exemple en termes de vitesse, de coût ou de capacité

Dans cette optique, prenons l'exemple de la société de distribution de GPL (GPL) en Turquie, ABC est l'un des plus grands distributeurs du secteur GPL en Turquie. Le service logistique de l'entreprise peut visualiser les niveaux de gaz actuels des stations à travers des programmes et calculer les demandes quotidiennes. Les méthodes de distribution sont déterminées quotidiennement et le but de cette étude est de trouver les méthodes optimales pour les besoins quotidiens de 13 stations à Istanbul. Le modèle d'optimisation a été créé en tenant compte des exigences des clients, des emplacements des gares, des types de véhicules et des capacités. Les réservoirs servent à distribuer le GPL vers les terminaux de l'entreprise, et il existe deux types de réservoirs, à savoir 9 réservoirs T1 d'une capacité de 10,5 tonnes et un réservoir T2 d'une capacité de 15 tonnes de GPL, Les coordonnées des stations sont prises auprès de l'entreprise et utilisées comme entrée, et les distances entre les stations sont calculées à l'aide du site Web.[15]

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

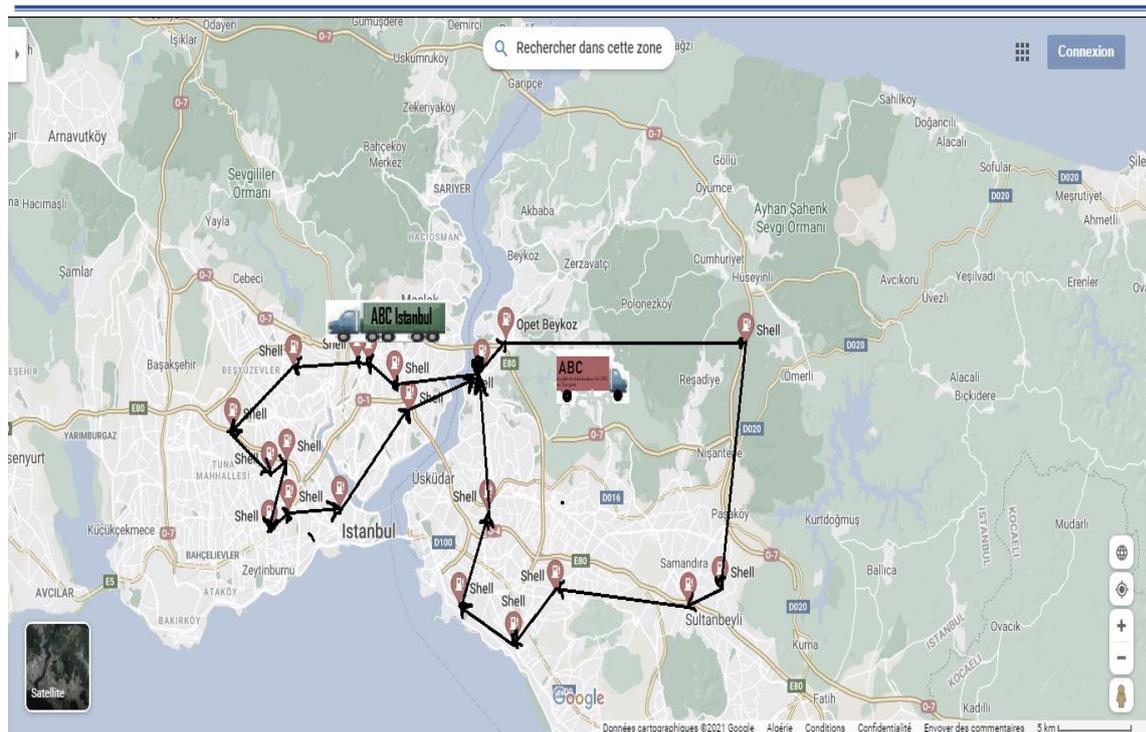


Figure (II.06): distribution de GPL

II.4.5 VRPB (Véhicule Routing Problème with Backhauls)

Est une prolongation du VRP classique qui inclut un ensemble de clients à qui des produits doivent être livrés et un ensemble des fournisseurs dont les marchandises doivent être amenées au dépôt. En outre, sur chaque tournée, toutes les livraisons doivent être effectuées avant que les marchandises puissent être ramassées pour éviter de réarranger les charges sur le véhicule. [16]

II.4.6 SVRP (Stochastique Véhicule Routing Problème) :

Le problème VRP est dit stochastique lorsqu'au moins un élément du problème est aléatoire . Autrement dit, un élément du problème ne peut être connu avec certitude. Ce peut être les demandes (quantité à livrer ou à ramasser) des clients, le temps ou le coût du transport, ou bien l'ensemble des clients à visiter. Le problème avec demandes stochastiques est le plus étudié de cette catégorie. Il est alors supposé que la demande suit une loi de distribution connue (généralement une loi normale). [17]

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

II.4.7 PVRP (Périodique Véhicule Routing problème) :

Le Problème de Tournées de Véhicules Multi Périodique (PTVMP) consiste à livrer pour un ensemble de clients, la quantité demandée d'un ou plusieurs produits sur un horizon de temps donné

Dans ce problème, chaque client détient un stock de produits dont il consomme une certaine quantité par jour. La tâche principale est de planifier les jours de livraison pour chaque client sur un horizon de temps prédéterminé et ensuite d'organiser les tournées de la flotte de véhicules afin d'effectuer les livraisons nécessaires. Cette planification doit respecter les contraintes sur les niveaux de stocks à maintenir chez les clients et en même temps elle doit minimiser le coût total de livraison sur l'ensemble de l'horizon considéré. Le problème ainsi présenté est une extension du problème de tournées de véhicules classique par l'ajout de la notion de période et par la nécessité d'intégrer des éléments de la gestion des stocks dans la planification des transports.

Une compagnie [A] dispose de trois camions pour la collecte des déchets à faible risque ; leurs capacités sont respectivement de 12, 22 et 26 tonnes.

Certains clients sont situés au centre d'une ville et ne peuvent être atteints par un camion de 22 tonnes ou plus. Il y a un dépôt central où chaque itinéraire commence le matin et se termine le soir. Lorsqu'un camion est entièrement chargé, le chauffeur peut décharger dans une décharge (représentée par un carré sur la figure 1) puis poursuivre sa route.

A noter que ces installations de stockage peuvent être considérées comme des installations intermédiaires, voir Angelelli et Speranza (2002). Les camions n'ont pas besoin de rentrer vides le soir, ils peuvent également disposer de leur chargement lors de la tournée du lendemain. Seulement lorsqu'un camion ne roule pas le lendemain, il doit être vidé avant de retourner au dépôt[18]

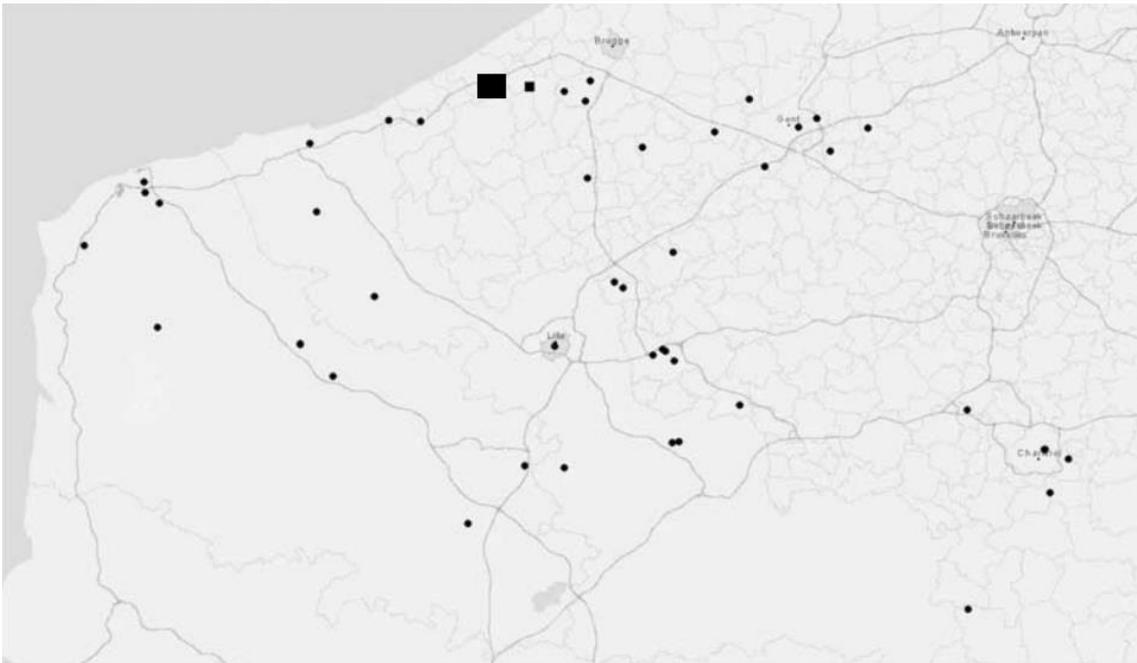


Figure (II.07): Emplacements des clients de déchets à faible risque

II.4.8 TSP (Traveling Salesman Problème) :

le problème du voyageur de commerce est un cas particulier du problème VRP sans contrainte de capacité ; il consiste en la détermination d'un parcours de coût minimal (distance, temps, etc.) pour un seul véhicule partant d'une localité, visitant n autres localités et revenant à son point de départ. On peut répondre assez facilement à cette question pour 4 villes. Cependant, cela se complique lorsque le nombre de villes augmente. Par exemple, il y a 181440 manières différents dans seulement 10 villes.

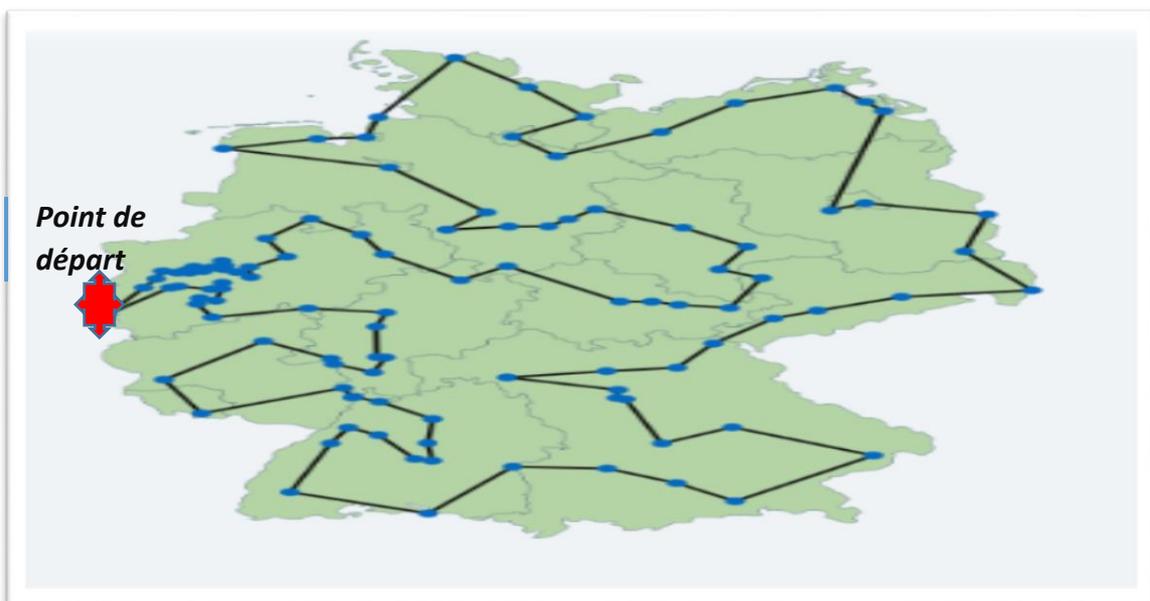


Figure (II.08): exemple TSP

CHAPITRE 02 : Le Problème De Routage De Véhicule (VRP)

II.4.9 Open Vehicle Routing Problem (OVRP) :

Le problème de tournées de véhicules ouverts (OVRP) diffère du problème de tournées de véhicules classiques (VRP) car soit les véhicules ne sont pas obligés de retourner au dépôt, soit ils doivent revenir en revisitant les clients qui leur sont affectés dans l'ordre inverse. Par conséquent, les itinéraires de véhicules ne sont pas des chemins fermés mais des chemins ouverts. Une méthode heuristique pour résoudre ce nouveau problème, basée sur une procédure d'arbre couvrant minimum avec pénalités, est présentée. Des résultats de calcul sont fournis. [19]

II.4.10 CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) :

Le problème de tournées de véhicules avec capacité est une variante de **VRP** liée à la Flotte de Véhicules, dans le **CVRP** Les véhicules ont une capacité d'emport limitée (quantité, volume, poids).

II.4.11 MPVRP (Problème de Tournées de Véhicule à Produits Multiples) :

On peut définir cette variante comme Une gamme de produits doit être livrée aux différents clients par chaque véhicule en une seule tournée.

II.5 Classification Des Variantes De VRP :

Classification suivant structuré Les contraintes avec son variante :

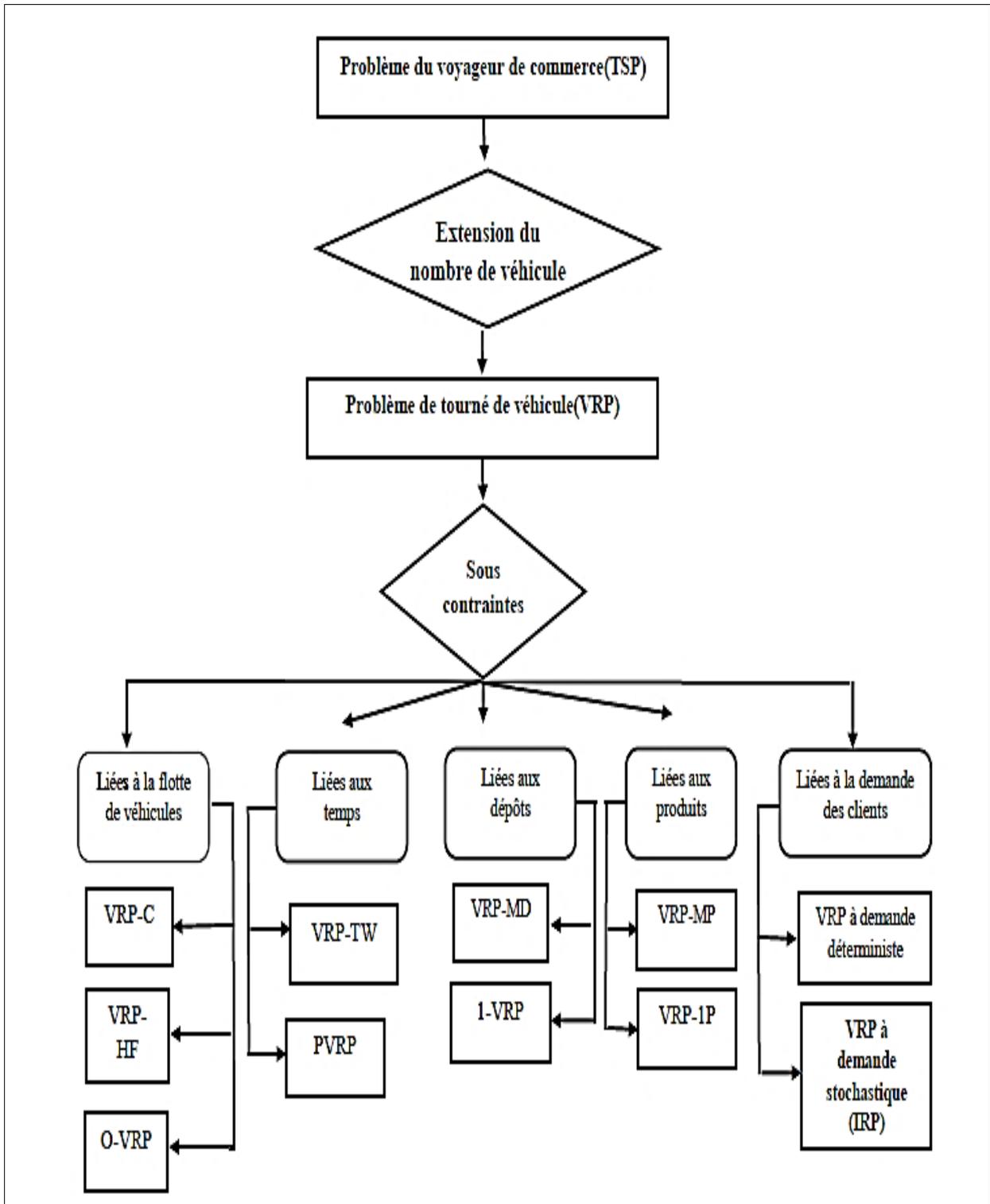


Figure (II.09): Classification Structuré Les Contraintes Avec Son Variante [20]

II.6 Conclusion

Depuis que le problème de VRP est apparu jusqu'à nos jours, les scientifiques et les chercheurs découvrent encore de nombreux dérivés de ce problème, tels que le temps, Capacité de véhicule et la dynamique ...etc.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les dérivés les plus courants. Important, au problème de VRP. En plus des caractéristiques et un exemple réaliste de chaque dérivé

C

HAPITRE III:

Résolution problème routage de véhicules par
algorithme hybride [recuit simulé (Simulated
Annealing) +2-opt]

III.1 Introduction :

La résolution des problèmes de routage de véhicule (VRP) est assez délicate puisque le nombre fini et ou dénombrable et ou infini de solutions réalisables croît généralement avec la taille du problème, ainsi que sa complexité. Cela a poussé les chercheurs à développer de nombreuses méthodes de résolution dans ce type de problème, mais, nous trouvons que la littérature sur les méthodes exactes du VRP est rare. A travers ça, la plupart des informaticiens se sont concentré sur le développement des méthodes approchée (heuristique et méta heuristique) pour trouver rapidement des solutions de bonne qualité.

Le méta heuristique du recuit simulé (Simulated Annealing) et l'heuristique d'amélioration 2-opt se sont l'un de famille des méthodes approchée utilisé pour résoudre les problèmes combinatoires comme VRP, l'algorithme de recuit simulé (Simulated Annealing) est inspiré à partir de la méthode de Metropolis, l'algorithme 2-opt sera utilisé dans un algorithme méta heuristique déjà donné pour optimiser une solution.

III.2 Définition méthode hybride :

Une méthode hybride est une méthode de recherche constituée d'au moins de deux méthodes de recherche distinctes. Elle consiste à exploiter les avantages respectifs de plusieurs méthodes en combinant leurs algorithmes suivant une approche synergétique. Une méthode hybride peut être mauvaise ou bonne selon le choix et les rôles de ses composants. Pour définir une méthode hybride efficace, il faut savoir caractériser les avantages et les limites de chaque méthode. Par exemple, les algorithmes génétiques sont très performants lorsqu'il s'agit d'explorer l'espace de recherche, mais ils s'avèrent ensuite incapable d'exploiter efficacement la zone vers laquelle la population des solutions converge. Il est alors plus intéressant d'utiliser dans ce stade une autre méthode permettant une bonne exploitation comme par exemple le recuit simulé ou une autre heuristique d'amélioration. Il faut souligner qu'il faut être prudent sur le choix des méthodes à hybrider ainsi sur le problème de multiplication des paramètres [21].

III.3 La Méthode De Recuit Simulé :

III.3.1 Définition recuit simulé (Simulated Annealing) :

Le recuit simulé est issu d'une analogie avec le phénomène thermodynamique de recuit des métaux. La méthode imite une procédure utilisée depuis des millénaires par les métallurgistes qui, pour obtenir un alliage exempt de défauts, chauffent d'abord à blanc leur morceau de métal et laissent ensuite l'alliage se refroidir très lentement. En effet, lorsqu'on chauffe un métal solide il devient liquide à une certaine température, dans ce cas, les atomes qui le composent voient leur degré de liberté augmenter. Inversement, lorsque l'on baisse la température, le degré de liberté diminue et les atomes s'organisent en structure atomique parfaite, proche de l'état d'énergie minimale afin d'obtenir un solide. Cependant, lorsque la baisse progressive de la température est trop rapide (comme pour la Trempe), le solide présente alors des défauts, on tombe dans un minimum local d'énergie. La technique du recuit redonne de la liberté aux atomes pour tenter d'atteindre un nouvel état dynamique. Se basant sur la révolution d'un système thermodynamique, le recuit simulé accepte, pour sortir d'un minimum local, une dégradation de la fonction de coût avec une certaine probabilité. Cet algorithme a été proposé par Kirkpatrick, Gelatt, et Vecchi en 1983 à partir de **la méthode de Metropolis** qui était utilisée pour modéliser les processus physiques, après avoir constaté que la recherche des minima locaux était de même nature dans les deux cas (physique et informatique). [22]

III.3.3 Principe De La Méthode Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :

La méthode de recuit simulé part d'une solution initiale admissible et continue l'exploration de l'espace d'états en effectuant des perturbations mineures sur la solution courante. Si la nouvelle solution obtenue est améliorée alors elle est retenue. Si elle est détériorée par rapport au critère d'optimisation alors elle est retenue avec une probabilité inversement proportionnelle au nombre d'itérations. Le recuit simulé a l'avantage de couvrir un espace de recherche plus grand et d'éviter la convergence prématurée vers un optimum local. Plusieurs problèmes de job shop ont été traités par la méthode de recuit simulé. [23]

III.3.4 Algorithme De Metropolis :

En 1953, Metropolis avait proposé un algorithme itératif qui permet d'atteindre l'état d'équilibre thermodynamique d'un système simulé à une température T (Metropolis, et al., 1953). Son principe consiste à itérer les deux étapes suivantes :

CHAPITRE 03 : Résolution Problème Routage De Véhicules Par Algorithme Hybride [Recuit Simulé (Simulated Annealing) +2-Opt]

- évaluer la variation d'énergie associée à une transition élémentaire aléatoire de l'état courant i , d'énergie E_i , vers un nouvel état j , d'énergie E_j : $\Delta E_{ij} = E_j - E_i$;
- accepter la transition vers le nouvel état avec une probabilité P_{ij} ou : [24]

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ij}(T) = \exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right) \quad \text{si } \Delta E_{ij} > 0 \quad (\text{III},12) \end{array} \right.$$

III.3.5 Domaines D'applications De La Méthode Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :

Comme pour toute méta-heuristique, la méthode du recuit simulé peut être appliquée dans de nombreux problèmes d'optimisation, les chercheurs l'ont utilisée essentiellement dans :

- La conception des circuits intégrés (problème de placement et de répartition) ;
- Le routage des paquets dans les réseaux,
- La segmentation d'images ;
- Le problème du voyageur de commerce ;
- Le problème du sac à dos.
- Et, le routage de véhicule

III.3.6 Organigramme Général Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :

Le schéma ci-dessus représente la structure générale de l'algorithme de recuit simulé :

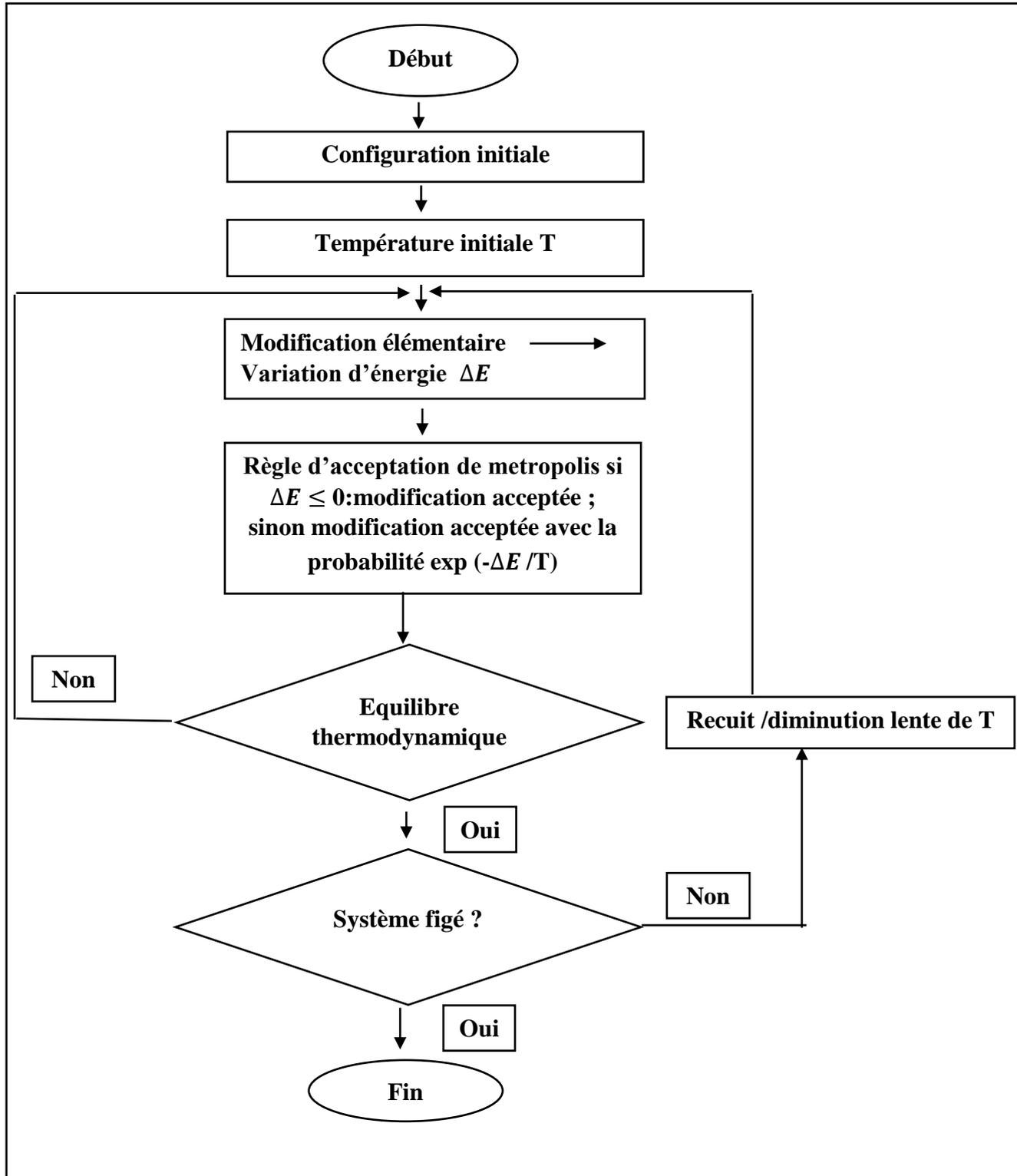


Figure III.1 : Organigramme général du recuit simulé [23]

III.3.7 Algorithme du recuit simulé (Simulated Annealing) :

Début

Choisir une solution initiale S

Choisir une température initiale $T_i > 0$

Choisir une température finale $T_f > 0$

Choisir un nombre d'itérations nb (à une température donnée)

Choisir le coefficient de diminution de la température $\emptyset \in [0,1]$

$T = T_i$

Tant que ($T > T_f$) Faire

Pour ($0 < k < nb$) Faire

Choisir S_i voisin aléatoire de S

$\Delta = f(S_i) - f(S)$ (f la fonction objective à minimiser)

Si ($\Delta < 0$) Alors

$S = S_i$

Si ($f(S_i) < f(S_{Best})$) Alors

$S_{Best} = S_i$

Sinon

$S = S_i$ avec la probabilité $e^{(-\frac{\Delta E}{T})}$ (Critère de Metropolis)

$T = T * \emptyset$ (Schéma de refroidissement)

Fin si

Fin pour

Fin tant que

Affiche (S_{Best})

Fin[25]

III.3.8 Avantages Et Inconvénients Du Recuit Simulé :

III.3.8.1 Avantages Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :

- Facile à implémenter .
- Donne généralement de bonnes solutions par rapport aux algorithmes de recherche classiques.
- Peut être utilisé dans la plupart des problèmes d'optimisation .
- Il converge vers un optimum global (lorsque le nombre d'itérations tend vers l'infini (Autin, 2006)).

Cela fait de lui une option attrayante pour les problèmes d'optimisation difficiles. [26]

III.3.8.2 Inconvénients Du Recuit Simulé (Simulated Annealing) :

Le principal inconvénient du recuit simulé est qu'une fois l'algorithme piégé à basse température dans un minimum local, il lui est impossible de s'en sortir. Plusieurs solutions ont été proposées pour tenter de résoudre ce problème, par exemple en acceptant une brusque remontée de la température de temps en temps, pour relancer la recherche sur d'autres régions plus éloignées. à partir cela on peut citer quelques autres inconvénients comme :

- La difficulté de déterminer la température initiale :
 - ✓ Si elle est trop basse, la qualité de recherche sera mauvaise.
 - ✓ Si elle est trop haute, le temps de calcul sera élevé.
- L'impossibilité de savoir si la solution trouvée est optimale ;
- Dégradation des performances pour les problèmes où il y a peu de minimas locaux (comparé avec les heuristiques classiques comme la descente du gradient par exemple).

III.4 L'algorithme 2-opt :

III.4.1 Définition 2-opt :

Est un algorithme itératif de recherche locale plutôt simple, et qui consiste à parcourir le tour courant à la recherche de deux arêtes (a ; b) et (c ; d) qui peuvent être remplacées par les arêtes (a ; c) et (b ; d) ou (a ; d) et (b ; c) pour former un nouveau tour plus court. Si le nouveau tour ne l'est pas, alors nous gardons la configuration précédente et nous recherchons une autre paire d'arêtes.

III.4.2 Principe D'amélioration 2-opt :

Le principe de l'algorithme « amélioration 2-opt » est assez simple et repose sur l'idée Suivante :

- . On génère un premier trajet
- . On l'améliore jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt ait été vérifié.

Génération du premier trajet

On peut générer le trajet de telle sorte qu'à la $i - \text{ème}$ étape, le choix de la $(i + 1) - \text{ème}$ ville est la plus proche voisine de la $i - \text{ème}$ ville parmi les villes à parcourir.

Amélioration du trajet

Une amélioration possible est de supprimer tout croisement. En s'appuyant sur l'inégalité du parallélogramme, prenons le cas d'un trajet ou un chemin direct relie A à B, un chemin relie B à C et ensuite un chemin relie C à D, On voit que si :

$$(AB + CD)^2 > (AC + BD)^2 \quad \text{(III.2.1)}$$

Alors il y a présence de croisement et il apparaît plus efficace alors de passer d'A à C, de relier C à B puis de passer de B à D.

Critère d'arrêt

Un critère d'arrêt possible est que la fonction d'amélioration définie Précédemment ne modifie plus le trajet. Autrement dit dès qu'il n'y a plus de croisement dans le trajet. [27]

III.4.3 Algorithme D'amélioration 2-Opt :

Début

Choisir un tournée initiale T1 et calculer C(T1)

Donner n

Donner la solution optimale (sol_opt)

J ← 1

Améliore ← vrai

Tant que (Améliore ou J < n)

Améliore ← faux

Prendre une paire d'arêtes non adjacentes

Construire T2 et calculer C(T2)

Si $C(T2) \leq C(T1)$ alors

T1 ← T2

Améliore ← vrai

J ← 1

Sinon

J ← J + 1

Fin si

Gap ← $(T2 - \text{sol_opt}) / \text{sol_opt}$

Fin tant que

Fin de l'algorithme[27]

III.5 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les principaux concepts de l'algorithme recuit simulé (simulated annealing) et l'algorithme 2-opt qui sont utilisés dans une méthode hybride pour résoudre le problème de routage de véhicules (VRP).

C

HAPITRE IV :

Réalisation et résultats

IV.1 Introduction :

Ce chapitre est principalement consacré aux expériences réalisées dans le cadre de notre travail ; et pour atteindre notre objectif principal, nous avons commencé à décrire les outils utilisés pour le développement du projet, tels que le choix du langage de programmation, et le matériel utilisé. Ensuite, on va exprimer le problème de routage véhicule mono dépôt avec l'algorithme recuit simulé (Simulated Annealing) et l'algorithme 2-opt appliqué dans ce travail et on va faire des expériences déférentes sur nos données ; les résultats obtenus sont également communiqués et expliquées, nous enchainons ensuite avec une discussion des résultats obtenus.

IV.2 Outils matériels et logiciels :

IV.2.1 Configuration matériels :

Ce travail a été implémenté sur un PC, caractérisé comme suit :

- Un Processeur : Intel(R) Core (TM) I5-5217U CPU @ 1.80GHz.
- Une RAM : 8 GO.
- Sous un système d'exploitation Windows 10 de 64 bits.

IV.2.2 Environnement logiciel :

Pour implémenter notre application, on a choisi comme outils de développement, MATLAB. Le tableau 1, donne une fiche technique de ce dernier. **MATLAB** (« *matrix laboratory* ») est un langage de script émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société **The MathWorks**, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des *toolboxes* (« boîte à outils »)

[28]

Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique

CHAPITRE 04 :Réalisation et Résultats

Créateur	<u>Cleve Moler</u>
Développé par	MathWorks
Première version	1984
Dernière version	R2021a (17 mars 2021)
Écrit en	C, C++, Fortran et Java
Système d'exploitation	Microsoft Windows, macOS et GNU/Linux
Environnement	Linux, Unix, MacOS et Windows
Format lus	MATLAB M-File, MAT4, MAT-file, level5, version6, MAT-file, level5, version7, MAT-file, level5, version7.3 et BigTIFF
Format écrit	MATLAB M-File et Hierarchical Data Format
Type	Calcul numérique
Licence	Propriétaire
Site web	www.fr.mathworks.com

Tableau IV.1 : Caractéristique de l'outil utilisé, MATLAB

IV.3 L'organigramme de l'algorithme hybride (recuit simulé +2-opt) sur le problème routage de véhicule avec Capacite:

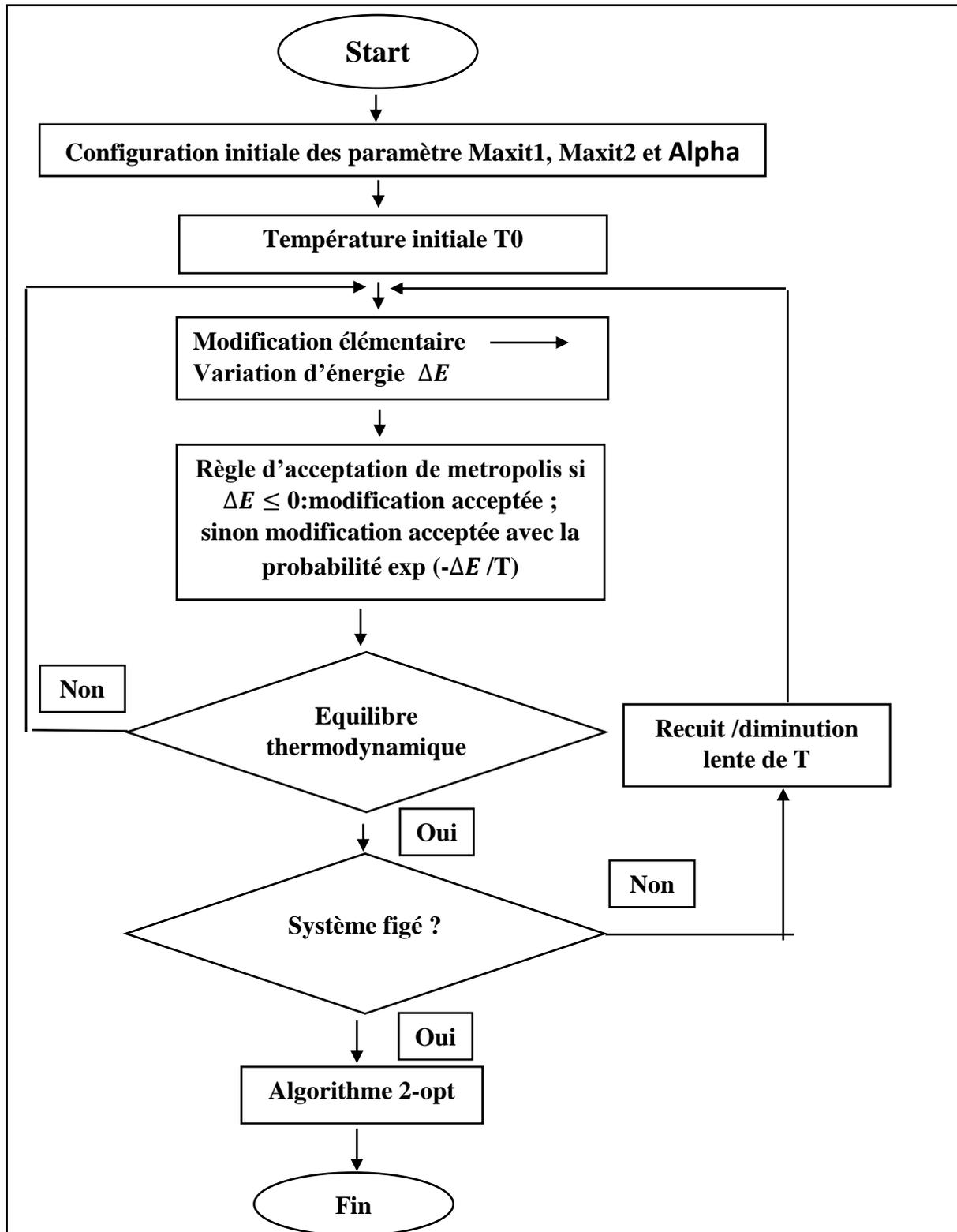


Figure VI.1 : Organigramme De L'algorithme Hybride (Recuit Simulé + 2-Opt) Sur CVRP

CHAPITRE 04 :Réalisation et Résultats

IV.3 Résultats et discussions :

IV.3.1 configuration les paramètres de recuit simulé (Simulated Annealing) :

Nous avons faire à chaque ensemble de paramètres des exécutions (tests) et calculer la moyenne des résultats pour trouver les meilleurs paramètres qui donnent le meilleur coût et la moyenne de coût pour chaque modèle (I : nombre des clients, J : nombre de véhicules).

IV.3.1.1 les paramètres de recuit simulé :

- **Maxit1** : nombre maximal d'itération
- **Maxit2** : nombre maximal d'itération internes
- **Alpha** : taux d'amortissement de la température
- **T0** : la température initiale

IV.3.1.2 Discussions Des Résultats Des Modeles VRP :

Voilà les tableau ci-dessous de chaque modèle :

Résultat de Model	Maxit1	Maxit2	Alpha	T0	Temps seul test (s)	Coût		
						meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(30 ,5)	1200	1200	0 ,98	100	173	344 ,5186	344 ,5186	344 ,5186
	270	270	0,98	100	35	344 ,5186	345,5077	346,3349
	270	270	0 ,45	100	35	351,0608	354 ,2640	357,2182
	270	270	0,98	40	35	344 ,5186	344,5476	344,5866
	270	270	0 ,98	10	35	344 ,5186	345,6089	351,0608

Tableau IV.2 : Les résultats de tests du modèle CVRP (30, 5)

Les résultats obtenus après 5 exécutions sont dans le tableau IV.2, Elle indique clairement que les paramètre Maxit1=270, Maxit2=270, Alpha=0,98 et T0=40 donne le meilleur coût et la meilleure moyenne de coût dans un temps réduit, par contre lorsque nous levons nombre d'itération (Maxit1=1200, Maxit2=1200) le moyen de coût devient mieux mais dans un temps non réduit.

CHAPITRE 04 :Réalisation et Résultats

Résultat de Model	Maxit1	Maxit2	Alpha	T0	Temps Seul test (s)	Coût		
						meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(40 ,6)	1200	1200	0 ,98	100	183	356,6100	358,4882	360,9127
	330	330	0,98	100	45	358 ,1872	359,1591	360,4552
	330	330	0 ,5	100	45	360,0905	365,1769	370,3132
	330	330	0,98	120	45	356,9177	358,2050	359,0547
	330	330	0 ,98	40	45	356,6100	357,5831	358,0115

Tableau IV.3 : Les résultats de tests du modèle CVRP (40, 6)

Les résultats obtenus après 5 exécutions dans le tableau IV.3, Elle indique clairement que les paramètre Maxit1=330, Maxit2=330, Alpha=0,98 et T0=40 donne le meilleur coût et la meilleure moyenne de coût dans un temps réduit à tous les tests.

Résultat de Model	Maxit1	Maxit2	Alpha	T0	Temps seul test (s)	Coût		
						meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(50 ,7)	1200	1200	0 ,98	100	190	355,5767	356,7498	357,3157
	370	370	0,98	100	49	355,4157	359,153	362,3986
	370	370	0 ,40	100	49	359,0319	366,0673	372,9561
	370	370	0,98	130	49	356,4350	357,6139	358,4762
	370	370	0 ,98	35	49	355,4157	356,8318	357,9450

Tableau IV.4 : Les résultats de tests du modèle CVRP (50, 7)

Les résultats obtenus après 5 exécutions dans le tableau IV.4, Elle indique clairement que les paramètres Maxit1=370, Maxit2=370, Alpha=0,98 et T0=35 donne le meilleur coût et la meilleure moyenne de coût dans un temps réduit à tous les tests.

CHAPITRE 04 :Réalisation et Résultats

Résultat de Model	Maxit1	Maxit2	Alpha	T0	Temps Seul test (s)	Coût		
						meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(60 ,7)	1200	1200	0 ,98	100	205	374,7530	377,9309	381 ,2138
	460	460	0,98	100	56	374,5846	377,5878	380,5079
	460	460	0,55	100	56	371,1364	376,0221	380,3190
	460	460	0,55	120	56	373,9657	378,2738	383 ,4313
	460	460	0 ,55	50	56	374,5590	379,2641	384,3157

Tableau IV.5 : Les résultats de tests du modèle CVRP (60, 7)

Les résultats obtenus après 5 exécutions dans le tableau IV.5, Elle indique clairement que les paramètres Maxit1=460, Maxit2=460, Alpha=0,55 et T0=100 donne le meilleur coût et la meilleure moyenne de coût dans un temps réduit à tous les tests.

Résultat de Model	Maxit1	Maxit2	Alpha	T0	Temps seul test (s)	Coût		
						meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(70 ,8)	1200	1200	0 ,98	100	259	366,3187	371,8064	384 ,739
	550	550	0,98	100	70	368,6227	373,3084	378,9677
	550	550	0,40	100	70	368 ,8397	374,3157	381,3859
	550	550	0,98	130	70	366,3187	371,0159	381,1251
	550	550	0 ,98	45	70	368,1558	373,8600	379,0010

Tableau IV.6 : Les résultats de tests du modèle CVRP (70, 8)

Les résultats obtenus après 5 exécutions dans le tableau IV.6, Elle indique clairement que les paramètres Maxit1=550, Maxit2=550, Alpha=0,98 et T0=130 donne le meilleur coût et la meilleure moyenne de coût dans un temps réduit à tous les tests.

CHAPITRE 04 :Réalisation et Résultats

Après les résultats des modèles VRP nous remarquons que chaque modèle donne des meilleurs paramètres différents, donc, en déduit que recuit simulé (Simulated Annelling) de chaque modèle VRP contient spéciale paramètres qui donne les meilleurs résultats.

IIII-3-2- Comparaison entre VRP-SA et VRP-SA+2-opt :

Résultat des Model	SA-CVRP			SA- +2-opt -CVRP		
	meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût	meilleur Coût	Moyenne Coût	Mauvaise Coût
(30 ,5)	344,5186	345 ,0356	347,1019	344,5186	345,2918	347 ,1419
(40 ,6)	355,8660	359,2090	366,4583	356,1707	359,3093	366,4583
(50 ,7)	357,5429	361,8067	365,6157	357,5429	361,8129	365,6157
(60 ,7)	375,0079	380,5050	385 ,8206	375,0079	380,5050	385 ,8206
(70 ,8)	367,0430	370,9505	376,8289	367,0430	370,9505	376,8289

Tableau IV.7 : Comparaison entre CVRP-SA et CVRP-SA+2-opt

Les résultats obtenus après 5 exécutions dans le tableau IV.8, Elle indique clairement que l'amélioration de l'algorithme VRP-SA+2-opt (le problème tourné de véhicule avec l'algorithme recuit simulé et l'algorithme 2-opt) à partir l'algorithme CVRP-SA (le problème tourné de véhicule avec l'algorithme recuit simulé) n'est pas suffisant parce que elle donne des résultats mauvais et no performant lorsque en comparant avec l'algorithme CVRP-SA.

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons solution de probleme de routage (tournée) de véhicule avec l’algorithme recuit simulé, puis on a consacré beaucoup de temps pour les tests a cinq série des exécutions (tests) a chaque modèle pour évaluer les bons paramètres qui donne les meilleurs résultats à cet algorithme, après, nous avons utilisé ces meilleurs paramètres pour comparer les résultats avec la méthode hybride (algorithme recuit simulé combiné avec algorithme 2-opt) de problème routage (tournée) de véhicule avec l’algorithme recuit simulé et l’algorithme 2-opt qui est aussi implémenter.

Finalement, nous remarquons que les meilleurs paramètres du problème routage (tournée) de véhicule avec l’algorithme recuit simulé sont différents dans chaque modèle et les résultats de comparaison pour le modèle n’acceptent pas une amélioration.

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous allons voir un nouveau domaine pédagogique dérivé de notre style d'éducation, c'est le domaine de recherche opérationnelle surtout la branche de l'optimisation combinatoire qui joue un rôle pour chercher le meilleur choix selon un critère donné parmi un ensemble des choix possibles pour des problèmes d'ordre théorique ou pratique.

Donc, Le travail élaboré dans ce mémoire porte essentiellement sur le problème de routage (tourné) de véhicule et les méthodes de résolution approchées utilisées pour résoudre ce problème.

Les heuristiques ou les méta-heuristiques exploitent généralement des processus aléatoires dans l'exploration de l'espace de recherche pour faire face à l'explosion combinatoire engendrée par l'utilisation des méthodes exactes. En plus de cette base stochastique, les méta-heuristiques sont le plus souvent itératives, ainsi le même processus de recherche est répété lors de la résolution. Leur principal intérêt provient justement de leur capacité à éviter les minima locaux en admettant une dégradation de la fonction objective au cours de leur progression.

En fin nous avons appliqué deux des algorithmes présentés sur des exemples du problème de routage (tourné) de véhicule. L'algorithme recuit simulé et l'algorithme 2-opt, après, on a discuté les résultats et remarqué que la méthode hybride utilisée n'accepte pas une amélioration.

Perspectives :

Dans ce travail nous avons considéré principalement le problème de routage de véhicule mono dépôt avec l'algorithme recuit simulé séparé et avec l'algorithme recuit simulé combiné avec l'algorithme 2-opt dans des problèmes de petite taille.

Notre perspective est de proposer :

- ✓ L'étude de problème de routage de véhicule mono dépôt avec l'algorithme recuit simulé combiné avec l'algorithme 2-opt dans des problèmes de grande taille
- ✓ L'étude de l'algorithme recuit simulé combiné avec l'algorithme 2-opt dans un autre problème combinatoire (voyageur de commerce, sac à dos ...).

Bibliographie :

Bibliographie :

- [1] : **SCE SAADI LAILA**, Optimisation MultiObjectifs par Programmation Génétique, page :8,9 Génétique
- [2] : **Yann Collette, Patrick Siarry** ; Optimisation Multiobjectif ; Septembre 2002 ; Edition Eyrolles, 75240 Paris Cedex 05, France ; Page 1, 1, 2, 17, 18, 19, 21, 22,23, 41, 42, 43, 44, 46
- [3] : **Alain Berro** ; Optimisation Multi objectif et Stratégie d'évolution en Environnement Dynamique (thèse de Doctorat) ; 18 Décembre 2001 ; Université des sciences sociales Toulouse ; page 14, 27, 29.
- [4] : **Y. COLLETTE, P. SIARRY**, - Optimisation multi-objectif-Eyrolles,2002.
- [5] : **M. AKLI**, problème de tournées de véhicules avec contraintes et fenêtre de temps, thèse de magister, université de mouloud Mammeri,
- [6] : **GREGOIRE ALLAIRE** livre - Analyse numérique et optimisation - Une introduction à la modélisation mathématique et à la simulation numérique French
- [7] : **Dantzig et al. [1954]** : G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Operations Research*, (2), pages 393-410, 1954.
- [8] : **Zhao Xin** .une method génétique pour la resolution du problem dynamique de routage de vehicules avec temps de parcours variables .page 8-9
- [9] : **[Alonso et al., 2006]** F. Alonso, M.J. Alvarez, and J.E. Beasley. A Tabu Search Algorithm for the Periodic Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Trips and Accessibility Restrictions. *To appear in Journal of the OR Society*, 2006.
- [10].: **Kilby et al. [1998]** P. Kilby, P. Prosser, and P. Shaw. Guided local search for the vehicle routing problem. *Proceeding of the 2nd International Conference on Metaheuristics (MIC97), Sophia-Antipolis, France, pages 21-24, 1997.*
- [11] :le processus d'achat <https://www.coffee-net.com/2013/07/blog-post.html> 23-03-2021
- [12]: **Aouadj Ayache** Mémoire Résolution du problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps 2018 /2019
- [13] : **(Mingozzi, 2005)**. A.Mingozzi. The multi-depot periodic vehicle routing problem. *Book Chapter (Abstraction, Reformulation and Approximation)*, pages 347-350, 2005.
- [14] :<https://www.almrsl.com/post/843268> Le 23-03-2021

Bibliographie :

- [15]: (M. Gendreau , J.-Y. Potvin, O. Bräysy, G. Hasle, and A. Løkketangen. Gendreau et al.2008) Metaheuristics for the vehicle routing problem and extensions:A categorized bibliography. *B. L. Golden, S. Raghavan, and E. Wasil (eds). The Vehicle Routing Problem- Latest Advances and NewChallenges. Springer, New York, pages143–170, 2008.*
- [16]: [Cordeau et al. 2002. M. Gendreau, G. Laporte, and J.-Y. Potvin. Metaheuristics for the capacitated VRP. *P. Toth, and D. Vigo (eds). The Vehicle Routing Problem. SIAM Series on Discrete Mathematics and Applications, SIAM, Philadelphia, 129–154. 2002.*
- [17] :[Rego et al. 1994]. C. Rego, and C. Roucairol. Le Problème de Tournées de Véhicules: Etude et Résolution Approchée. Technical Report, inria, Février, 1994. **Simulated Annealing** [Rapport] / aut. LIACS / Natural Computing Group ; Leiden University. – 2009
- [18] :[Angelelli et Speranza 2002]
- [19] **Dr Soriklis S .Powell** :Journal of the Operational Research Society. A heuristic method for the open vehicle routing problem. 2000
- [20]: **MERZAK Zoulikha, ABBAZ Souheyla** Problème de tournées de véhicules avec gestion de stock dans un réseau de distribution page 31
- [21]: **Mr LABED SAID**, Méthodes bio-inspirées hybrides pour la résolution de problèmes complexes, p.56-70, 2013.
- [22]: **KIRKPATRICK, S., GELATT, C. D., VECCHI, JR.** (May 1983) Optimization by Simulated annealing, Science, vol. 220, no 4598, p. 671-680.
- [23]: **HEMMAK Allaoua** Support de cours d'optimisation combinatoire. Juin 2017 – page 35 ,36

Bibliographie :

- [24] **Amir Nakib** Conception de méta heuristiques d'optimisation pour la segmentation d'images. Application aux images biomédicales, , page29
- [25]: **Sherbrooke Québec,** Etude des algorithmes de recuit simulé, de recherche tabou et génétique implémentés dans un système de construction d'horaires de cours universitaires. CANADA Décembre 2008, page 12
- [26] : **BENDAHMANE Amine** Optimisation avancée,– 25 octobre 2011 page 10
- [27] **Melle. BEKADA Karima Amina,** Sur Une Méthode de Résolution d'un Problème d'Optimisation Combinatoire. Page 16,17
- [28] [www.fr.wikipedia.org/definition Matlab](http://www.fr.wikipedia.org/definition/Matlab), mathworks.com. Le 30/06/2021

Résumé :

Résumé :

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante dans la recherche opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique, dans ce mémoire nous allons étudier le problème d'optimisation combinatoire routage de véhicule mono dépôt (VRP) avec l'algorithme recuit simulé (Simulated Annealing) séparé et avec l'algorithme recuit simulé combiné avec l'algorithme 2-opt, puis, nous allons faire des discussions comparatives entre les résultats des deux algorithmes.

Mots-clés : le problème routage de véhicule, l'algorithme recuit simulé, l'algorithme 2-opt

Summary:

Combinatorial optimization occupies a very important place in operations research, in discrete mathematics and in computer science, in this thesis we will study the combinatorial optimization problem of single depot vehicle routing (VRP) with the simulated annealing algorithm (Simulated Annealing). separate and with the simulated annealing algorithm combined with 2-opt algorithm, then, we will make comparative discussions between the results of the two algorithms.

Keywords: vehicle routing problem, simulated annealing algorithm, 2-opt algorithm

ملخص:

يحتل التحسين التجميعي مكانا مهما في عملية البحث، في الرياضيات المنفصلة ، وفي علوم الكمبيوتر . وفي هذه الأطروحة سنقوم بدراسة مشكلة التحسين التجميعي لتوجيه المركبات أحادية المستودع (VRP) مع خوارزمية محاكاة التلدين المنفصلة و كذا المجتمعة جنبا الى جنب مع خوارزمية 2 اختيار (الاختيارين) ، بعدها سنجري مناقشات مقارنة بين نتائج الخوارزميتين .

الكلمات الرئيسية: مشكلة توجيه المركبات ، خوارزمية محاكاة التلدين ، خوارزمية 2 اختيار.