

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE: MATHEMATIQUES ET DE
L'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT :D'INFORMATIQUE

N° :.....

FILIERE : INFORMATIQUE

SPÉCIALITÉ: INFORMATIQUE
DECISIONNEL ET OPTIMISATION

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

(Supply Chaine)
Problème de Tournée du Véhicule avec Fenêtre de
Temps (PTVFT)

Rédigé par:

- Hadbaoui Nawal.
- Nouibat Khaoula.

Soutenu devant le jury composé de:

Boudaa	Université M'sila	Président
Bounif Mohammed Elhadi	Université M'sila	Rapporteur
Nouioua Leila	Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Nous dédions ce travail :

- + A nos chers parents.*
- + A nos chers frères et soeurs.*
- + A toutes nos familles*
- + A nos chers collègues d'études et frères de cœur.*

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier le Dieu le tout-puissant et Le Miséricordieux, qui nous a donné la vie et la force ainsi que le courage et l'audace pour dépasser toutes les difficultés, d'avoir suivis et accomplis toutes les étapes de mes études.

*Nous remercions notre encadreur **Dr.Bounif Mohamed El Hadi** , pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de réalisé nos étude et qui nos aidée lors de la rédaction de ce mémoire. En particulier, le professeur **Hammak Allaoua**.*

Enfin nous tenons aussi à remercier tous nos amis et collègues d'étude qui nous ont aidés de près ou de loin d'avoir réalisé ce travail.

Table des Matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I	3
GÉNÉRALITÉ SUR LA CHAÎNE LOGISTIQUE.....	3
I.1 INTRODUCTION:.....	4
SECTION 1 : LES CONCEPTS DE BASE SUR LA CHAÎNE LOGISTIQUE	4
I.2 LES CHAÎNES LOGISTIQUES:.....	4
I.2.1 Définition de la chaîne logistique :.....	4
I.2.2 La structure de la chaîne logistique:.....	5
I.2.3 Les flux de la chaîne logistique :	8
I.2.4 Les processus de la chaîne logistique :	9
I.3 LES CHAÎNES LOGISTIQUES(TRANSPORT ET DISTRIBUTION):.....	10
SECTION2 : PROBLÈME DE TRANSPORT.	11
I.4 LE PROBLÈME DU VOYAGEUR DE COMMERCE :	11
.....	11
I.5 LE PROBLÈME DE TOURNÉES DE VÉHICULES :	12
I.6 FORMULATION DE VRP : (7).....	12
I.7 GESTION DE L'INVENTAIRE:.....	14
I.8 CONCLUSION:	14
CHAPITRE II.....	15
OPTIMISATION DE PROBLEME DE TOURNÉE DE VÉHICULE.....	15
II.1 INTRODUCTION:.....	16
II.2 L'OPTIMISATION, DÉFINITION :	16
II.3 PROBLÈME D'OPTIMISATION :	16
II. 4 LES MÉTHODES D'OPTIMISATION :.....	17
II.5 LES MÉTHODES DE RÉOLUTION:	18
II.5.1 Méthodes exactes:	19
II.5.2 Méthodes approchées:.....	19
II.5.2 .1 LES CATÉGORIES DES MÉTHODES APPROXIMATIVES.....	20
□ Heuristiques.....	20
□ Métaheuristiques:.....	20
II.6 LA COMPLEXITÉ PROBLÉMATIQUE:	21
II.6.1 Classe de problèmes:.....	22
II.7 CONCLUSION:	22
CHAPITRE III	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
PROBLÈME DE ROUTAGE DE VÉHICULE AVEC FENÊTRE DE TEMPS (VRPTW)	23
III.1 INTRODUCTION :	24
III.2 PROBLÈMES DE TOURNÉES DES VÉHICULES :	24
III.3 VARIANTES DU VRP :.....	25
III.3.1 Problème de tournée de véhicules avec contrainte de capacité (CVRP):.....	25
III.3.2 Problème de tournée de véhicules avec fenêtre de temps (VRPTW) :.....	25
III.3.3 Problème de tournées de véhicules stochastique (SVRP) :	26
III.3.4 Problème de tournées de véhicules avec dépôts multiples (MDVRP) :.....	26
III.3.5 Problème de tournées de véhicules Split-Delivery (SDVRP ou VRPSD) :	26
III.3.6 Problème de tournées de véhicules Dynamique (DVRP) :.....	26
III.3.7 Problème de tournée de véhicules with Backhauls (VRPB) :	27

III.4 LE PROBLÈME VRPTW :	28
III.5 LA FORMULATION DU VRPTW (7):	29
III.6 FONCTION OBJECTIF :	31
III.7 LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES :	31
<i>III.7.1 Origine de l'algorithmes génétique :</i>	31
<i>III.7.2 Principe :</i>	32
<i>III.7.2 Codage et population initiale:</i>	34
<i>Définition 1</i>	34
.....	34
<i>III.7.2 Le codage de la solution :</i>	35
<i>III.7.3 Paramètres de l'algorithme génétique :</i>	35
<i>III.7.4 Principaux paramètres :</i>	35
III.8 CONCLUSION :	36
CHAPITRE IV	37
L'IMPLIMENTATION DE PROBLÈME DE TOURNÉS DE VÉHICULES AVEC FENÊTRE DE TEMPS (VRPWT)	37
IV.1 INTRODUCTION :	38
IV.2 L'OBJECTIF DU TRAVAIL:	38
IV.3 DESCRIPTION DE L'APPROCHE PROPOSÉE:	38
IV.4 ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT :	38
<i>IV.4.1 Système opérateur:</i>	39
<i>IV.4.2 Langage de programmation(Python):</i>	39
IV.5 APPLICATION CONSOLE DE VRPTW:	40
<i>IV.5.1 Guide d'utilisation de l'application:</i>	40
IV.6 QUELQUES TESTS SUR L'IMPLÉMENTATION:	41
IV. CONCLUSION :	44
CONCLUSION GÉNÉRALE	45
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

Liste des figures

Figure 1: Schéma d'une chaine logistique	5
Figure 2: La structure série (26).....	5
Figure 3: La structure dyadique (26)	6
Figure 4: La structure divergente (26).....	6
Figure 5: La structure convergente (26).....	7
Figure 6: La structure réseau (26).....	7
Figure 7: Schéma des flux de la chaine logistique	9
Figure 8: Système de la chaine logistique.	10
Figure 9: Problème du Voyageur de Commerce (PVC).....	11
Figure 10: Un modèle général de problème d'optimisation.	17
Figure 11: Les méthode de résolution du VRP.	18
Figure 12: Problèmes de tournées des véhicules.(9)	24
Figure 13: VRPTW.....	29
Figure 14 : le principe d'algorithme génétique.	33
Figure 15: Un exemple simplede codage.	34
Figure 16: Logo de python.	39
Figure 17: Résultat d'exécution de " sample_C204.py "	42
Figure 18: Résultat d'exécution de "sample_customized_data.py "	43
Figure 19: Résultat d'exécution de " sample_R101.py"	44

Liste des Tables

Tableau 1: comparaison entre les méthodes exactes et les méthode approchée	19
Tableau 2: Table des variantes du problème VRP	28
Tableau 3: Fiche Technique de Python.	40

Liste des abréviations

PTV	Problème de Routage de Véhicules
PTVFT	Problème de Tournée de Véhicules avec Fenêtre de Temps
AG	Algorithme Génétique
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
MDVRP	Multiple Deposits Vehicle Routing Problem
PVC	Problème du Voyageur de Commerce
SVRP	Stochastique Vehicle Routing Problem
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows
VRPSC	Vehicle Routing Problem with Stochastic Customers
VRPSD	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands
VRPSTT	Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times
VRPSD	Vehicle Routing Problem Split-Delivery
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhauls
VRPCB	Vehicle Routing Problem with Clustered Backhauls
VRPMB	Vehicle Routing Problem with Mixed Linehauls and Backhauls

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Au cours des dernières années, le nombre d'entreprises a considérablement augmenté, ce qui a entraîné l'émergence d'une soi-disant compétitivité dans le domaine économique; puis est venu le concept de la chaîne logistique.

La chaîne logistique englobe toutes les tâches effectuées pour la production d'un service ou d'un produit à savoir l'approvisionnement, le traitement, le stockage et la distribution.

La chaîne logistique cherche à relier l'offre et la demande en répondant aux besoins des clients, maintenant la plupart des entreprises cherchent à se coordonner entre les fournisseurs pour équilibrer le transport et réduire les coûts.

L'optimisation des chaînes logistiques occupe une place importante dans la vie industrielle des entreprises; l'objectif est d'améliorer leur compétitivité en optimisant leurs performances et en réduisant leurs coûts.

Le problème de tournée de véhicule est déterminer les tournées d'une flotte de véhicules afin de livrer une liste de clients, ou de réaliser des tournées d'interventions ou de visites .

Ainsi; l'élaboration de circuits de véhicules est un problème très important qui est de déterminer les routes d'une flotte de véhicules pour satisfaire les clients,et parmi les problèmes résultant de l'intégration entre ces activités; il y a le problème de routage de véhicules (PTV) quel est l'objet de notre étude.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres:

Le premier chapitre de ce mémoire propose, une vue d'ensemble sur les concepts d'une chaîne logistique et de sa gestion avec les différents niveaux décisionnels, ainsi que les principaux types ou architectures de chaînes logistiques, décrivons quelques outils et notions tel que : les différentes fonctions et les mesures de performance. Et dernière section, nous introduisons les concepts de transport. Nous rappelons brièvement les notions de transport.

Le deuxième chapitre nous introduisons les concepts, les caractéristiques générales et les différentes méthodes de résolution d'un problème d'optimisation. Ainsi qu'une brève introduction sur le transport des chaînes logistiques .

Dans le troisième chapitre, nous présentons les aspects importants relatifs aux algorithmes génétiques et Le VRPTW, Enfin dans Le quatrième chapitre nous présentons une vue sur l'architecture et l'objectif de la méthode de résolution. Puis nous allons présenter l'implémentation ainsi que les résultats obtenus par l'approche utilisé, ou on a pris l'algorithme génétique avec quelques exemples. Ce mémoire se termine par une conclusion.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉ SUR LA CHAÎNE LOGISTIQUE

I.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude détaillée sur les chaînes logistique en définissant les gros titres de notre problème, en présentant la chaîne logistique à travers la définition et l'explication d'une notion de base. Ensuite, nous allons donner des systèmes qui ont une relation avec les chaînes logistique et les plus importants sont le système de transport et le système de distribution .

Après, nous exposerons le problème de routage des véhicules en plus du modèle mathématique qui y est lié.

enfin, nous allons traiter en bref avec deux parties du système de la chaîne logistique qui sont la gestion des stocks et le problème de routage des véhicules.

SECTION 1 : Les concepts de base sur la chaîne logistique .

I.2 Les chaînes logistiques:

I.2.1 Définition de la chaîne logistique :

Définition 1 : [Swaminathan& al 96] définissent chaîne logistique comme étant un réseau d'entités autonomes ou semi autonomes collectivement responsables pour l'acquisition, la production, et la distribution de produits appartenant à une ou plusieurs familles. (1)

Définition 2 : [Lee and Billington 95] ont une définition similaire : une chaîne logistique est un réseau de ressources qui se procurent des matières premières, les transforment en produits intermédiaires puis en produits finaux, et livrent ces produits aux clients à travers un système de distribution. (2)

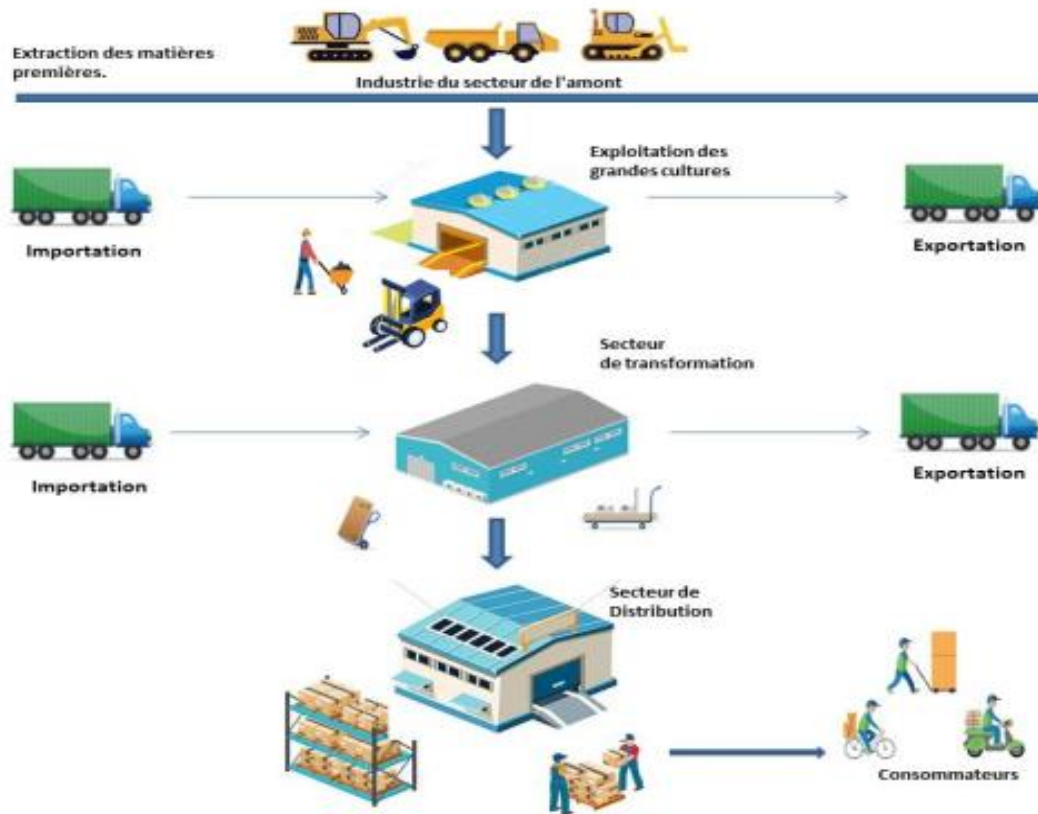


Figure 1:Schéma d'une chaîne logistique

I.2.2 La structure de la chaîne logistique:

Il est important d'identifier une structure qui permet de caractériser les entités qui interagissent pour former une chaîne logistique. Les structures sont divisées en : série, binaire, divergente, convergente et réseau: (3)

- ✓ La structure série: Elle correspond à un procédé de fabrication linéaire et vertical. Cette structure peut être utilisée, par exemple, pour étudier l'influence de la propagation de l'information sur l'ensemble de la chaîne.



Figure 2:La structure série (26)

- ✓ La structure dyadique: Elle peut être vue comme un cas particulier d'une chaîne logistique en série, limitée à 2 étages. Elle peut servir de base à l'étude de relations client/fournisseur ou donneur d'ordre/sous-traitant.

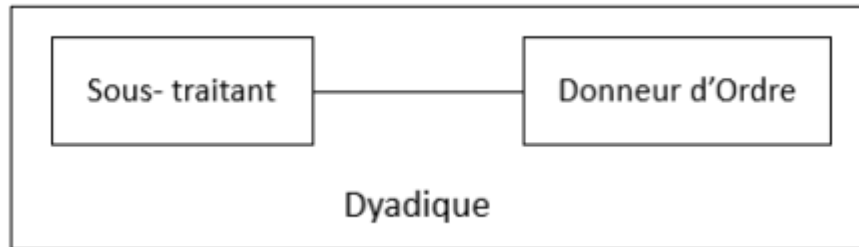


Figure 3:La structure dyadique (26)

- ✓ La structure divergente: Elle permet de représenter un réseau de distribution où la matière part d'un point unique et se distribue à travers la chaîne.

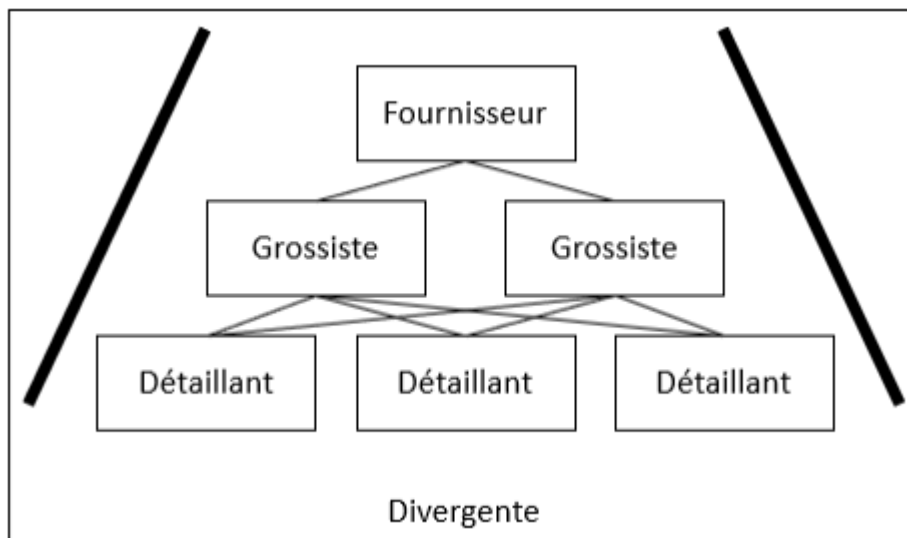


Figure 4:La structure divergente (26)

- ✓ structure convergente : Elle permet de modéliser un processus d'assemblage. Dans une chaîne convergente, la matière qui circule entre les sites converge vers un seul et même site qui est logiquement le lieu d'assemblage final.

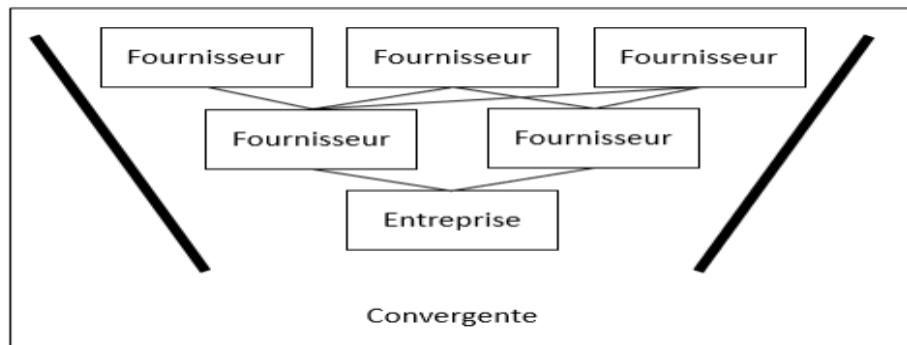


Figure 5:La structure convergente (26)

- ✓ La structure réseau: est une combinaison des deux structures précédentes. Elle permet de considérer à la fois les aspects approvisionnements et distribution.

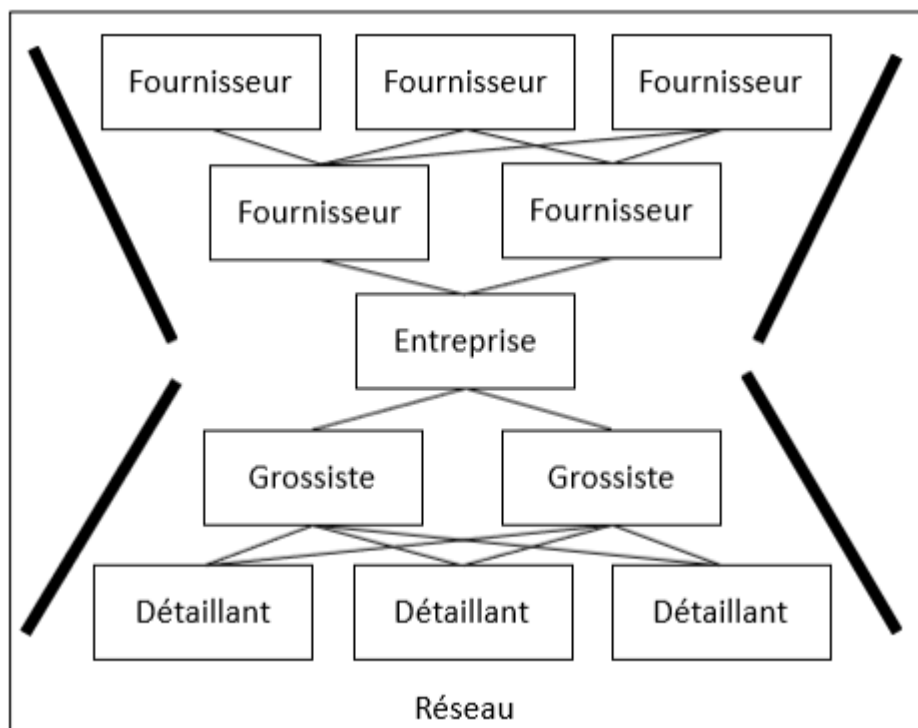


Figure 6: La structure réseau (26)

I.2.3 Les flux de la chaîne logistique :

Il y a trois flux traversant une chaîne logistique : flux d'information, physique et financier. (4)

◆ flux d'information:

Le flux d'information représente l'ensemble des transferts ou échanges de données entre les différents acteurs de la chaîne logistique .

◆ Le flux physique (flux de produit) :

Le flux physique est constitué par le mouvement des marchandises transportées et transformées depuis les matières premières jusqu'aux produits finis en passant par les divers stades de produits semi-finis.

Le flux physique est généralement considéré comme étant le plus lent des trois flux. (5)

◆ Le flux financier :

Le flux financier concerne toute la gestion pécuniaire des entreprises : ventes des produits, achats de composants ou de matières premières, mais aussi des outils de production, de divers équipements, de la location d'entrepôts, ... et bien sûr du salaire des employés.

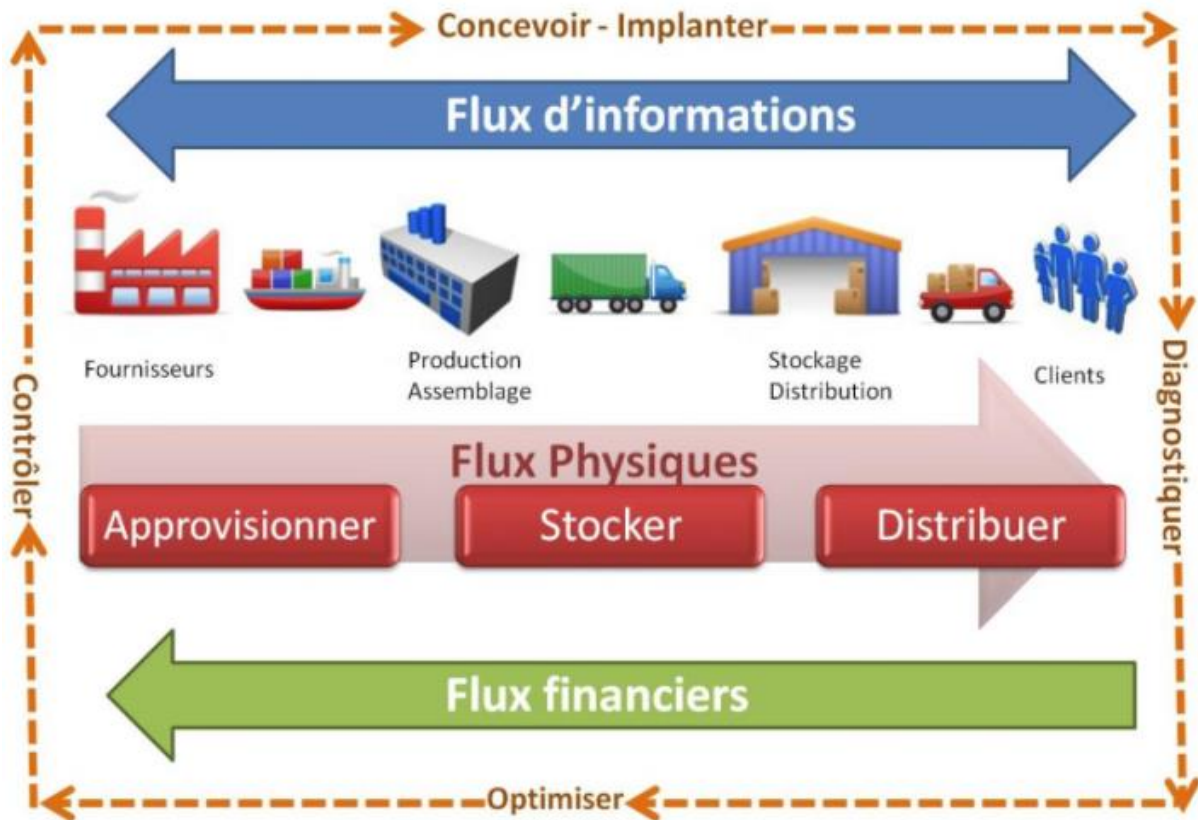


Figure 7: Schéma des flux de la chaîne logistique

I.2.4 Les processus de la chaîne logistique :

Un processus est un ensemble d'activités qui définit des rôles et des relations, et qui systématise l'organisation et la politique d'une entreprise dans le but d'atteindre certains des objectifs de cette entreprise .

Nous présentons ici les cinq processus principaux d'une entreprise, qui sont l'approvisionnement, la production, la distribution et la vente et la gestion de retour. (6)

- **Le processus Approvisionnement :**

Le processus Approvisionnement se concentre sur la fourniture de tous les composants nécessaires à la fabrication.

- **Le processus de production :**

Le processus Production concerne l'ensemble des transformations que vont subir les composants pour réaliser les produits finis de l'entreprise .

- **Le processus de distribution :**

Le processus de Distribution concerne la livraison des produits finis aux clients et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution : l'organisation et le choix des moyens de transport.

- **Le processus de vente :**

Le processus Vente, mis en œuvre par le service commercial, développe les relations envers le client (négociation des prix et des délais, enregistrement des commandes, ...) et par extension, recherche une meilleure connaissance du marché.

- **Processus de gestion des retours :**

Est un processus récent dans le modèle prenant en compte toutes les activités nécessaires pour gérer le retour du produit par les clients ou par un autre maillon du réseau.

I.3 Les chaînes logistiques(Transport et Distribution):

le système global de la chaîne logistique se compose d'un ensemble de systèmes de base (Système de distribution et système de transport).

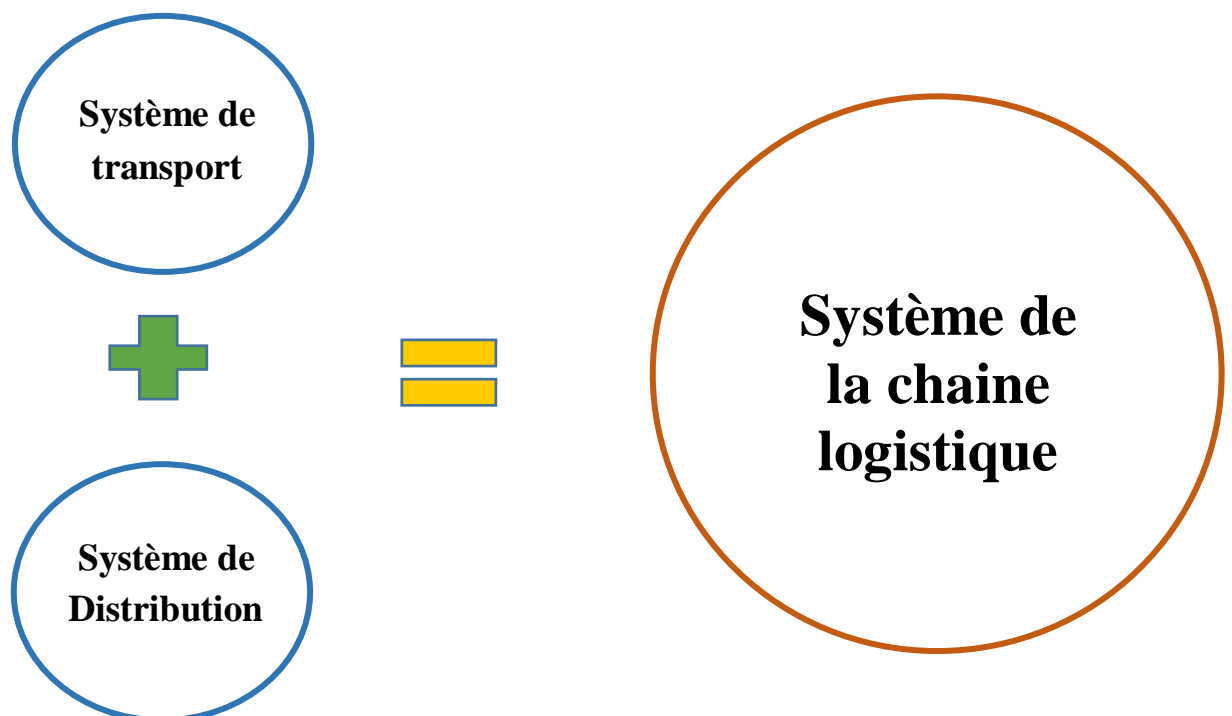


Figure 8: Système de la chaine logistique.

Le système de distribution est composé d'un ensemble de fonctions essentielles, dont la localisation des centres d'entreposage et de distribution, la gestion des stocks et l'élaboration de tournées de véhicules pour livrer les produits aux clients.

Le système de transport comprend le transfert des produits du fournisseur au client via des lignes de transport commercial

SECTION 2 : problème de transport.

Dans le domaine de transport, les problèmes de tournées à travers, essentiellement, trois grandes familles de problèmes : Le problème de tournées de véhicules souvent nommé Vehicle Routing Problem (VRP) ; le problème de voyageur de commerce ou Traveling Salesman Problem (TSP) et Le problème de tournées de véhicules avec fenetre de temps.

I.4 Le problème du voyageur de commerce :

le problème du voyageur de commerce est un problème d'optimisation qui, étant donné une liste de villes, et des distances entre toutes les paires de villes, détermine un plus court circuit qui visite chaque ville une et une seule fois. cela signifie que:

- soit N villes séparées chacune d'elles par une distance $D(i,j)$;
- trouver le chemin le plus court passant par toutes les villes et retournant à son point de depart.

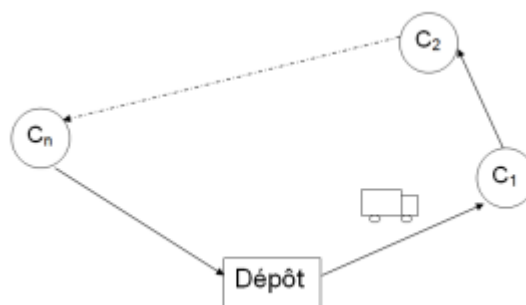


Figure 9:Problème du Voyageur de Commerce (PVC).

I.5 Le problème de tournées de véhicules :

Le problème VRP consiste à affecter chaque client à une tournée (i.e. route) effectuée par un seul véhicule et à trouver un ordre de visites des clients pour chaque véhicule de façon à satisfaire les contraintes de capacité des véhicules, et les quantités de produit demandé par chaque client, dans le cas d'un problème de livraison. L'objectif dans ce problème est de trouver l'ensemble des Tournées qui minimisent la distance totale parcourue pour un nombre minimal de véhicules partant d'un dépôt et y retournant. Ce problème est une extension du problème classique du voyageur de commerce (TSP) [Flood 1956].

I.6 Formulation de VRP : (7)

Nous allons formuler le VRP selon un modèle de recherche opérationnelle de [Solomon et al. 1988] dans la forme utilisée par [LeBouthillier 2000]. En fait, ces travaux ont formulé le problème VRPTW (VRP with Time Windows), dans cette section nous allons présenter la formulation du problème VRP classique sans contraintes temporelles et dans la deuxième section (chapitre 3) nous allons continuer à formuler le problème VRPTW en ajoutant ces contraintes.

Un graphe $G = (N, A)$ représente notre problème où :

- N représente les positions des clients et du dépôt,
- A représente les arcs entre deux clients $i, j \in N$.

Plus spécifiquement, nous avons un ensemble $C = \{1, \dots, n_c\}$ de clients qui doivent obtenir une livraison de marchandise provenant du dépôt. L'ensemble des positions de ces clients ou nœuds est défini comme l'ensemble $N = C \cup \{0, n_c + 1\}$ où 0 et $n_c + 1$ représentent le dépôt (aller et retour). Une demande positive de produit d_i est associée à chaque client i appartenant à C . Une flotte de véhicules $V = \{1, \dots, n_v\}$ est disponible au dépôt et chaque véhicule possède la même capacité (flotte homogène) Q telle que $Q \geq \max d_i, \forall i \in N$. Pour tous clients i et $j, \forall i, j \in N$, nous connaissons le coût $c_{i,j}$ de transport direct entre i et j (proportionnel à la distance à parcourir). Pour trouver l'ordre de visite des clients, nous définissons les variables de décisions comme suit :

$$x_{i,j}^v = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } v \in V \text{ visite le client } j \text{ après le client } i, \\ \text{sinon } 0 & \end{cases}$$

En définissant y_i comme étant la charge résiduelle du véhicule après avoir desservi le client $i \in C$. Il nous est possible d'écrire formellement le modèle de VRP.

$$Min \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} \cdot x_{i,j}^v \dots\dots\dots (1)$$

Avec les contraintes :

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N} x_{i,j}^v \forall i \in C \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{i,j}^v - \sum_{j \in N} x_{j,i}^v = 0, \forall i \in C, v \in V \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0,j}^v = 1, \forall v \in V \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{j,n+1}^v = 1, \forall v \in V \dots\dots\dots (5)$$

$$x_{i,j}^v = 1 \Rightarrow y_i - d_j = y_j, \forall i, j \in N, v \in V \dots\dots\dots (6)$$

$$y_0 = Q, 0 \leq y_i, \forall i \in C \dots\dots\dots (7)$$

$$x_{i,j}^v \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, v \in V \dots\dots\dots (8)$$

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

$$coût(X) = \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} x_{i,j}^v \dots\dots\dots (9)$$

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

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

Description:

La fonction objectif (équation (2)) représente le nombre de véhicules utilisés pour les nv routes et la somme des coûts de parcours. 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).
- 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.

I.7 Gestion de l'inventaire:

la gestion des stocks est une activité importante dans la chaîne d'approvisionnement. l'objectif est de satisfaire les demandes du groupe de clients sans avoir d'interruption de stock et de trouver un bon compromis entre la satisfaction des clients et les coûts de stock. (8)

I.8 Conclusion:

Durant l'élaboration de ce premier chapitre, nous avons constaté que l'efficacité de la chaîne logistique est devenue un enjeu majeur pour les entreprises car il est à la fois générateur d'économies de coût et facteur de différenciation par rapport à la concurrence en terme de réactivité et de service client, ce qui est le noyau pour assurer différence face à la concurrence.

Dans le deuxième chapitre nous présenterons les méthodes d'optimisations de VRP .

CHAPITRE II
OPTIMISATION DE PROBLEME DE TOURNÉE DE
VÉHICULE

II.1 Introduction:

Les problèmes d'optimisation du monde industriel sont généralement vastes et comportent de nombreuses contraintes, en effet les méthodes exactes ne sont pas soulagées. Dans ce chapitre, nous introduisons d'abord les méthodes approchées puis nous expliquons la théorie de l'optimisation et comment définir le problème d'optimisation. Nous donnons également une comparaison entre les méthodes exactes et les méthodes approximatives.

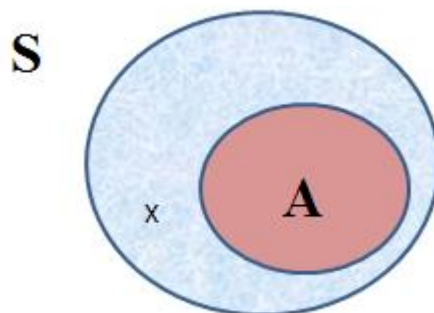
II.2 L'optimisation, Définition :

L'optimisation réfère au fait de choisir le meilleur élément parmi un ensemble de cas alternatifs favorables. (9)

science cherchant à modéliser, analyser et résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes de détermination du meilleur élément d'un ensemble .

II.3 problème d'optimisation :

Un problème d'optimisation : est défini par un espace de recherche, une ou plusieurs fonctions objectifs et un ensemble de contraintes. (9)



Problème d'optimisation (12)

$$PO = \begin{cases} \text{Opt}_{x \in S} f(x) \\ C(x), x \in S \end{cases}$$

$C(x)$ sont satisfaites $\Rightarrow x$ est réalisable $\Rightarrow x \in A \subseteq S$;

Figure 10: Un modèle général de problème d'optimisation.

II. 4 Les méthodes d'optimisation :

Au fil des années, de nombreuses méthodes de résolution de problèmes d'optimisation ont été proposées. Nous pouvons regrouper ces méthodes en deux grandes classes : La classe de méthodes approchées et la classe de méthodes exactes. (10)

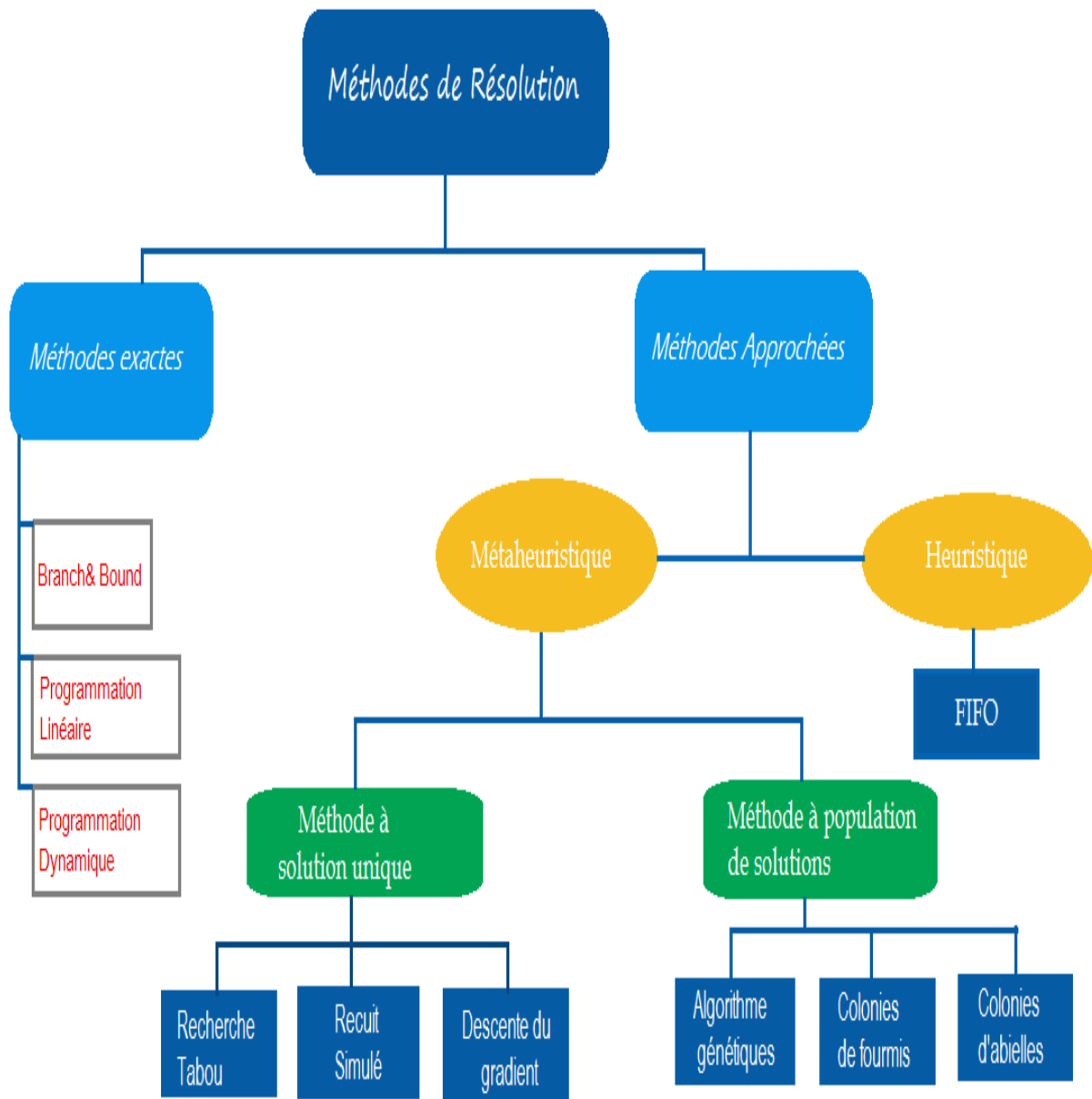


Figure 11: Les méthode de résolution du VRP.

II.5 Les Méthodes de résolution:

II.5.1 Méthodes exactes:

Les méthodes exactes, appelées aussi méthodes complètes, permettent de chercher la solution optimale d'un problème en explorant exhaustivement toutes les solutions possibles dans l'espace de recherche. Cependant, le plus grand inconvénient de ces méthodes est le temps d'exécution, parce que toutes les solutions sont évaluées une à une et le temps d'exécution augmente exponentiellement avec la taille de problème considéré. Voilà pourquoi ces techniques restent inappropriées aux problèmes combinatoires de grandes tailles (11). Parmi ces méthodes, nous pouvons citer par exemple: la programmation dynamique, l'algorithme A*, l'algorithme de Séparation & Évaluation (Branch & Bound), etc.

II.5.2 Méthodes approchées:

Ces méthodes sont incomplètes, elles permettent de trouver des bonnes solutions mais ne garantissent en aucun cas l'optimalité de celles-ci.

✚ Méthodes exactes vs Méthodes approchées (12)

<i>Exploration de S</i>	<i>Systematique (Intelligente)</i>	<i>Partielle (Astucieuse)</i>
<i>Méthode / solution</i>	<i>Exacte</i>	<i>Approchée</i>
<i>Caractéristique</i>	<i>Optimalité</i>	<i>Approximation</i>
<i>Preuve</i>	<i>Formelle</i>	<i>Empirique (ε-appro.)</i>
<i>Aspect</i>	<i>Déterministe</i>	<i>Stochastique (guidée)</i>
<i>Complexité</i>	<i>O(2ⁿ) (souvent)</i>	<i>O(n^k)</i>
<i>Handicap</i>	<i>Explosion combinatoire</i>	<i>Convergence précoce</i>
<i>Adaptée aux POC</i>	<i>de petites tailles</i>	<i>NP-difficiles de grandes tailles</i>

Tableau 1: comparaison entre les méthodes exactes et les méthodes approchées

II.5.2 .1 Les catégories des méthodes approximatives:

❖ Heuristiques:

Dans le domaine de l'optimisation combinatoire ,on peut dire qu'une heuristique est une méthode approchée qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale ; pour un problème particulier. on prenons comme exemple : "*Une heuristique (règle heuristique, méthode heuristique) est une règle d'estimation, une stratégie, une astuce, une simplification, ou tout autre type de dispositif qui limite considérablement la recherche de solutions dans des espaces problématiques importants. Les heuristiques ne garantissent pas des solutions optimales. En fait, elles ne garantissent pas une solution du tout. Tout ce qui Peut être dit d'une heuristique utile, c'est qu'elle propose des solutions qui Sont assez bonnes la plupart du temps*" **Feibgenbaum et Feldman(1963)** (13) .

❖ **Heuristiques:** Une heuristique est un concept utilisé entre autres en optimisation combinatoire, en théorie des graphes, en théorie de la complexité des algorithmes et en intelligence artificielle. (12)

❖ Métaheuristiques:

face aux difficultés rencontrées par les heuristiques pour avoir une solution réalisable de bonne qualité pour les problèmes d'optimisation difficiles, les métaheuristiques ont fait leur apparition.

Il existe plusieurs définitions de métaheuristique :

Selon Osman et Laporte (1996) 1791: "*une métaheuristique est un processus itératif qui subordonne et guide une heuristique, en combinant intelligemment plusieurs concepts pour explorer et exploiter tout l'espace de recherche. Des stratégies d'apprentissage sont utilisées pour structurer l'information afin de trouver efficacement des solutions optimales, ou presque-optimales*". (10)

Une métaheuristique permet, de trouver des solutions peut-être pas toujours optimales, en tout cas très proches du délai optimal et raisonnable.

En bref, presque toutes les métaheuristiques partagent les caractéristiques suivantes (12):

- Il est stochastique, approximative, et utilisent des processus aléatoires et itératifs.
- Adaptée pour différents types de problèmes.
- Inspirées par des systèmes naturels ou les phénomènes physique
- ils sont faciles à mettre en œuvre.

Dans notre étude, nous utilisons l'algorithme génétique pour résoudre le problème de PTVFT.

II.6 La complexité Problématique:

S'intéresser à la complexité (dynamique) d'un algorithme, c'est chercher à évaluer les ressources utilisées par l'algorithme. Plus précisément, on cherche à exprimer le coût de l'algorithme - la quantité de ressources utilisées - en fonction de la taille des données (14).

En général, la complexité algorithmique est évaluée sous la relation de deux paramètres:

- Temps d'exécution (nombre d'opérations effectuées par l'algorithme).
- Taille mémoire (Taille nécessaire pour stocker les différentes structures de données pour l'exécution).

Ces deux concepts sont appelés la complexité en temps et en espace de l'algorithme.

La complexité de l'algorithme est sous forme d'une fonction $C(A_n)$. Tel que, « A » est le nombre d'instructions exécutées, et n : la taille du problème.

la complexité algorithmique est utilisée comme un degré d'optimalité ainsi que pour faire le choix de meilleur algorithme parmi les algorithmes.

la complexité algorithmique est utilisée comme un degré d'optimalité ainsi qu'elle permet de déterminer si un algorithme A est meilleur qu'un algorithme B et s'il est optimal ou s'il ne doit pas être utilisé. (15)

⇒ La complexité de PTVFT:

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 [Zhu 1999]. Pour des problèmes comportant un grand nombre de clients (> 100 clients), des méthodes approchées sont nécessaires pour les résoudre. Donc Il est impossible de calculer la complexité de VRP. (7)

II.6.1 Classe de problèmes:

Il existe deux classes des problèmes :

Classe P : la classe des problèmes **P** est la classe de tous les problèmes qui peuvent être résolus par un algorithme déterministe en temps polynomial. Un algorithme est dit polynomial, lorsque son temps d'exécution est borné par $O(P(x))$ où p est un polynôme et x est la longueur d'entrée d'une instance du problème.

Classe NP: la classe des problèmes NP est la classe de tous les problèmes qui peuvent être résolus par un algorithme non déterministe dans un temps polynomial.

Dans un algorithme non déterministe à chaque étape, l'algorithme a plusieurs choix pour aller à l'étape suivante. L'algorithme doit deviner le meilleur choix. Pour cela on peut dire que la classe des problèmes «**P**» est incluse dans la classe des problèmes «**NP**» et on note ($P \subset NP$). (15)

- NP-Difficile: ce sont les problèmes indécidables pour lesquels il n'y a pas d'algorithme pour leur résolution. (16)

Un problème d'optimisation est dit NP-Difficile, si le problème de décision associé est NP-complet (17).

- NP-complet: Un problème de décision est dit NP-complet s'il appartient à la classe NP et il est résolu, au mieux, en un temps exponentiel.

II.7 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons traité des méthodes d'optimisation. Ensuite, nous avons revu un schéma complet et détaillé des méthodes de résolution. Finalement, nous avons fait une étude approfondie des méthodes métaheuristique et heuristique. Dans le troisième chapitre, nous ferons référence à un **Problème de Tournée de Véhicule avec Fenêtre de Temps (PTVFT)** (**Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)**) et l'algorithme proposé pour le résoudre.

CHAPITRE III
PROBLÈME DE ROUTAGE DE VÉHICULE AVEC FENÊTRE
DE TEMPS (VRPTW)

III.1 Introduction :

Les problèmes de tournées de véhicules ou Vehicle Routing Problems (VRP) sont des problèmes d'Optimisation Combinatoire très étudiés. De nombreuses variantes du problème ont été étudiées.. Dans notre étude nous traitons d'une variante du VRPTW où certains clients demandent plus d'une visite en même temps, et nous fournirons un aperçu détaillé de l'algorithme génétique que nous avons choisie pour résoudre ce problème.

III.2 Problèmes de tournées des véhicules :

Le problème de tournées de véhicules est une version tendue du Problème du Voyageur de Commerce, qui consiste visiter des clients partis d'un dépôt et au moyen d'une flotte de véhicules, avec un coût minimal. D'après H. Housroum (2005) , le problème de tournées de véhicules vise à déterminer les tournées permettant de servir une liste de clients en minimisant le coût de livraison. (7)

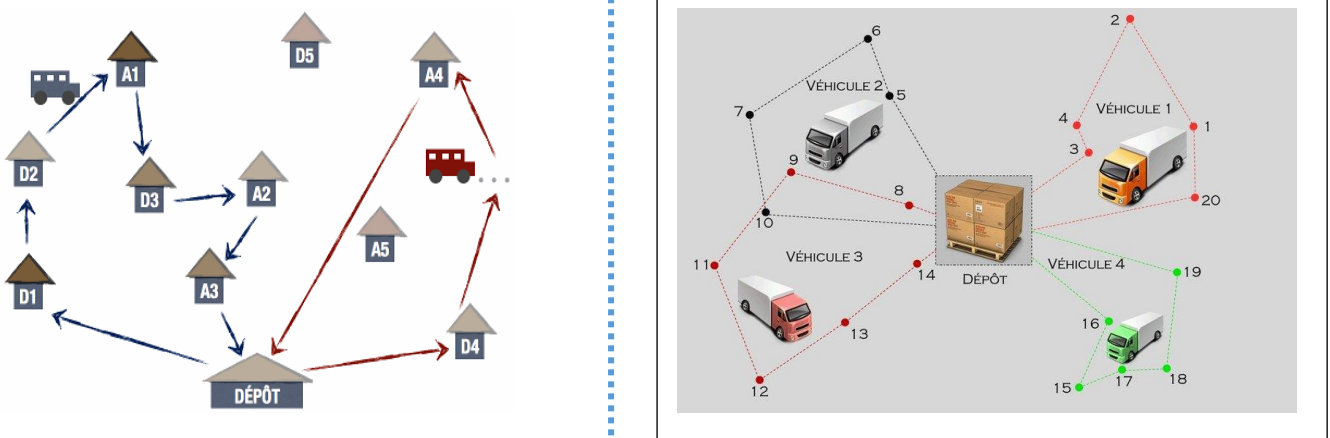


Figure 12: Problèmes de tournées des véhicules.(9)

III.3 Variantes du VRP :

Fait apparaître plusieurs variantes dont nous citerons les plus importantes:

III.3.1 Problème de tournée de véhicules avec contrainte de capacité (CVRP):

Le Capacitated Vehicle Routing Problem est la variante basique et la plus répandue du problème. Elle se distingue par la contrainte de capacité des véhicules. En effet, les véhicules d'une instance du CVRP peuvent supporter une charge de marchandise limitée et préalablement fixée.

III.3.2 Problème de tournée de véhicules avec fenêtre de temps (VRPTW) :

Cette alternative associe à chaque client une fenêtre de temps, ce nouveau paramètre consiste en un intervalle de temps au cours duquel la demande du client doit être accomplie. La flexibilité des contraintes est néanmoins variable d'un cas à un autre et cette variation fait place à deux sous catégories (9):

– VRPTW avec contraintes « strictes » (Hard time window constraints) :

Les intervalles de temps peuvent être perçus comme les horaires d'ouverture et de fermeture des services de réception de la marchandise ou comme les heures de travail du personnel, et sont par conséquent complètement inviolables. En effet, les véhicules arrivant avant cette fenêtre de temps doivent impérativement attendre d'être dans l'intervalle spécifié pour être servis, quant à ceux arrivant trop tard, ils devront faire face à l'impossibilité de satisfaire leurs demandes (18).

– VRPTW avec contraintes « souples » (Soft time window constraints) : Cette version plus souple permet aux clients d'être servis en dehors de la fenêtre de temps contre une certaine forme de pénalité. Etant plus réaliste cette version est la plus répandue dans la littérature.

III.3.3 Problème de tournées de véhicules stochastique (SVRP) :

Cette classification concerne les formulations du problème dont au moins un des paramètres est aléatoire, cette définition regroupe selon Cordeau J.F et Savelsbergh (19) les cas suivants :

- Le VRP with Stochastic Customers (VRPSC) :qui se distingue par l'introduction d'un paramètre P_i qui exprime la possibilité qu'un client i émette une demande.
- Le VRP with Stochastic Demands (VRPSD) :est de loin la variante stochastique la plus répandue où la quantité demandée par un client est évaluée par une variable aléatoire.
- Le VRP with Stochastic Travel Times (VRPSTT) : comporte les paramètres aléatoires additionnels exprimant le temps de service d'un client en plus du temps de trajet d'un arc.

III.3.4 Problème de tournées de véhicules avec dépôts multiples (MDVRP) :

Le MDVRP comporte plusieurs dépôts, chacun d'eux accueillant une partie de l'ensemble des véhicules disponibles. Il est également régi par la contrainte imposant que chaque tournée doit impérativement commencer puis se terminer par le même dépôt. (20).

III.3.5 Problème de tournées de véhicules Split-Delivery (SDVRP ou VRPSD) :

Le SDVRP exclut la nécessité de ne visiter chaque client qu'une seule fois. De cette nouvelle flexibilité résulte la possibilité de diviser la demande de service d'un seul client sur plusieurs tournées, cette liberté modifie néanmoins l'appréhension de la contrainte de capacité et alloue donc aux clients de formuler des demandes de quantité supérieur à la capacité des véhicules (21).

III.3.6 Problème de tournées de véhicules Dynamique (DVRP) :

Le routage dynamique de véhicules est le problème dont les données nécessaires à la résolution ne sont pas forcément connues dès le départ du processus d'attribution des routes, et peuvent notamment changer après qu'une partie des tournées ait été planifiée. Il découle ainsi naturellement

de certains scénarios une inédite dépendance au temps, notamment les cas d'apparition de nouveaux nœuds de passage, ou la mise à jour des exigences des clients relatives aux temps de service (22).

III.3.7 Problème de tournée de véhicules with Backhauls (VRPB) :

Comporte deux types de clients, livreurs et receveurs (resp. Backhauls et Linehauls), les marchandises à livrer aux clients doivent être prises du dépôt, et celles collectées des livreurs doivent également être rendues au dépôt. Cette classe comporte elle-même un certain nombre de sous catégories, la nécessité de cette nouvelle subdivision s'explique par la multitude de formulations du problème et de ses contraintes, toutes différentes les unes des autres, à l'image des situations réelles auxquelles elles peuvent s'appliquer. Le croquis général suivant est lui-même selon (23) une subdivision du VRPB :

– Le VRP with Clustered Backhauls (VRPCB) : où la tâche de livraison est antérieure à celle du ramassage. Ainsi toutes les livraisons doivent être effectuées avant la première collecte (24)

– Le VRP with Mixed Linehauls and Backhauls (VRPMB) : autorise le traitement des services de collecte et de livraison dans une même tournée (25) .

Caractéristiques	Options possibles
Nombre de véhicules disponibles	- un - plusieurs
Type de véhicule	- homogène - hétérogène
Capacité de véhicule	- finie - infinie
Dépôts	- un - plusieurs
Demandes des clients	- statiques (connues en avance) - dynamiques (apparaissent au cours de temps) - stochastiques (les demandes suivent des lois aléatoires) - fenêtre de temps.
Service proposé	- ramassage ou livraison - ramassage et livraison - ramassage avant livraison - ...
Période considérée	- jour - semaine - périodique - ...

Tableau 2: Table des variantes du problème VRP

III.4 Le problème VRPTW :

Le Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtre de Temps (Vehicle Routing Problem with Time Windows - VRPTW) [Solomon 1987], [Duhamel 2001], constitue une généralisation du VRP dans la mesure où nous introduisons en plus une contrainte temporelle sur le service demandé. Chaque client dispose d'une fenêtre de temps à l'intérieur de laquelle il désire être servi. Le dépôt central possède également une fenêtre de temps que nous désignons couramment comme horizon de service ou temps d'ouverture de la journée. Son rôle est de fixer une plage horaire durant laquelle les véhicules peuvent effectuer leur tournée. Ces contraintes temporelles vont rendre nécessaire l'utilisation de plusieurs véhicules pour satisfaire l'ensemble des clients sur l'horizon de service. On peut vouloir borner le nombre de véhicules à utiliser et dans ce cas des clients risquent de ne pas être servis.

Ainsi, s'il est tout à fait possible de déterminer une solution optimale pour des instances de petite taille. En dépit du caractère fortement restrictif de sa définition, le problème VRPTW conserve un pouvoir descriptif important. Il permet de modéliser un panel étendu d'applications réelles [Duhamel 2001] (7):

- **service postal** : il s'agit d'établir des tournées pour les facteurs de manière à distribuer le courrier le plus efficacement possible.

– **coopératives agricoles** : il s’agit de mettre en place des tournées de véhicules pour collecter la production de différents exploitants agricoles.

– **service bancaire** : il s’agit de déterminer des routes pour les convoyeurs de fond de manière à réaliser la collecte des recettes des commerçants et des grandes surfaces.

– **ramassage scolaire** : il s’agit d’établir les itinéraires de bus pour amener les écoliers des points de collecte vers l’école le matin et inversement le soir. – etc.

Ces quelques exemples permettent d’illustrer la profonde implication de ce problème dans la vie courante.

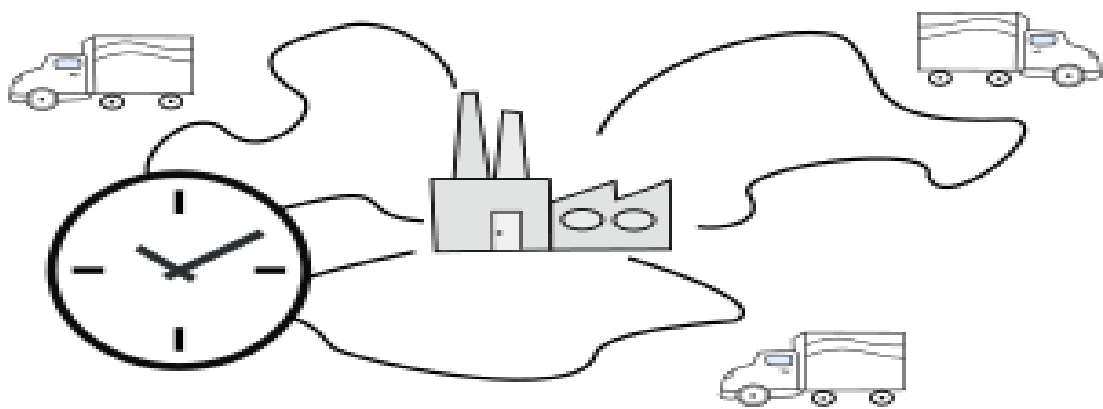


Figure 13: VRPTW

III.5 La formulation du VRPTW :

Nous formulons le problème VRPTW en utilisant la formulation de VRP classique déjà exprimée et en y ajoutant les variables, les constantes et les équations suivantes [LeBouthillier 2000] : Variables à déterminer (7):

1. a_i = instant d’arrivée chez le client $i \in C$.
2. b_i = instant de début de service chez le client $i \in C$.
3. b_0^v = instant auquel le véhicule v quitte le dépôt.
4. b_{nc+1}^v = instant auquel le véhicule v retourne au dépôt.
5. w_i = temps d’attente chez le client $i \in C$.

Constantes connues :

1. e_i = borne inférieure de la fenêtre de temps du client $i \in C$.
2. l_i = borne supérieure de la fenêtre de temps du client $i \in C$.
3. $c_{i,j}$ = coût du déplacement de i à j : $i, j \in C$.
4. $t_{i,j}$ = le temps de parcours entre les deux clients i et j , $i, j \in C$.
5. s_i = temps de service chez le client $i \in C$.

L'attente est permise lorsqu'un véhicule arrive trop tôt chez le client j après que le service soit fini chez le client $i \in C$, autrement dit, avant e_j . Le temps auquel le service débute chez le client $j \in C$ se définit comme étant $b_j = \max\{e_j, a_j\}$ où $a_j = \{b_i + s_i + t_{i,j}\}$ et le temps d'attente chez le client j comme étant $w_j = b_j - a_j$. Il nous est possible d'écrire les contraintes supplémentaires de la formulation de **VRP** pour formuler le problème VRPTW comme suivantes :

$$x_{i,j}^v = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{i,j} \leq b_j, \forall i, j \in C, v \in V \dots\dots\dots (1)$$

$$x_{0,j}^v = 1 \Rightarrow b_0^v + t_{0,j} \leq b_j, \forall j \in C, v \in V \dots\dots\dots (2)$$

$$x_{i,n+1}^v = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{i,n+1} \leq b_{n+1}^v, \forall i \in C, v \in V \dots\dots\dots (3)$$

$$e_i \leq b_i \leq l_i, \forall i \in C \dots\dots\dots (4)$$

$$e_0 \leq b_0^v \leq l_0, \forall v \in V \dots\dots\dots (5)$$

$$e_{n+1} \leq b_{n+1}^v \leq l_{n+1}, \forall v \in V \dots\dots\dots (6)$$

Le temps d'utilisation réel des véhicules dans la solution (X) est :
 temps horaire (X) = $\sum_{v \in V} (b_{nc+1}^v - b_0^v) \dots\dots\dots (7)$

Les contraintes ((1) - (6)) définissent les contraintes temporelles. La mesure (7) permet d'identifier le temps total d'utilisation des véhicules.

Dans un VRP, la définition de distance entre deux clients qui nous vient naturellement à l'esprit est la distance que requiert le parcours direct entre ces deux clients. Cette distance est la même dans les deux

sens, autrement dit, la distance entre le client i et j est la même entre j et i , donc la matrice des distances entre les clients est symétrique. Dans les algorithmes utilisés pour le VRPTW, cette même métrique de distance est généralement utilisée.

III.6 Fonction objectif :

Les objectifs les plus communs sont soit la minimisation du nombre de véhicules utilisés soit la minimisation de la distance totale parcourue par les véhicules. D'autres objectifs peuvent être considérés :

→ la minimisation de la durée totale des tournées

→ la minimisation du coût total des tournées (en prenant en compte les coûts des véhicules, des chauffeurs etc).

III.7 Les algorithmes génétiques :

III.7.1 Origine de l'algorithmes génétique :

Ces algorithmes s'inspirent du fonctionnement de l'évolution naturelle, notamment la sélection de Darwin, et de la reproduction selon les règles de Mendel.

Elle est réalisée à l'aide de croisements et de mutations au niveau du patrimoine génétique des individus (ou "génotypes") qui est constitué d'un ensemble de gènes. Cette population choisie aléatoirement est appelée population parent. Le degré d'adaptation d'un individu à l'environnement est exprimé par la valeur de la fonction coût $f(x)$ (ou fitness), où x est la solution que l'individu représente, que le coût de la solution qu'il représente est plus faible (pour un problème de minimisation).

Au sein de cette population, intervient alors la sélection au hasard d'un ou deux parents qui produisent une nouvelle solution, à l'aide des opérateurs génétiques, tels que le croisement et la mutation. La nouvelle population, obtenue par le choix de N individus parmi les parents et les enfants de l'étape courante, est appelée génération suivante. En itérant ce processus, nous produisons une population plus riche en individus mieux adaptés. L'algorithme ci-dessous montre le Pseudo-Code de l'algorithme génétique de base. (7)

Algorithme 1.1 pseudo-code d'un algorithme génétique de base

POP, POP' : deux tableaux de taille N
 Initialiser la population POP
 Evaluer la population POP
 POP' est VIDE
Rechercher $x | f(x) = \min_i [f(x_i)] , 1 \leq i \leq N$
 $f_{min} = f(x)$
 $x_{min} = x$
REPETER
 Evaluer la population POP
REPETER // phase de reproduction génétique
 Sélection
 Croisement
 Mutation
JUSQU'À POP' remplie par les nouveaux individus
 Sélectionner la nouvelle population à partir de (POP, POP')
 Rechercher $x | f(x) = \min_i [f(x_i)] , 1 \leq i \leq N$
SI $f(x) < f_{min}$
 $f_{min} = f(x)$
 $x_{min} = x$
FIN DE SI
JUSQU'À condition d'arrêt satisfaites
Résultat (x_{min}, f_{min})

III.7.2 Principe :

Un algorithme génétique est défini, selon Lerman et Ngouenet (1995) , par la donnée des quatre éléments de base suivants : Individu/chromosome/séquence : une solution potentielle du problème qui correspond à une valeur codée de la variable (ou des variables) en considération;

Population : un ensemble de chromosomes ou de points de l'espace de recherche (donc des valeurs codées des variables);

Environnement : l'espace de recherche (caractérisé en termes de performance correspondant à chaque individu possible);

Fonction de performance : la fonction - positive - que nous cherchons à maximiser car elle représente l'adaptation de l'individu à son environnement. A un niveau très général, le fonctionnement d'un AG est alors basé sur les phases suivantes (voir Figure 3.5 pour un exemple délibérément trivial que nous allons utiliser pour illustrer cette section) :

Initialisation : étape (a) pour $t = 0$). Une population initiale de chromosomes est tirée aléatoirement. N

Évaluation (premier élément de l'étape (b)). Chaque chromosome est décodé, puis évalué.

Sélection (les derniers éléments de l'étape (b) et (c)). Création d'une nouvelle population de N chromosomes par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée.

Reproduction : Possibilité de croisement (étape (d)) et de mutation (étape (e)) au sein de la nouvelle population.

Retour à la phase d'évaluation (étape (f)) tant que la condition d'arrêt du problème n'est pas satisfaite. Cet exemple illustre ces différentes étapes.

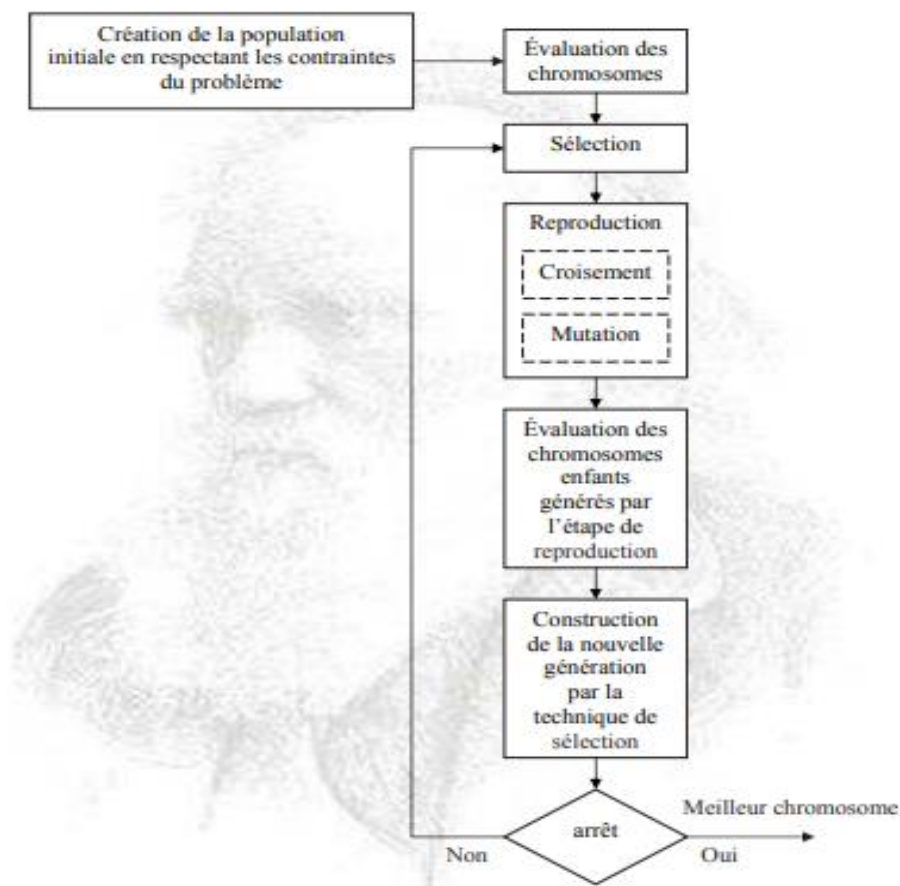


Figure 14 : le principe d'algorithme génétique.

III.7.2 Codage et population initiale:

Premièrement, il faut représenter les différents états possibles de la variable dont on cherche la valeur optimale sous une forme utilisable par un AG : c'est le codage. Cela permet d'établir une connexion entre les valeurs de la variable et les individus de la population, de manière à imiter la connexion qui existe en biologie entre le génotype et le phénotype². Il existe principalement deux types de codage : le codage binaire (représentation sous forme de chaîne binaire) et le codage réel (représentation directe des valeurs réelles de la variable). Nous pouvons facilement passer d'un codage à l'autre (voir Michalewicz (1992)). Le codage initialement retenu par John Holland est le codage binaire. Par conséquent, nous allons d'abord présenter ce cas.

Définition 1: Séquence/Chromosome/Individu (Codage binaire)

Nous appelons une séquence (chaîne, chromosome, individu) A de longueur l (A) une séquence $A = \{ a_1, a_2, \dots, a_l \}$ avec $\forall i \in \{ 1, \dots, l \}, a_i \in V \{ 0, 1 \}$.

Un chromosome est donc une suite de bits (formée de zéros et de uns), appelé aussi chaîne binaire.

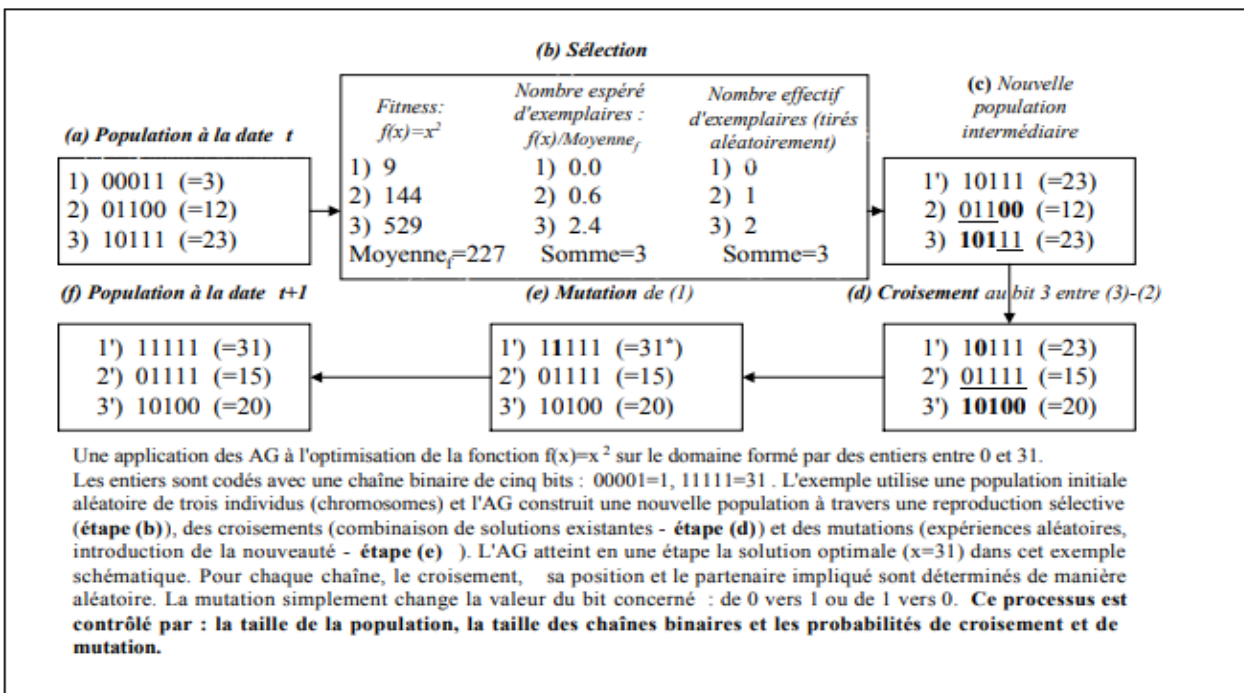


Figure 15:Un exemple simple de codage.

III.7.2 Le codage de la solution :

Chaque individu de la population représente une solution au problème à optimiser. Un individu est représenté par un chromosome. Ce chromosome est constitué de gènes qui peuvent prendre des valeurs appelées “allèles”. La position du gène dans le chromosome se nomme “locus”. Il existe plusieurs manières de coder ces individus. Chacune de ces manières dépend du problème à traiter. Le contenu du gène peut être soit des nombres binaires, soit des nombres entiers ou réels, soit des caractères. A chaque individu est associé une évaluation (appelée aussi fitness) qui mesure la qualité de la solution. L'évaluation représente la performance de l'individu vis-à-vis du problème. Le “génotype” représente l'ensemble des valeurs prises par les gènes du chromosome alors que le “phénotype” représente la solution réelle qui en découle. De la pertinence du codage va dépendre le choix des opérateurs de reproduction et l'efficacité globale de l'algorithme. Il existe deux cas de figures pour coder un problème. Le premier utilise un codage “direct” dans lequel toute l'information de la solution est présente dans le chromosome. Le deuxième reporte la difficulté de représentation d'une solution du problème à l'extérieur du codage, en utilisant un codage “indirect”.

III.7.3 Paramètres de l'algorithme génétique :

La qualité des solutions ainsi que l'efficacité de l'algorithme génétique dépendent directement des paramètres suivants :

- La taille de la population affecte le temps de traitement de l'algorithme.
- Le nombre maximal de générations. Une valeur de grandeur suffisante permet à l'algorithme de se rapprocher de la solution optimale.
- Les taux de croisement et de mutation fixent le nombre de solutions sujettes aux opérateurs de mutation et de croisement. Leurs initialisations varient d'un problème à un autre.

III.7.4 Principaux paramètres :

Les opérateurs de l'algorithme génétique sont guidés par un certain nombre de paramètres structurels donnés. La valeur de ces paramètres influence la réussite ou non et la rapidité d'un algorithme génétique. Nous allons maintenant discuter rapidement le rôle de ces paramètres dans la version simple que nous avons retenue des AG.

La taille de la population N , n , et la longueur du codage de chaque individu, L . Si N est trop grand le temps de calcul de l'algorithme peut s'avérer très important ; si n est trop petit, il peut converger trop rapidement vers un mauvais chromosome. Cette importance de la taille est essentiellement due à la notion

de parallélisme implicite : plus N est grand, plus élevé est le nombre de solutions potentielles évaluées en parallèle par l'AG.

- La probabilité de croisement, c_p . Elle dépend en général de la forme de la fonction de performance. Son choix est bien souvent heuristique (tout comme pour m_p). Plus elle est élevée, plus la population subit de changements importants. Les valeurs généralement admises sont comprises entre 0.5 et 0.9.

La probabilité de mutation m_p . Ce taux est généralement faible puisqu'un taux élevé risque de conduire à une solution sous-optimale en perturbant celle qui est optimale.

Plutôt que de réduire m_p , une autre façon d'éviter que les meilleurs individus soient altérés est d'utiliser l'élitisme : Ainsi, peut-on choisir, par exemple, de reproduire à l'identique les 5% meilleurs de la population à chaque génération, l'opérateur de reproduction ne jouant alors que sur les 95% restant (IFREED)

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le problème d'élaboration de tournées de véhicules (le problème VRP) et son extension avec fenêtres de temps VRPTW. Nous avons introduit les méthodes de résolution utilisées pour ces problèmes l'algorithme génétique arrive, grâce au caractère diversificateur de ses opérateurs, à une meilleure exploration de l'espace de recherche. Cette méthode produit de bonnes solutions sur des problèmes variés et notamment pour le problème du voyageur de commerce ou au problème du VRP. Les méthodes métaheuristiques fournissent généralement des solutions de bonne qualité.

le chapitre suivant sera consacré à la réalisation et aux résultats expérimentaux de notre étude.

CHAPITRE IV
L'IMPLEMENTATION DE PROBLÈME DE TOURNÉES DE
VÉHICULES AVEC FENÊTRE DE TEMPS (VRPWT)

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement le framework python utilisé pour réaliser nos expériences, donc pour exécuter notre algorithme, nous expliquons d'abord le langage de programmation python et ses fonctionnalités techniques, puis nous afficherons une implémentation de scratches avec leur résultats.

IV.2 L'objectif du travail:

L'objectif de ce travail est l'utilisation d'une heuristique pour résoudre le problème de la tournée de véhicule avec fenêtre de temps. Dont la fonction objective est la minimisation des coûts de transport, en termes de temps et de distance. Il consiste à visiter un nombre N de villes (clients) en un minimum de distance sans passer deux fois par la même ville, les visites aux leurs ne sont autorisées que dans des intervalles horaires précis. Pour l'heuristique, nous avons opté à choisir les algorithmes génétiques.

IV.3 Description de l'approche proposée:

Pour résoudre le problème, nous avons opté à choisir les algorithmes génétiques comme heuristique. La motivation principale est les avantages suivants :

- ✓ Les algorithmes génétiques sont parmi les premières méthodes utilisées.
- ✓ permet de traiter des espaces de recherches importants(beaucoup de solutions, pas de parcourt exhaustif envisagé).
- ✓ Relativité de qualité de la solution selon le degré de précision demandé.
- ✓ Ils sont simples à implémenter
- ✓ Pour un nombre de solution important, les algorithmes génétiques permettent d'élimination les solutions non valides.

IV.4 Environnement de développement :

Choisir l'environnement de programmation flexible est très important pour tout développement de projet. Dans ce travail, nous avons adopté un environnement qui nous offre les possibilités suivantes : facilité d'utilisation, puissance de compilation et vitesse d'utilisation, pour implémenter notre application, nous avons utilisé les outils suivants:

IV.4.1 Système opérateur:

Le système d'exploitation a souvent une influence sur l'efficacité de l'application. dans notre cas, nos expériences ont été réalisées sur Windows 10 Professionnel 64 bits.

IV.4.2 Langage de programmation(Python):

Le langage de programmation Python a été créé en 1989 par Guido van Rossum, aux PaysBas.est un langage de programmation libre (open source) d'utilisation générale et multiplateforme.

Python allie ainsi les avantages des langages interprétés tels que le Bash et grâce à ses nombreuses fonctionnalités des langages compilés tels que Java et C.

La nature open source du langage Python lui permet d'évoluer grâce à la communauté des développeurs Python. Une mise à jour importante a été le passage de la version 2 à la version 3. Ce cours est orienté sur la version 3 de Python.



Figure 16: Logo de python.

Fiche Technique	
Date de première version	20 février 1991
Auteur	Guido van Rossum
Paradigmes	Objet, impératif et fonctionnel
Implémentations	CPython, Jython, IronPython , PyPy
Extension de fichier	py, pyc, pyd, pyo, pyw, pyz et pyi

Tableau 3: Fiche Technique de Python.

IV.5 Application console de VRPTW:

IV.5.1 Guide d'utilisation de l'application:

1. Nous avons généré trois ensembles de problèmes. Leur conception met en évidence plusieurs facteurs qui affectent le comportement des algorithmes de routage et d'ordonnement. Elles sont:

- les données géographiques ;
- le nombre de clients desservis par un véhicule ;
- pourcentage de clients limités dans le temps ; et
- étanchéité et positionnement des fenêtres horaires.

2. Les données géographiques sont générées aléatoirement dans les ensembles de problèmes R1 et R2, regroupés dans les ensembles de problèmes C1 et C2, et un mélange de structures aléatoires et groupées dans les ensembles de problèmes par RC1 et RC2.

3. Les ensembles de problèmes R1, C1 et RC1 ont un horizon de planification court et n'autorisent que quelques clients par route (environ 5 à 10). En revanche, les ensembles R2, C2 et RC2 ont un horizon d'ordonnancement long permettant à de nombreux clients (plus de 30) d'être desservis par un même véhicule.

Les coordonnées du client sont identiques pour tous les problèmes d'un même type (c'est-à-dire R, C et RC).

4. Les problèmes diffèrent en ce qui concerne la largeur des fenêtres temporelles. Certains ont des fenêtres de temps très serrées, tandis que d'autres ont des fenêtres de temps peu contraignantes. En termes de densité de fenêtres horaires, c'est-à-dire de pourcentage de clients ayant des fenêtres horaires, nous avons créé des problèmes avec des fenêtres horaires de 25, 50, 75 et 100 %.

5. Les problèmes les plus importants sont des problèmes euclidiens de 100 clients où les temps de trajet sont égaux aux distances correspondantes. Pour chacun de ces problèmes, des problèmes plus petits ont été créés en ne considérant que les 25 ou 50 premiers clients.

IV.6 Quelques tests sur l'implémentation:

Test 01:" sample_C204.py "

Après l'exécution de " [Sample Codes](#) " de l'instance **.C204** , avec les paramètres suivants :

- La taille de population = 400
- Nombre d'itérations = 300
- Nombre de véhicules = 4
- Nombre des clients = 100

Nous obtiendrons alors le résultat suivant :

```

PROBLEMS 3 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL Python + - x
Std 2.0209414327190617e-12
-- Generation 296 --
Evaluated 324 individuals
Min 1.939079218620806e-05
Max 1.939079218620806e-05
Avg 1.9390792186208164e-05
Std 2.0209414327190617e-12
-- Generation 297 --
Evaluated 340 individuals
Min 1.939079218620806e-05
Max 1.939079218620806e-05
Avg 1.9390792186208164e-05
Std 2.0209414327190617e-12
-- Generation 298 --
Evaluated 352 individuals
Min 1.939079218620806e-05
Max 1.939079218620806e-05
Avg 1.9390792186208164e-05
Std 2.0209414327190617e-12
-- Generation 299 --
Evaluated 347 individuals
Min 1.939079218620806e-05
Max 1.939079218620806e-05
Avg 1.9390792186208164e-05
Std 2.0209414327190617e-12
-- End of (successful) evolution --
Best individual: [48, 64, 83, 49, 78, 60, 86, 73, 62, 66, 72, 3, 38, 96, 63, 91, 75, 47, 35, 14, 19, 15, 25, 76, 56, 40, 58, 97, 26, 79, 21, 65, 54,
85, 99, 30, 81, 68, 36, 61, 39, 5, 67, 80, 45, 44, 57, 7, 50, 89, 37, 93, 23, 100, 94, 41, 42, 4, 69, 92, 12, 46, 53, 31, 17, 10, 84, 77, 6, 33,
29, 28, 22, 27, 13, 88, 51, 24, 82, 90, 9, 74, 52, 2, 70, 1, 55, 87, 16, 32, 95, 98, 43, 18, 71, 34, 20, 11, 59, 8]
Fitness: 1.939079218620806e-05
Vehicle 1's route: 0 - 48 - 64 - 83 - 49 - 78 - 60 - 86 - 73 - 62 - 66 - 72 - 3 - 38 - 96 - 63 - 91 - 75 - 47 - 35 - 14 - 19 - 15 - 25 - 76 - 56
- 40 - 58 - 0
Vehicle 2's route: 0 - 97 - 26 - 79 - 21 - 65 - 54 - 85 - 99 - 30 - 81 - 68 - 36 - 61 - 39 - 5 - 67 - 80 - 45 - 44 - 57 - 7 - 50 - 89 - 37 - 0
Vehicle 3's route: 0 - 93 - 23 - 100 - 94 - 41 - 42 - 4 - 69 - 92 - 12 - 46 - 53 - 31 - 17 - 10 - 84 - 77 - 6 - 33 - 29 - 28 - 22 - 27 - 13 - 88
- 51 - 24 - 0
Vehicle 4's route: 0 - 82 - 90 - 9 - 74 - 52 - 2 - 70 - 1 - 55 - 87 - 16 - 32 - 95 - 98 - 43 - 18 - 71 - 34 - 20 - 11 - 59 - 8 - 0
Total cost: 51570.86881222245

```

Figure 17: Résultat d'exécution de " sample_C204.py "

Test 02 : " sample_customized_data.py "

Après l'exécution de " **Sample Codes** " de l'instance **.customized_data** , avec les paramètres suivants :

- La taille de population = 400
- Nombre d'itérations =300
- Nombre de véhicules = 12
- Nombre des clients = 100

Nous obtiendrons alors le résultat suivant :

```

Std 1.6237728297125728e-12
-- Generation 297 --
Evaluated 340 individuals
Min 1.5279804022550833e-05
Max 1.5279804022550833e-05
Avg 1.5279804022550785e-05
Std 1.6237728297125728e-12
-- Generation 298 --
Evaluated 352 individuals
Min 1.5279804022550833e-05
Max 1.5279804022550833e-05
Avg 1.5279804022550785e-05
Std 1.6237728297125728e-12
-- Generation 299 --
Evaluated 347 individuals
Min 1.5279804022550833e-05
Max 1.5279804022550833e-05
Avg 1.5279804022550785e-05
Std 1.6237728297125728e-12
-- End of (successful) evolution --
Best individual: [57, 63, 61, 66, 42, 87, 33, 5, 78, 77, 56, 19, 38, 1, 64, 80, 79, 44, 25, 9, 16, 3, 30, 39, 52, 26, 85, 100, 28, 62, 82, 14, 20,
68, 36, 4, 70, 47, 35, 31, 18, 48, 6, 37, 49, 43, 98, 23, 89, 67, 99, 69, 2, 74, 7, 65, 84, 45, 40, 93, 83, 8, 88, 15, 13, 10, 97, 34, 32, 50, 90,
24, 22, 53, 51, 29, 94, 92, 59, 60, 21, 17, 81, 11, 54, 76, 75, 71, 58, 55, 73, 41, 96, 72, 12, 86, 91, 95, 46, 27]
Fitness: 1.5279804022550833e-05
Vehicle 1's route: 0 - 57 - 63 - 61 - 66 - 42 - 87 - 33 - 5 - 0
Vehicle 2's route: 0 - 78 - 77 - 56 - 19 - 38 - 1 - 64 - 80 - 79 - 0
Vehicle 3's route: 0 - 44 - 25 - 9 - 16 - 3 - 30 - 39 - 52 - 26 - 85 - 0
Vehicle 4's route: 0 - 100 - 28 - 62 - 82 - 14 - 20 - 68 - 36 - 4 - 0
Vehicle 5's route: 0 - 70 - 47 - 35 - 31 - 18 - 48 - 6 - 37 - 49 - 0
Vehicle 6's route: 0 - 43 - 98 - 23 - 89 - 67 - 99 - 69 - 2 - 74 - 0
Vehicle 7's route: 0 - 7 - 65 - 84 - 45 - 40 - 93 - 83 - 8 - 88 - 0
Vehicle 8's route: 0 - 15 - 13 - 10 - 97 - 34 - 32 - 50 - 90 - 24 - 0
Vehicle 9's route: 0 - 22 - 53 - 51 - 29 - 94 - 92 - 59 - 60 - 21 - 0
Vehicle 10's route: 0 - 17 - 81 - 11 - 54 - 76 - 75 - 71 - 58 - 0
Vehicle 11's route: 0 - 55 - 73 - 41 - 96 - 72 - 12 - 86 - 91 - 0
Vehicle 12's route: 0 - 95 - 46 - 27 - 0
Total cost: 65445.865570274414
    
```

Figure 18: Résultat d'exécution de "sample_customized_data.py "

Test 03 : " sample_R101.py"

Après l'exécution de " **Sample Codes** " de l'instance **.R101** , avec les paramètres suivants :

- La taille de population = 80
- Nombre d'itérations =100
- Nombre de véhicules = 5
- Nombre des clients = 25

Nous obtiendrons alors le résultat suivant :

```
PROBLEMS 3 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL Python + v X
-- Generation 96 --
  Evaluated 72 individuals
  Min 0.00012637256751296555
  Max 0.00012637256751296555
  Avg 0.00012637256751296555
  Std 5.752149554916067e-12
-- Generation 97 --
  Evaluated 70 individuals
  Min 0.00012637256751296555
  Max 0.00012637256751296555
  Avg 0.00012637256751296555
  Std 5.752149554916067e-12
-- Generation 98 --
  Evaluated 66 individuals
  Min 0.00012637256751296555
  Max 0.00012637256751296555
  Avg 0.00012637256751296555
  Std 5.752149554916067e-12
-- Generation 99 --
  Evaluated 66 individuals
  Min 0.00012637256751296555
  Max 0.00012637256751296555
  Avg 0.00012637256751296555
  Std 5.752149554916067e-12
-- End of (successful) evolution --
Best individual: [4, 21, 23, 22, 18, 19, 2, 16, 13, 5, 3, 20, 1, 24, 10, 11, 7, 25, 12, 17, 6, 15, 14, 8, 9]
Fitness: 0.00012637256751296555
  Vehicle 1's route: 0 - 4 - 21 - 23 - 22 - 18 - 19 - 0
  Vehicle 2's route: 0 - 2 - 16 - 13 - 5 - 3 - 0
  Vehicle 3's route: 0 - 20 - 1 - 24 - 10 - 11 - 7 - 0
  Vehicle 4's route: 0 - 25 - 12 - 17 - 6 - 15 - 0
  Vehicle 5's route: 0 - 14 - 8 - 9 - 0
Total cost: 7913.109780707765
```

Figure 19: Résultat d'exécution de " sample_R101.py"

IV. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre nous avons présenté le framework développé pour avoir implémenté le problème de routage de Véhicules avec Fenêtre de Temps qui a été expliqué dans la section précédente, nous avons expliqué plus en détail les éléments les plus importants qui sont inclus dans notre application. Après notre étude, nous avons trouvé que la taille de population et le nombre de génération ont une influence sensible sur la performance de l'algorithme néanmoins leurs valeurs doivent être bien étudiées pour sélectionner les meilleures qui peuvent apporter plus de performance à l'algorithme génétique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce travail, premièrement nous avons commencé par un vue générale sur les chaînes logistique en présentant Les concepts de base (définition , La structure ...) ,nous avons également présenté les grands systèmes (système de distribution système de transport).

Nous avons également abordé les problèmes de chaînes logistiques, où on a a beaucoup de problèmes dans la chaîne logistique. Nous citons parmi eux le problème du transport où les entreprises de distribution doivent livrer et collecter des colis afin de satisfaire leurs clients.

Nous avons donné un aperçu des outils d'optimisation de la chaîne logistique(méthodes de résolution).Et nous avons fourni des méthodes pour résoudre ce problème avec leurs algorithmes .

Nous avons proposé notre approche pour résoudre le VRPTW principalement basé sur l'algorithme génétique.

Notre algorithme génétique développé a prouvé son efficacité en:

- 1) La minimisation de la route des véhicules.
- 2) La minimisation du temps de transport.

Cette recherche nous a permis de connaître les paramètres qui affectent les performances de l'algorithme génétique, qui a prouvé son efficacité dans la qualité de solutions. Pour cela, nous attendons avec impatience dans le prochain travail d'essayer une autre méthode telle que: L'algorithme de Tabu Search .

Références bibliographiques

1. **MELYON, GERARD.** « *comptabilité analytique : principe, coûts réels constatés, coûts,préétablis, analyse des écarts* ». Bréal : édition, 2004.
2. **GRATACAP Anne, MEDAN Pierre,.** « *Logistique et supply chain management : Intégration, collaboration et risques dans la chaîne logistique globale* ». s.l. : Dunod, 2008.
3. **JAOUHER MAHMOUDI.** *simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaines logistiques : Application au secteur de l'électronique et des télécommunications, thèse en vue de l'obtention du doctorat en logistique.* 2006. page 56.
4. **ALEXANDRE (K).** *stratégie logistique : « supply chain management ».* DONOD, paris : 3ème édition, 2004. p.19..
5. **MERZOUK Salah Eddin.** *problème de dimensionnement de lot et de livraison : application au cas d'une chaîne logistique.* thèse pour l'obtention du grade de docteur en automatique et informatique. s.l. : université detechnologie de Belfort, 2007. p. page 14.
6. **M.JULIEN FRANCOIS.** *Planification des chaines logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance.* s.l. : thèse pour l'obtention du grade de docteur en productique, 2007. page 23,24.
7. **Haiyan, H. O. U. S. R. O. U. M.** *Une approche génétique pour la résolution du problème VRPTW dynamique.* s.l. : Doctoral dissertation, Université d'Artois, 2005.
8. **A.Mjirda.** *Recherche à voisinage variable pour des problèmes de routage avec ou sans gestion de stock.* Cambresis,France : Doctoral thesis,University of Valentines and Hainaut, 2014.
9. **Hani Guenoune et Abdelmadjid Boukra et Meryem Berghida.** *Résolution du problème de tournées de véhicules avec collecte et livraison simultanées avec une approche coopérative de métaheuristiques.* June 2014.
10. **O.GUEMRI.** *Proposition de solutions pour l'optimisation des chaines logistiques.* s.l. : Doctoral thesis, University of Oran, 2017.
11. **A.Gherbouj.** *Méthodes de résolution de problèmes difficile académiques.* Algérie : Thèse doctorat, Université de Constantine 2, 2013.
12. **H.Allaoua.** *Support de cours d'Optimisation Combinatoire.* Université de M'sila : s.n.

13. **E.A Feibgenbaum et J. Feldman.** *Computers and thought.* New York,NY,USA : McGraw-Hill,Inc, 1963.
14. **S.Tison.** *Quelques rappels basiques à propos de la complexité et de la correction d'algorithmes.* s.l. : Université Lille 1, 2009–2010.
15. **Dr.Lemouari Ali.** *Introduction aux Métaheuristique.* s.l. : Support de Cours,Université de Jijel, 2014.
16. **C.Prodhon.** *Le problème de localisation-routage.* France : Doctorat thèse,Université de technologie de Troyes, 2006.
17. **C.H. PAPANIMITRIOU, K. STEIGLITZ.** *Combinatorial optimization: algorithms and complexity.* s.l. : Prentice Hall, 1982.
18. **B.J. Ross Ombuki B.M. et F. Hanshar.** *A Multi-Objective Genetic Algorithm Approach to the Vehicle Routing Problem with Time Windows.* s.l. : PhD thesis, 2006.
19. **D. Vigo Cordeau J.F, G. Laporte et M.W.P. Savelsbergh.** *Vehicle Routing Handbooks in Operations Research and Management Science.* s.l. : PhD thesis, 2005.
20. **Mingozi A.** *The multi-depot periodic vehicle routing problem.* s.l. : PhD thesis, 2005.
21. **Archetti C. A. Hertz et M.G. Speranza.** *A Tabu Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem. Mathematics of Information Technology and Complex Systems.* s.l. : PhD thesis, 2002.
22. **L. Bianchi .** *Notes on dynamic vehicle routing - the state of the art.* septembre 2000.
23. **K.F. Doerner Parragh S. N. et R. F. Hartl.** *survey on pickup and delivery models Part I :Transportation between customers and depot.* s.l. : PhD thesis, 2006.
24. **J.Brandao.** *A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with back-hauls.* s.l. : European Journal of Operational Research, 2006. 173 :540â555.
25. **J. Crispim et J. Brandao.** *Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls.* s.l. : Journal of the OR Society, novembre 2005.
26. **O.KALLEL.** *L'impact des relations contractuelles entre donneurs d'ordres et sous-traitants sur la performance d'une chaîne logistique équitable.* Toulouse, Tunis : Doctorat, 2012.

Résumé : Dans les domaines industriels, l'intense compétitivité de l'environnement commercial oblige les entreprises à diversifier leurs offres pour mieux répondre aux demandes de leurs clients. La gestion de cette diversité est le problème principal en plus de l'optimisation de la chaîne logistique est devenue l'un des enjeux les plus importants pour les entreprises ces dernières années.

Au cours de cette thèse, nous avons parlé des chaînes logistiques, de leur début, leur définition, leur objectif. Notre préoccupation s'est portée sur la partie liée aux problèmes de transport, à partir de laquelle nous avons choisi le problème de tournée de véhicule avec fenêtre de temps (PTVFT). Où nous avons étudié ce problème et proposé un algorithme génétique pour le résoudre. Le but de ce travail est de réduire la distance parcourue par les véhicules et le temps consommé en utilisant le langage de programmation "Python".

Mots-clés : Chaîne Logistique, problème du routage de véhicule avec temps (PTVFT), algorithme génétique, langage Python

Abstract: In the industrial environments, the very competing commercial context obliges the companies to diversify their offers for better meet the demands of their customers. Managing this diversity is the main problem in addition to optimise the chain logistics has become one of the most important issues for companies in recent years.

During this thesis, we talked about supply chains, their beginning, their concept, their purpose. Our attention was focused on the part related to transport issues, from which we chose the vehicle routing problem with time window (VRPTW). Where we have studied this problem and proposed a genetic algorithm to solve it. The aim of this work is to reduce the distance traveled by vehicles and the time consumed by using the programming language "Python".

Keywords: supply chain, routing problem with time window (VRPTW), genetic algorithm, Python language.

ملخص: في المجالات الصناعية، التنافسية الشديدة للمحيط التجاري تلزم الشركات لتنوع عروضها للإجابة على نحو أفضل لطلبات عملائها فإدارة هذا التنوع هو المشكل الأساسي بالإضافة إلى أن التحسين في السلسلة اللوجستية أصبح واحد من أهم القضايا الرئيسية للشركات في السنوات الأخيرة.

خلال هذه الأطروحة تكلمنا عن سلاسل التوريد بدايتها، مفهومها، الهدف منها، كان إهتمامنا منصبا على الجزء المتعلق بمشاكل النقل، التي اخترنا من بينها مشكلة توجيه السيارة مع احترام الوقت المحدد. حيث قمنا بدراسة هذه المشكلة واقترحنا الخوارزمية الجينية لحلها. الهدف من هذا العمل هو تقليل المسافة التي تقطعها المركبات والوقت المستهلك باستعمال لغة البرمجة "بايثون".

الكلمات المفتاحية : سلاسل التوريد، مشكلة توجيه السيارة مع احترام الوقت، الخوارزمية الجينية، لغة البايثون.