

Introduction générale

La force économique d'une civilisation ou d'un pays est évaluée par la fonction commerciale du marché qui s'avère de plus en plus exigeante et compétitive. Dans ce cadre l'entreprise actuelle tente d'améliorer et prolonger en permanence ses performances par l'innovation de nouveaux produits et se propose plusieurs services auprès des clients et consommateurs comme la livraison gratuite ou service après-vente...etc. bien évidemment ce service coûte de l'argent pour les entreprises alors qu'ils ont proposé gratuitement à l'utilisateur.

Dans cette démarche de dépenses sans retour de liquidités, l'environnement industriel se focalise sur l'optimisation de tous les paramètres qui entourent le produit. Du côté production il opte pour une augmentation de la production qui maximise l'utilisation des ressources et du côté vente et distribution, il minimise les frais relatifs aux livraisons.

Une émergence qui a vu le jour ces dernières années est le transport au sein des réseaux de distribution qui est une action indissociable pour la livraison du produit. Cette notion de transport de marchandises dans les réseaux de distribution demeure une problématique qui intéresse plusieurs chercheurs dans le but de proposer les circuits optimaux en précisant : les meilleurs routages, les meilleurs déplacements et le meilleur planning pour les véhicules utilisés.

La diminution des coûts de distribution se fait principalement par la réduction des coûts des dépenses qui sont diversifiées et variées selon la distance parcourue et la nature du véhicule tout en garantissant la satisfaction des demandes clients.

La résolution de nombreux problèmes de base en transport, est le problème du voyageur de commerce (Travelling Salesman Problème) qui permet de visiter un ensemble de clients avec un seul camion. Le problème consiste donc à trouver l'ordre dans lequel chacun des clients sera visité. Dans le cas où l'entreprise possède une flotte de véhicules, elle doit quotidiennement faire face à un autre type de problème du transport qui est le problème de tournées de véhicule PTV (Vehicle Routing Problème VRP), ce dernier consiste à déterminer un ensemble optimal de circuits de distribution à partir d'un ou plusieurs dépôts afin de desservir un ensemble de clients sans faire violer les contraintes de volume, de capacité et du temps.

L'enrichissement du VRP par des contraintes relatives au nombre de véhicules, à leurs charges ou par des contraintes relatives aux clients, à leurs demandes, leur fenêtre temporelle

définit de nombreuses variantes. Lorsque des contraintes de gestion des stocks sur plusieurs jours sont ajoutées au problème du VRP nous arrivons à un problème de tournée de véhicule avec gestion des stocks (Inventory Routing Problème) qui fait l'objet de notre étude.

Dans ce travail on s'intéresse au problème du transport au sein d'un réseau de distribution. Notre défi dans ce travail est de déterminer le meilleur routage en fonction de la demande au niveau de chaque centre de distribution qui permet de minimiser le coût de transport dans le réseau tout en garantissant la satisfaction des commandes clients.

ETAT DE L'ART

Il existe de nombreuses variantes du problème de tournée de véhicule (VRP). Si on ajoute des contraintes de gestion des stocks sur plusieurs jours nous arrivons à un problème de tournée de véhicule avec gestion des stocks (Inventory Routing Problème).

D'après RICHARD COLIN : les premiers travaux d'IRP étaient commencés après les chocs pétroliers des années 70, « il est devenu important aux yeux des entreprises d'éviter les pénuries chez les revendeurs et d'optimiser leurs routes. Les premières qui ont commencé à le faire sont les entreprises du secteur hydrocarbure comme le gaz ou l'essence (GOLDEN ET AL., 1984, DROR ET AL. 1985, CORNILLIER ET AL., 2009). Mais petit à petit, de nombreux autres secteurs ont senti ce besoin, poussé par le principe du VMI (Vendor Managed Inventory). Ainsi la grande distribution et tous les secteurs de l'industrie qui sont à la prise avec des biens à fort taux de consommation ont de plus en plus besoin de solutions à ce problème pour rester compétitif. Citons parmi ces produits l'épicerie (GAUR ET FISHER, 2004), les pièces automobiles (ALEGRE ET AL., 2007) ou les produits chimiques (MILLER 1987) ».

Le problème de tournée de véhicule avec gestion des stocks (IRP) est traité dans un grand nombre d'articles comme le montrent les états de l'art publiés par (FEDER-GRUEN ET SIMCHI-LEVI, 1995), (BAITA ET AL., 1998) et plus récemment (WARD ET ZHAÏ, 2004).

(CAMPBELL ET AL., 1998) définissent l'IRP comme l'optimisation de la distribution répétée d'un produit, à partir d'un entrepôt central vers un ensemble de revendeurs ou de clients sur un horizon de planification fini ou infini. Chaque client est caractérisé par sa capacité de stockage et sa consommation du produit. Le réapprovisionnement est effectué par une flotte homogène de véhicules. Les distances ou les temps de trajet entre le dépôt et les clients d'une part, et entre les différents clients d'autre part, sont connus. L'objectif est de planifier les jours de livraison pour chaque client sur l'horizon de temps, et ensuite d'organiser les tournées de la flotte de véhicules afin d'effectuer les livraisons nécessaires. Les quantités à livrer sont elles aussi des variables de décision. Cette planification doit respecter les contraintes de niveau de stock chez les clients et minimiser le coût total de livraison sur l'ensemble de l'horizon. Le problème ainsi présenté est une extension du problème de tournées de véhicules classique auquel on a rajouté la notion de période et intégré des éléments de gestion de stocks dans la planification du transport.

(FEDERGRUEN ET ZIPKIN, 1984) ont été parmi les premiers à investiguer l'intégration de la gestion de stock aux tournées de véhicules. Ils ont considéré une usine à capacité finie qui alimente un ensemble de clients caractérisés essentiellement par un taux de demande stochastique. L'objectif de leur modèle était d'assurer la distribution des produits de l'entrepôt

aux clients en minimisant les coûts de transport et de stockage et en réduisant les ruptures de stock à la fin des périodes. Ils ont modélisé leur problème par un programme non linéaire en nombres entiers et ont proposé une méthode d'approximation pour le résoudre.

(GOLDEN ET AL., 1984), traitent le problème IRP en adoptant une heuristique différente qui consiste à déterminer les localisations à visiter chaque jour et génère les tournées correspondantes.

(HU ET AL., 2003) se sont intéressés à un autre aspect des IRP : l'IRP dynamique avec mise à jour de l'information après chaque visite. Les auteurs soulignent deux avantages de ce modèle : une plus grande réactivité par rapport à la variation de la demande et un routage efficace des véhicules en temps réel. Leur modèle est basé sur un SVRP (stochastic vehicle routing problem) et résolu par la technique de branch-and-bound.

L'IRP est désormais non plus exclusivement étudié dans le cas de la livraison de biens, mais aussi dans celui de la collecte de déchets (CHANG ET WEI, 1999, EL-FADEL ET KHOURY, 2001, REPOUSSIS ET AL, 2009).

Sommaire

Liste des figures	08
Liste des tableaux	09
Introduction générale.....	10
Etat de l'art	12

Chapitre 1 : Transport dans les réseaux de distribution

1.1. Introduction	15
1.2.La distribution	15
1.2.1. Le canal de distribution	15
1.2.2. Le circuit de distribution	17
1.2.3. Le réseau de distribution	17
1.3.Le rôle d'un réseau de distribution	19
1.4.La gestion des stocks au niveau d'un réseau de distribution	20
1.4.1. Le sur-stockage	20
1.4.2. La rupture de stock	20
1.5.Le transport dans les réseaux de distribution	20
1.6.Le problème du voyageur de commerce	21
1.6.1. Description du problème du voyageur de commerce.....	21
1.6.2. Modélisation mathématique du problème	23
1.7.Problème de tournée de véhicule	24
1.7.1. Description du model de tournée de véhicule	24
1.7.2. Modélisation mathématique du problème	25
1.8.Les caractéristiques des problèmes de transport	27
1.8.1. Le temps	27
1.8.2. Le produit	27
1.8.3. La demande	28
1.8.4. Les contraintes	28
1.9.Types de problème de tournées de véhicules	28
1.10. Tournées de véhicules avec gestion des stocks	32

1.11. Conclusion	32
-------------------------------	-----------

Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise et formulation du problème

2.1. Introduction	34
2.2. Présentation de l'entreprise	34
2.2.1. Chaîne de production LIT-MAG	35
2.2.2. Le réseau de distribution LIT-MAG	36
2.3. Description du problème	37
2.3.1. Formulation du problème	39
2.3.1.1.Modélisation mathématique du problème de tournée de véhicule	40
2.3.1.2.Modélisation du sous routage	42
2.4. Conclusion.....	44

Chapitre 3 : Evaluation du problème tournée de véhicule dans un réseau de distribution

3.1 Introduction	46
3.2. Qu'est-ce que LINGO ?.....	46
3.2.1. Les éléments d'un modèle LINGO	46
3.2.2. Traduction des notations mathématiques en une syntaxe LINGO.....	48
3.3. Résultats obtenues	49
3.3.1. Donnés du système étudié	49
3.3.1.1. La demande	49
3.3.1.2. La distance	50
3.3.1.3. La flotte de véhicule	51
3.3.1.4. Les coûts de transport	51
3.3.1.5. Le coût de stockage et de rupture	52
3.3.2. L'implémentation de notre algorithme	53
3.3.2.1. Construction des tournées des véhicules	53
3.3.2.2. Echanges des produits entre les centres de distribution	55
3.3.3. Résultats	56
3.3.3.1. Variation du coût de stockage	56

3.3.3.2. Variation du coût de rupture	57
3.3.3.3. Variation de la demande réelle.....	58
3.4. Conclusion.....	61
Conclusion générale	62
Références bibliographiques	
Résumé	

ClicCours.com

Chapitre 1

Transport dans les réseaux de distribution

Chapitre 1 : Transport dans les réseaux de distribution

1.1. Introduction	15
1.2. La distribution	15
1.2.1. Le canal de distribution	15
1.2.2. Le circuit de distribution	17
1.2.3. Le réseau de distribution	17
1.3. Le rôle d'un réseau de distribution	19
1.4. La gestion des stocks au niveau d'un réseau de distribution	20
1.4.1. Le sur-stockage	20
1.4.2. La rupture de stock	20
1.5. Le transport dans les réseaux de distribution	20
1.6. Le problème du voyageur de commerce	21
1.6.1. Description du problème du voyageur de commerce	21
1.6.2. Modélisation mathématique du problème	23
1.7. Problème de tournée de véhicule	24
1.7.1. Description du modèle de tournée de véhicule	24
1.7.2. Modélisation mathématique du problème	25
1.8. Les caractéristiques des problèmes de transport	27
1.8.1. Le temps	27
1.8.2. Le produit	27
1.8.3. La demande	28
1.8.4. Les contraintes	28
1.9. Types de problème de tournées de véhicules	28
1.10. Tournées de véhicules avec gestion des stocks	32
1.11. Conclusion	32

1.1. Introduction

Le marché actuel s'oriente vers la satisfaction accrue des clients, en offrant de plus en plus de services tous en minimisant les coûts de dépense. Dans ce cadre de minimisation plusieurs entreprises proposent de nouvelle forme de communication entre les partenaires du même secteur par des échanges d'information de matériel ou encore le produit lui-même. Ceci les amène à externaliser la distribution et accélère le rythme des échanges entre partenaires commerciaux. C'est pour cette raison que ces dernières décennies, les transports dans les réseaux de distribution ont incitée de plus en plus de chercheur a le développé.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les concepts relatifs aux réseaux de distribution en précisant la fonction de stockage puis nous allons présenter les différents problèmes de transport.

1.2. La distribution

La distribution décrit le séquençement qui permet le placement d'un produit dans un endroit donné pour être consommé ou pour une utilisation ultérieure. Ceci demande des plates formes qui permettent de supporter cette transaction entre le producteur et le consommateur final. Cette action se réalise soit à travers les centres de distribution soit directement des stocks de produits finis vers les clients.

Selon DIOUX ET DUPUIS (2009) la distribution est le chemin suivi par un produit ou un service, depuis la production jusqu'à la consommation, en regroupant l'ensemble des personnes ou des entreprises que l'on appelle les intermédiaires. Ces derniers constituent les éléments de base du canal de distribution de l'entreprise.

La distribution fait appelle à plusieurs configurations selon la nature de produit et le mode de livraison adopté. On peut les classer de la manière suivante : canal de distribution, circuit de distribution et réseau de distribution.

1.2.1. Le canal de distribution

C'est le chemin commercial parcouru par un produit pour aller du producteur au consommateur final.

▪ **Les types de canaux de distribution**

a) **Canal ultra court (direct)** : Il se caractérise par l'absence de tout intermédiaire indépendant entre le producteur et le consommateur. Il s'agit d'une distribution directe tel qui est donné par la figure 1.1.

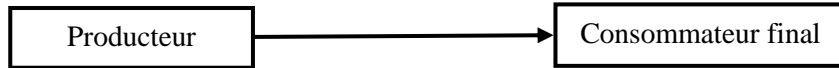


Figure 1.1 : Canal ultra court

b) **Canal court** : Il comprend un seul intermédiaire entre le producteur et le consommateur (figure 1.2).



Figure 1.2 : Canal court

c) **Canal long** : Ou ils y a plusieurs intermédiaires permet d'acheminer consécutivement le produit au client (figure 1.3).

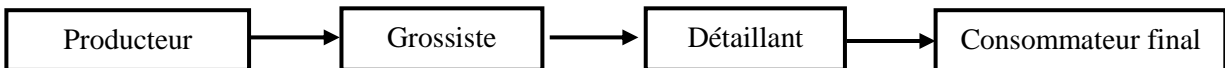


Figure 1.3 : Canal long

Le tableau 1.1 ci-dessous représente quelques avantages et inconvénients de la distribution directe et indirecte

Distribution	Avantages	Inconvénients
Direct	<ul style="list-style-type: none"> -Connaissance approfondie des besoins de la clientèle. - Réaction plus rapide aux différents événements et aléas. -Lancement rapide des nouveaux produits. 	<ul style="list-style-type: none"> -Organisation et gestion très lourde des vendeurs - Stockage très important

Distribution	Avantages	Inconvénients
Indirect	-Diminution des frais de transport et de stockage	-Perte du contact avec les clients -Perte du contrôle de la distribution du produit.

Tableau 1.1 : Avantages et inconvénients de la distribution directe et indirecte

1.2.2 Le circuit de distribution

C'est l'ensemble des canaux de distribution par lesquels un bien, une catégorie des biens ou un service vendu s'achemine entre le producteur ou l'importateur et le consommateur ou l'utilisateur final.

1.2.3 Le réseau de distribution

Un réseau de distribution est une organisation qui contribue aux différents processus et activité, à travers les interactions de l'amont vers l'aval, apportant une valeur ajoutée sous la forme de produits et de services pour les clients finaux. D'un point de vue conceptuel, réseau de distribution peut être considérée comme une succession d'étapes d'approvisionnements, de livraison et de vente d'un produit, depuis l'unité de production jusqu'au client final.

Le réseau de distribution est composé de l'ensemble des distributeurs (fournisseurs, usines, entrepôts, grossistes...) dispersés géographiquement sur des zones et reliés par des liaisons routière, ferroviaire ou aérien permettant d'acheminer les produits du producteur au consommateur final (figure 1.4).

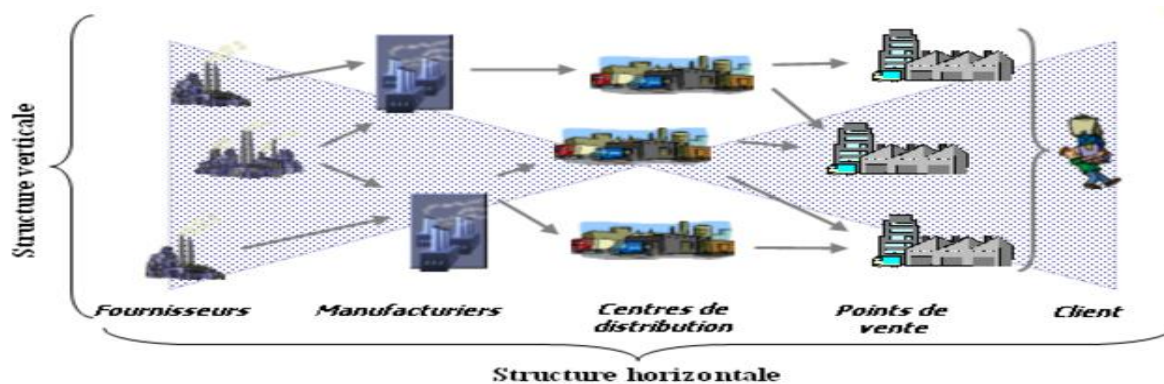


Figure 1.4 : Réseau de distribution.

La distribution des produits peut se faire de différentes topologies :

- **L'un-vers-plusieurs** : Cela signifie qu'un dépôt à la charge de livrer plusieurs clients (figure 1.5).

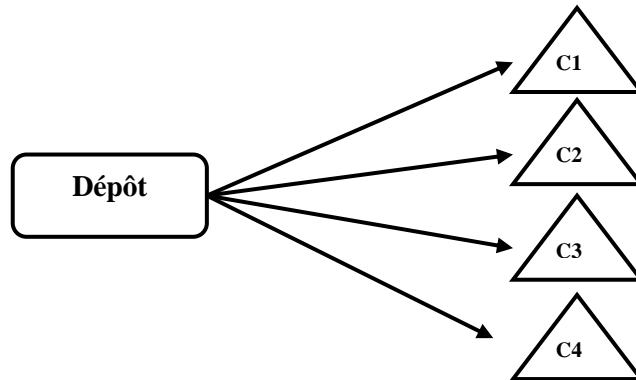


Figure 1.5 : Distribution un-vers-plusieurs

- **L'un-vers-un** : Ce mode est utilisé lorsqu'on effectue des visites uniques entre un client et un dépôt (figure 1.6).

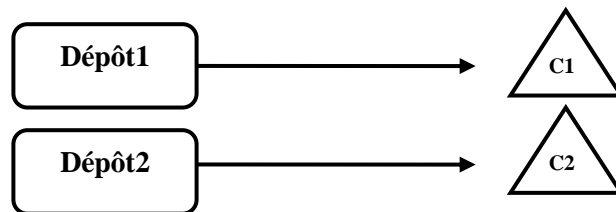


Figure 1.6 : Distribution un-vers-un

- **Le plusieurs-vers-plusieurs** : Dans cette configuration on a plusieurs dépôts et plusieurs clients ou chaque client a la possibilité de s'approvisionner auprès d'un fournisseur selon ses choix et ses critères tel qu'il est donné par la figure 1.7.

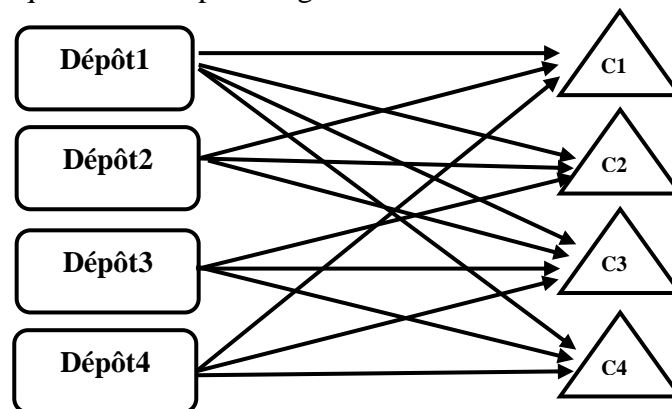


Figure 1.7 : Distribution plusieurs-vers-plusieurs

- **Le plusieurs-vers-un :** Dans cette structure on a plusieurs fournisseurs et un seul client. Cette configuration est très cotoyée de nos jours dans les industries de collecte et de recyclage (figure 1.8).

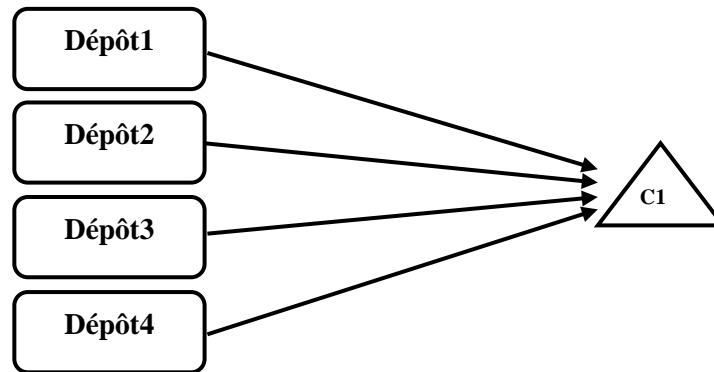


Figure 1.8 : Distribution plusieurs-vers-un

1.3. Le rôle d'un réseau de distribution

Le rôle principal d'un réseau de distribution est le transfert de marchandise entre points origine ou fournisseurs et points-destination ou clients. L'acheminement de matière et de produit d'un point à un autre nécessite le transit d'une quantité physique de produit et un moyen de transport adéquat.

D'une manière générale, les réseaux de distribution sont confrontés à deux problèmes majeurs le premier concerne la quantité livrée qui peut être fixe ou variable voire incertaine puisqu'il s'agit des demandes client, ce qui nécessite une bonne gestion des stocks.

Le second problème concerne le moyen de transport utilisé, ou des quantités données de produit doivent être expédiées vers différents points-destination. Le coût de transport unitaire entre chacun des points origine et chacun des points-destination étant connu, il s'agit de déterminer le meilleur programme de transport, c'est-à-dire celui qui minimise le coût total d'approvisionnement. Plus précisément, il convient de déterminer à partir de quel point origine, chaque point-destination doit être alimenté, et ceci en quelles quantités (TRIQUIL.2015).

1.4. La gestion des stocks au niveau d'un réseau de distribution

Le stock est l'ensemble des marchandises ou des articles accumulés dans l'attente d'une utilisation ultérieure plus ou moins proche et qui permet d'alimenter les utilisateurs au fur et à mesure de leurs besoins.

L'activité principale de chaque entreprise est de bien gérer son stock c'est-à-dire elle doit présenter son produit au bon moment et au bon endroit.

La gestion des stocks au niveau d'un réseau de distribution consiste à gérer le mouvement des stocks c'est-à-dire déterminer le niveau des stocks et décider le moment où les produits sont disponibles à être livré.

Dans le cas où la demande est incertaine, la quantité livrée peut-être confronter à plusieurs situations : elle est soit égale à la quantité demandée, qui n'est pas forcément toujours vraie et dans le cas contraire on se trouve soit dans une situation de sur-stockage ou une situation de rupture de stock.

L'objectif de la gestion des stocks est de trouver un compromis entre le niveau de stock (produit en sûr stockage) et la satisfaction des clients (produit en rupture) (TRIQUILL.2015).

1.4.1. Le sur-stockage

Corresponds à une quantité trop élevée de présence de produits (stock) et qui entraîne une immobilisation du capital de l'entreprise et des pertes financières considérable.

1.4.2. La rupture de stock

On dit qu'un produit est en rupture de stock lorsqu'il ne peut pas satisfaire la totalité ou une partie de la demande exprimée. Ce qui peut être traduit par la réduction de la qualité de service et une perte de la clientèle.

1.5. Le transport dans les réseaux de distribution

La fonction de transport au niveau d'un réseau de distribution consiste à préciser les destinations de distribution d'un entrepôt central vers un ensemble de clients qui optimise conjointement les coûts de transport et les coûts de stockage tout en livrant la quantité demandée. En plus pour que la satisfaction des clients, il est nécessaire de connaître la demande ainsi que les types de véhicules pouvant satisfaire cette demande.

La question la plus rencontrée dans la distribution dans les réseaux de transport est de savoir s'il existe un ordre de préférence entre les clients et par qui commencer ? Ce qui peut influencer la séquence de routage d'une livraison. En plus on distingue plusieurs modes de transport : le transport routier, transport maritime et le transport aérien, ou le mode de transport dépend du type de véhicule utilisé (camion, bateau, avion, hélicoptère...etc).

Lorsque le transport s'effectue par un seul véhicule le problème est plus facile à résoudre et optimiser le problème est analogue au problème de voyageur de commerce (TSP) tandis que pour un ensemble (flotte) de véhicule, les propriétés de la flotte de véhicules peuvent aussi varier et peut être homogènes ou hétérogènes selon la capacité ou la durée du trajet pouvant être parcouru. De plus la capacité du véhicule ou la durée du trajet pouvant être parcouru peuvent être différentes selon le véhicule choisi dans ce cas le transport dans le réseau de distribution est classifié dans l'angle des problèmes de tournée de véhicules (Vehicle Routing Problem VRP).

Dans une flotte hétérogène, les véhicules sont divisés en classes homogènes qui possèdent alors des caractéristiques semblables. De plus, les véhicules peuvent être multi capacités, c'est-à-dire divisés en plusieurs compartiments avec différentes caractéristiques afin de livrer plusieurs types de produits simultanément, il faut aussi s'assurer de connaître les coûts associés à l'utilisation de chaque véhicule. Ces frais peuvent être fixes tels que des frais de location d'une remorque ou variables qui représentent souvent le coût par unité de distance ou de temps.

1.6. Le problème du voyageur de commerce

1.6.1. Description du problème du voyageur de commerce

Le problème du voyageur de commerce mieux connu sous le nom de « Travelling Salesman Problem TSP » C'est un problème classique de la recherche opérationnelle, il a été posé pour la première fois en 1934 par HASSLEY WHITNEY lors d'une conférence à l'université de Princeton (FLOOD, 1956). Il consiste à trouver la plus courte tournée qui visite toutes les villes une seule fois et de revenir au point de départ. Les distances entre les villes sont connues. Il faut trouver le chemin qui minimise la distance parcourue.

La notion de distance peut être remplacée par d'autres notions comme le temps qu'il met ou l'argent qu'il dépense.

On peut trouver le problème du voyageur de commerce dans des nombreuses situations par exemple dans les problèmes de logistique, dans les problèmes d'ordonnancement, et plus largement toutes sortes de problèmes de transport aussi bien de marchandises que de personnes.

Le problème du voyageur de commerce est l'un des problèmes les plus connus dans le domaine de l'optimisation combinatoire car en plus de sa simplicité il est typiquement NP-complet.

Ce problème est appliqué lorsqu'on a plusieurs points de vente desservis par un entrepôt et par le même véhicule telle que celle qui est donnée par la figure 1.9. La difficulté de ce problème est de trouver l'ordre dans lequel chacun des clients sera visité, en minimisant un certain nombre de critères (temps ou coût du parcours, ou bien longueur totale parcourue...) (SMAILI YAMINA.2012).

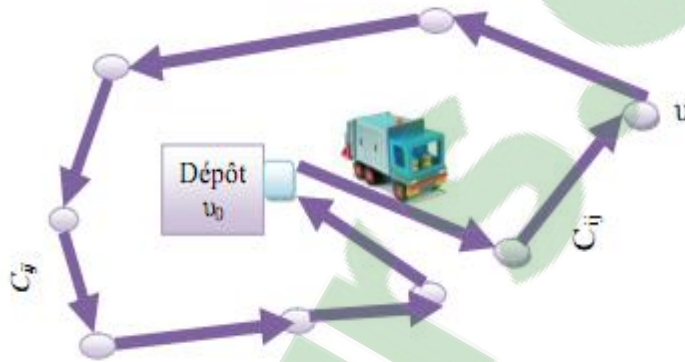


Figure 1.9 : Présentation graphique du problème de voyageur de commerce TSP

Ce problème peut être formulé comme ceci :

$G = (N, A)$ où G est un graphe, $N = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ représente l'ensemble des $n+1$ nœuds (villes).

Avec :

- v_0 : le dépôt
- $\{v_1, \dots, v_n\}$: l'ensemble des clients.

Par ailleurs, $A = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in N, i \neq j\}$ l'ensemble des arcs allant d'un point « i » à un point « j » selon le cas étudié, chaque arc identifie un élément des matrices soit :

- De distance (ou de coût) $C = (c_{ij})$
- De temps $T = (t_{ij})$

1.6.2. Modélisation mathématique du problème

d_{ij} = distance entre la ville i et la ville j

n = nombre de villes

x_{ij} = variable binaire qui prend la valeur 1 si la ville i est visité immédiatement avant la ville j .
Sinon, cette variable prend la valeur 0.

Le problème consiste à minimiser la longueur du cycle Hamiltonien^(*) (HAMILTON 1859).

- **La fonction objectif est**

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ij} * d_{ij} \quad (1.1)$$

- **Les contraintes sont les suivantes**

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, n \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad j=1, \dots, n \quad (1.3)$$

Les deux contraintes (1.2) et (1.3) assurent que le voyageur n'entre et ne sorte qu'une seule fois par le sommet.

$$\sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \text{ Pour tout } S \text{ de } N \quad (1.4)$$

La contrainte (1.4) élimine tous les sous-tours possibles au sein d'un tour.

$|S|$ représente le nombre de sommets faisant partie d'un sous-tour potentiel composé des clients.
Cette contrainte doit être décrite pour tous les sous-ensembles S de N .

$$x_{ij} \in \{0,1\} (i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j) \quad (1.5)$$

La contrainte (1.5) assure que les variables sont binaires.

(*) Un cycle Hamiltonien : c'est un cycle qui relie tous les sommets une seule fois.

1.7. Problème de tournée de véhicule

1.7.1. Description du model de tournée de véhicule

Le problème de tournée de véhicules (Vehicle Routing Problem **VRP**) est une extension du problème du voyageur de commerce. Il a été introduit pour la première fois par (LORD HAMILTON 1859) puis réintroduit par DANTZIG et AL (1954) sous le nom de « Truck Dispatching Problem ».

D'après HOU 05 le VRP consiste à construire des tournées à coût minimal afin de visiter une et une seule fois un ensemble de clients géographiquement distribués.

Pour KAM 06 le VRP consiste à construire des routes visitant tous les clients une seule fois en minimisant le coût du transport, en satisfaisant les demandes et en respectant les capacités des véhicules.

La version la plus basique du VRP consiste à livrer des marchandises auprès des clients à l'aide d'une *flotte* de véhicules identiques à capacité limitée. Chaque client doit être desservi une et une seule fois et chaque tournée commence et se termine au dépôt. L'ensemble des clients visités par un véhicule désigne la tournée de celui-ci tel qui est représenté par la figure 1.10.

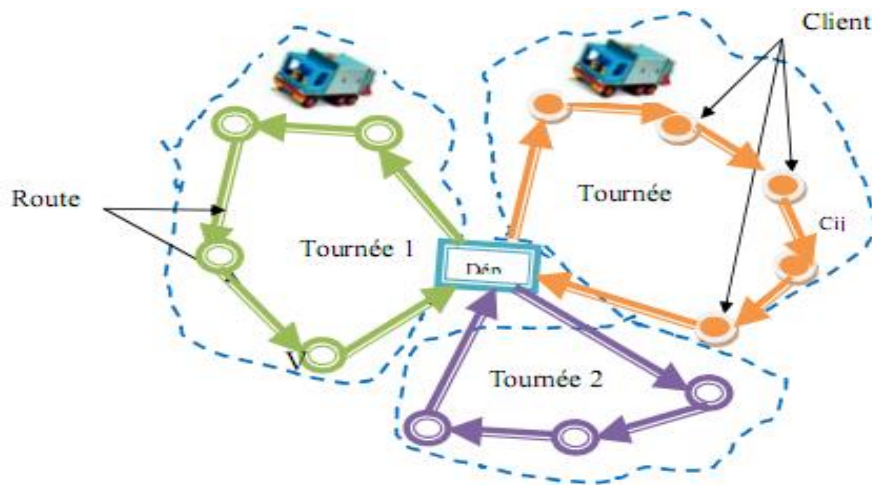


Figure 1.10 : Présentation graphique du problème de tournées de véhicules VRP

La résolution du problème de tournée de véhicule consiste à minimiser le coût de transport en respectant la contrainte de capacité des véhicules : la quantité de marchandises livrées sur une tournée ne doit pas dépasser la capacité du véhicule qu'il assure.

Ce type de problème peut être décrit comme un problème de conception d'itinéraires à moindre coût, d'un dépôt à un ensemble de points géographiquement dispersés (ville, magasins, entrepôts, écoles, clients, etc.).

Le VRP est un problème de conception des routes. Il est défini par un graphe $G(N, A)$ où :

$N = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ est l'ensemble des $n+1$ nœuds (villes)

Avec :

- v_0 : le dépôt qui est le point de départ et d'arrivée de toutes les routes
- $\{v_1, \dots, v_n\}$: L'ensemble des clients.

$A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in N, i \neq j\}$ est l'ensemble des arcs possibles

Une distance d_{ij} est associée à chaque arc $(i, j) \in A$, ces distances sont symétriques c'est-à-dire que $d_{ij} = d_{ji} \forall i, j \in A$.

1.7.1. Modélisation mathématique du problème

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

La maximisation des gains engendrés par les tournées.

Il existe de nombreuses formulations de problème de tournée de véhicule. La formulation suivante est tirée de FISHER et JAI KUMAR (1981). Définissons tout d'abord l'ensemble des variables nécessaire pour effectuer la formulation mathématique.

- **Paramètre**

n = nombre de sommets

k = nombre de véhicules

cap = capacité d'un véhicule

T_k = Temps maximal de tournée du véhicule k

d_i = demande du sommet i

t_i^k = temps nécessaire au véhicule k pour charger ou décharger au sommet i

t_{ij}^k = temps nécessaire au véhicule k pour voyager du sommet i au sommet j

C_{ij} = Coût ou distance du voyage du sommet i au sommet j.

- **Variables de décision**

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule k voyage du noeud i vers le noeud j} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- **La fonction objectif**

Minimiser $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} * x_{ij}^k$ (1.6)

- **Les contraintes de problème**

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad j = 0, \dots, n \quad (1.7)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad i = 0, \dots, n \quad (1.8)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0, \quad k = 1, \dots, m; p = 1, \dots, n \quad (1.9)$$

$$\sum_{i=0}^n t_i^k \sum_{j=0}^n x_{ij}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^k * x_{ij}^k \leq T_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (1.10)$$

$$\sum_{i=0}^n d_i \sum_{j=0}^n x_{ij}^k \leq cap, \quad k = 1, \dots, m \quad (1.11)$$

Les équations (1.7) et (1.8) assurent que chaque nœud n'est servi qu'une seule fois par un et un seul véhicule.

L'équation (1.9) assure la continuité d'une tournée par un véhicule : le nœud visité doit impérativement être quitté.

L'équation (1.10) assure le respect de la contrainte de la durée totale d'une tournée.

L'équation (1.11) assure le respect de la contrainte de capacité du véhicule.

1.8. Les caractéristiques des problèmes de transport

Il existe de nombreuses configurations possibles au problème de VRP, mais il est possible de trouver un cadre unique qui permet de les rassembler (ANDERSSON, H., HOFF, A., CHRISTIANSEN, M., HASLE, G. ET LØKKETANGEN, A. 2010). Il faut considérer plusieurs points :

1.8.1. Le temps

Le problème est par essence un problème d'optimisation à long terme. Par contre son application au niveau opérationnel ou tactique requiert de passer à un horizon plus réduit. Et dans cette réduction, on peut trouver trois (3) points de vue dans la littérature :

- **Horizon instantané** : On l'emploie lorsque l'horizon a été réduit à une seule période. Le problème revient alors à déterminer l'ensemble des clients à visiter en respectant les contraintes de stock afin de minimiser les coûts de livraison.

- **Horizon fini** : Ce type d'horizon est le plus répandu, il permet de planifier plusieurs visites pour un client donné dans le temps en respectant les contraintes de stock. Par contre, il ne permet pas de gérer les effets à long terme.

- **Horizon infini** : Ici, on planifie globalement la chaîne logistique, on se trouve plutôt à un niveau stratégique. Il est rarement utilisé, sauf dans des cas où l'on souhaite déterminer des emplacements de dépôts ou bien définir des fréquences fixes de visites pour les clients.

1.8.2. Le produit

Le produit peut se présenter par son mode de fabrication soit à la pièce soit en mode continue

- Discret lorsqu'on a affaire à des objets dénombrables (matelas, meuble, boîte, ...etc)
- Continue lorsqu'il s'agit d'un produit indénombrable (les hydrocarbures)

Et par sa variabilité : mono-produit ou multi-produit :

- Le mono-produit lorsqu'il s'agit d'un seul type de produit
- Le multi-produit lorsqu'il s'agit de plusieurs produits.

1.8.3. La demande

La demande peut se séparer en deux parties :

- Une demande déterministe où la quantité de produits à livrer pour chaque client est connue.
- Une demande stochastique où la consommation des clients n'est pas connue et incertaine, cette incertitude est approché par des lois de probabilité.

1.8.4. Les contraintes

Nous allons considérer ici les contraintes possibles qui sont présentées dans les problèmes de VRP :

La taille de la flotte peut être unique s'il n'y a qu'un seul camion ou multiple s'il y en a plusieurs. Dans ces deux cas, la taille est donnée. Elle peut aussi être une variable de décision dans le cas du dimensionnement.

La capacité des camions peut être homogène lorsque tous les camions ont la même capacité mais bien souvent, dans des cas concrets, elle est hétérogène.

La demande des clients est une donnée importante car c'est elle qui va régir le déclenchement des livraisons.

La capacité du dépôt est aussi importante car c'est elle qui va permettre de déterminer la quantité totale livrable. Elle peut être limitée ou non.

1.9. Types de problème de tournées de véhicules

Il existe plusieurs variantes de problème de tournées de véhicules VRP, selon l'ajout et ou la suppression des contraintes du VRP classique. Dans ce qui suit, nous présentons une répartition des variantes du VRP selon le type de contraintes, Cette section s'appuie sur les travaux (ANDERSSON, H., HOFF, A., CHRISTIANSEN, M., HASLE, G. ET LØKKETANGEN, A. 2010), et (BAITA, F., UKOVICH, W., PESENTI, R. et FAVARETTO, D. 1998) (tableau 1.2).

Contraintes de VRP	Types	Définition
Liées à la Flotte de Véhicules	VRP-C (Capacitated Vehicle Routing Problem)	Les véhicules ont une capacité d'emport limitée (quantité, volume, poids).
	VRP-HF (Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet)	La flotte est composée de véhicules de types différents, qui se distinguent par la capacité, la puissance, le coût de transport, . . .
	O-VRP (Open Vehicle Routing Problem)	Le véhicule est libre de rejoindre ou pas le dépôt après la fin de la tournée. S'il choisit de reprendre le dépôt, il doit reprendre le parcours de la tournée dans le sens inverse.
Liées aux Dépôts	VRP-MD (Multi-Depot Vehicle Routing Problem)	Les véhicules peuvent s'approvisionner de plusieurs dépôts.
	1-VRP (Vehicle Routing Problem)	Les véhicules doivent s'approvisionner d'un seul dépôt.
Liées aux Produits	MP-VRP (Problème de Tournées de Véhicule à Produits Multiples)	Une gamme de produits doit être livrée aux différents clients par chaque véhicule en une seule tournée.
	1-VRP (Problème de Tournées de Véhicule à un Seul Produit)	Un seul produit doit être livré aux différents clients par chaque véhicule en une seule tournée.
Liées au Temps	PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem)	Chaque client est périodiquement visité selon une certaine planification prédéfinie.

	VRP-TW(Vehicle Routing Problem with Time Windows)	Chaque client doit être servi dans un intervalle de temps défini, connu d'avance par le livreur
Liées à la Demande des Clients	VRP à Demande Déterministe	Le livreur connaît avant son départ du dépôt la quantité à livrer à chacun de ses clients
	VRP à Demande Stochastique	Le livreur ne connaît pas la quantité à livrer au client il la découvre au moment de le servir. Il estime approximativement la demande de chaque client par une fonction stochastique

Tableau 1.2 : Les variantes du VRP

Les contraintes définies précédemment dans le tableau 1.2 sont structurés par l'organigramme suivant (figure 1.11)

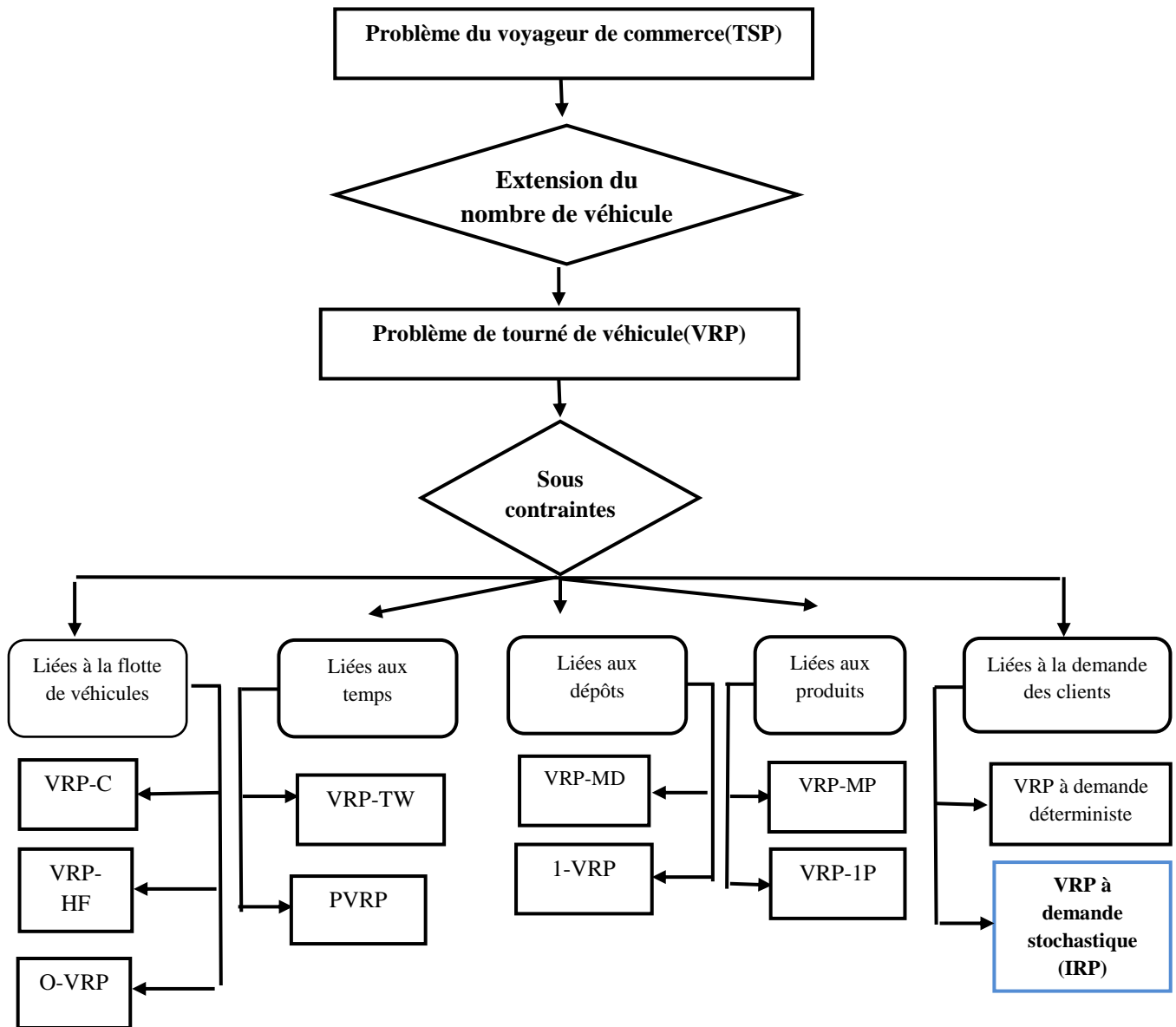


Figure 1.11 : L'organigramme des variantes de VRP

Dans ce travail on s'intéresse principalement au problème de tournée de véhicule avec gestion des stocks qu'on va détailler par la suite.

1.10. Tournées de véhicule avec gestion des stocks

D'après les variantes du VRP définis auparavant, le problème de tournée de véhicule avec gestion de stock est une conséquence du Vehicle Routing Problem (VRP) mais avec une composante qui représente le stock.

Le problème de tournée de véhicule avec gestion de stock ou l'Inventory Routing Problem (IRP) a émergé dans les années 80, définie par un ensemble de clients consomme un bien à des vitesses différentes ou chaque client est périodiquement visité selon une certaine planification prédéfinie, l'entreprise qui fournit ce bien doit établir des routes de livraison pour chacun de ces véhicules afin qu'aucun client ne manque du bien tout en minimisant les coûts de transports (FEDERGRUEN, A. et ZIPKIN, P. 1984.).

La particularité de ce problème est que le vendeur contrôle l'inventaire de ces clients, en décidant quand et de combien chaque stockage doit être approvisionné par les tournées de camions (T. BENOIST, F. GARDI, A. JEANJEAN. ET B. ESTELLON).

1.11. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un bref descriptif sur les réseaux de distribution en précisant la notion et la variation des techniques de transport assimilée à une gestion des stocks qui fait l'objet de notre étude. Le chapitre suivant sera consacré à la présentation du système étudié et la problématique.

Chapitre 2

**Présentation de l'entreprise et formulation du
problème**

Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise et formulation du problème

2.1. Introduction	34
2.2. Présentation de l'entreprise	34
2.2.1. Chaîne de production LIT-MAG	35
2.2.2. Le réseau de distribution LIT-MAG	36
2.3. Description du problème	37
2.3.1. Formulation du problème	39
2.3.1.1.Modélisation mathématique du problème de tournée de véhicule	40
2.3.1.2.Modélisation du sous routage	42
2.4. Conclusion.....	44

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le système étudié, inspiré d'un cas réel : Sarl Literie Maghrébine (LIT-MAG) qui appuie cette étude et qui fournit les données nécessaires pour l'évaluation des résultats, pour se faire dans un premier temps nous allons présenter la chaîne de production amont de l'entreprise, et dans une seconde partie nous présentons la chaîne aval et le réseau de distribution qui la compose.

Ensuite nous allons faire une description détaillée de la problématique rencontrée dans le réseau de distribution de l'entreprise Literie Maghrébine qui est double, d'un côté il faut minimiser les coûts de transport, d'un autre côté il faut gérer les stocks ou on doit avoir la bonne quantité au bon moment tout en satisfaisant les demandes clients.

2.2. Présentation de l'entreprise

L'entreprise LIT-MAG (Literie Maghrébine) est une société spécialisée dans le domaine de la literie. Située à Tlemcen Algérie, elle est dotée d'une capacité de production de 400 matelas/jour et d'un effectif de 110 employés.

LIT-MAG est dédiée à la fabrication des matelas de différentes dimensions, ainsi les oreillers et les couettes.

La figure 2.1 représente la situation géographique du LIT-MAG

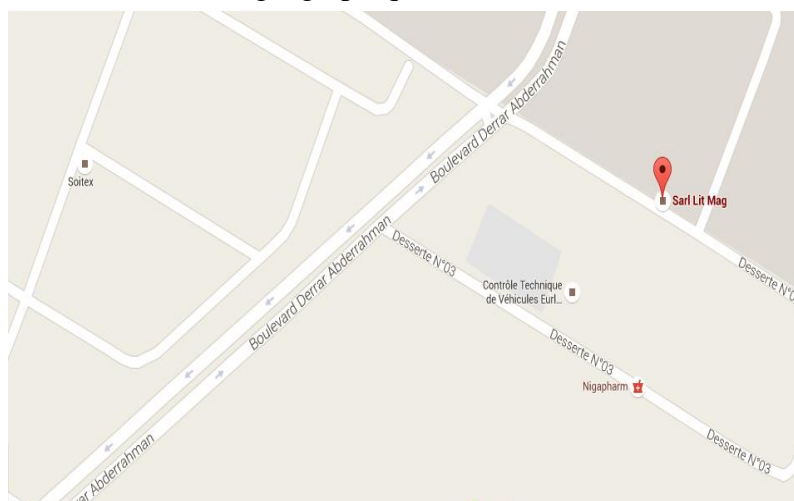


Figure 2.1 : Situation géographique de LIT-MAG

L'entreprise est constituée de deux compartiments concaténés, le premier concerne l'atelier de production où le produit subit des transformations puis est expédié dans un air de stockage pour être ranger, le deuxième concerne le réseau de distribution qui récupère les produits de l'air de stockage pour les livrer au centres de distribution situés dans des zones distinctes sur le territoire algérien.

2.2.1 Chaîne de production LIT-MAG

Les produits réalisés par l'entreprise sont classés en trois catégories : une famille de matelas, une seconde famille qui contient : couette, draps et couvre lit et enfin la famille des oreillers et traversins. Dans la famille des matelas, on trouve une large variété de produits (matelas en mousse souple, matelas en mousse avec une grande résistance ou matelas injectés mousse et ressort) et une diversification de dimension. Ça peut aller d'un simple matelas pour bébé, au matelas une place avec plusieurs dimensions [TRIQUILL.2015].

La famille des couettes, draps et couvre lit est une spécialité très récente de l'entreprise. Elle consiste en la fabrication de couettes d'une et deux places, dans des formats multiples ainsi que de voiles de rideaux et couvre-lits haut de gamme à dimensions multiples. Et enfin la production comprend la famille des oreillers et traversins de différentes dimensions [TRIQUILL.2015].

La réalisation de tels produits nécessite un certain nombre de matières premières comme : fils d'acier, colle, fil à coudre, tissu, ouate, ruban, fibre, grise, plastique d'emballage, produits chimiques...plus un savoir-faire des employés [TRIQUILL.2015].

Voici un aperçu de la structure de l'entreprise figure 2.2.

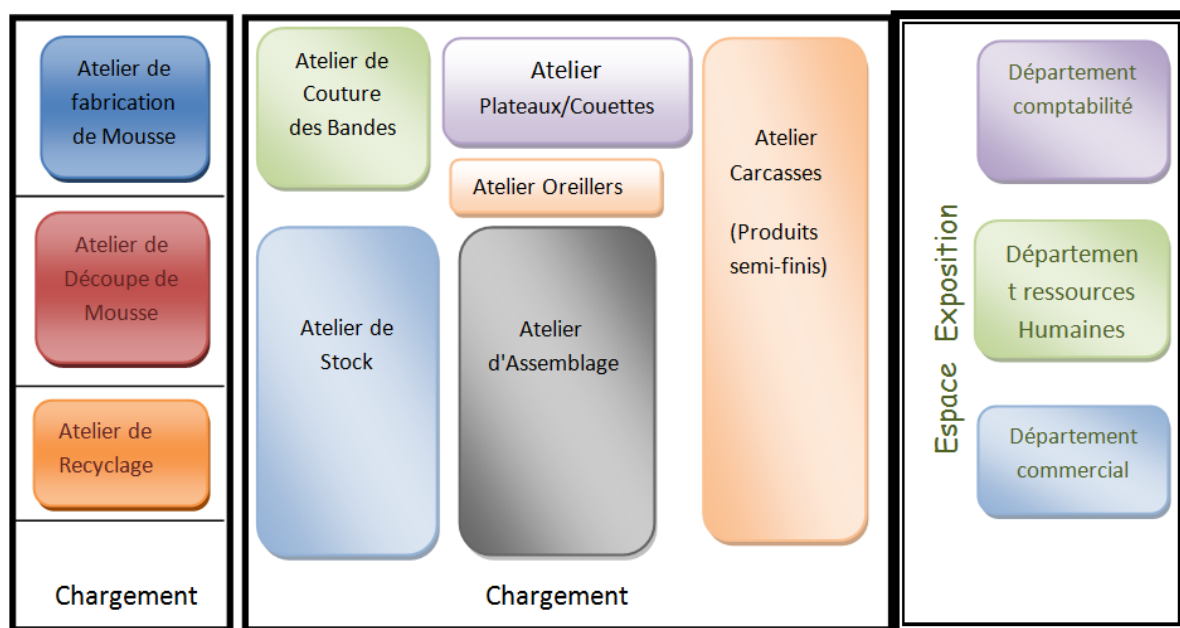


Figure 2.2 : Structure de l'entreprise

Le matelas peut être composé des matériaux suivants : mousse et ressorts. On peut distinguer trois types de matelas : matelas en mousse entièrement, plaques de mousse et ressorts et le

dernier type mousse injectée et ressorts. Le matelas est fabriqué selon la séquence de procédés suivante : découpe des plaques et tissus, collage, gansage (Picage), emballage.

La figure 2.3 représente le processus de fabrication des matelas.

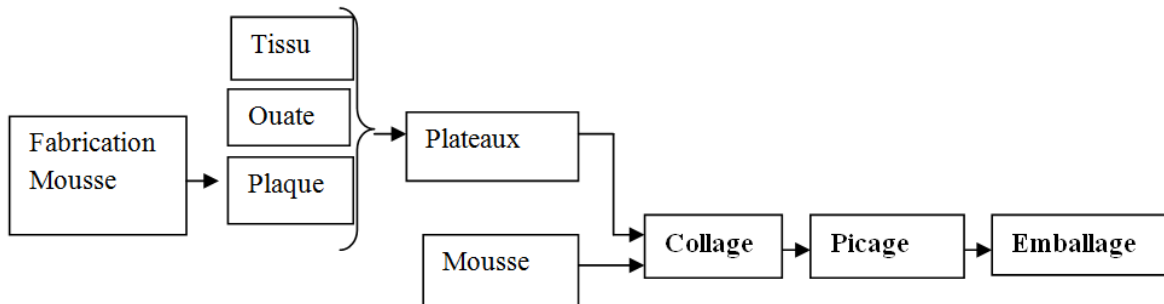


Figure 2.3 : Les différentes étapes pour la réalisation d'un matelas

2.2.2 Le réseau de distribution LIT-MAG

L'entreprise LIT-MAG s'approvisionne, entrepose et fournit des détaillants localisés sur un vaste territoire et ayant des besoins spécifiques. Cette entreprise assure seul le transport et l'approvisionnement des marchandises vers les différents points sans l'intervention d'intermédiaires.

Les détaillants se trouvent éloignés les uns des autres. L'entreprise desservit ces détaillants par leurs propres moyens de transport et parfois elle nécessite l'utilisation d'une flotte privée pour satisfaire la demande des clients (figure 2.4).

Lorsqu'une commande est reçue à l'entreprise, les marchandises requises sont collectées, chargés dans des moyens de transport puis expédiées au centre demandeur. Chaque moyen de transport est doté d'une capacité finie et empreinte un itinéraire précis. C'est-à-dire que chaque moyen de transport visite un seul client et revient à l'entreprise.



Figure 2.4 : Carte géographique des différentes villes de réseau de LIT-MAG

La livraison vers les différentes zones s'effectue quotidiennement et pour un seul centre à la fois. Le fonctionnement actuel de l'entreprise impose un chargement complet du camion même si la quantité souhaitée par le centre est différente de la capacité. C'est en fonction de cette demande le véhicule est choisi et qui rapproche au maximum la quantité commandé.

Dans ce cas chaque centre est confronté à une perturbation dans sa gestion de stock puisque il peut avoir des ruptures des stocks si sa demande est supérieure à la capacité du camion ou en sur-stockage si sa demande est inférieure à la capacité du camion.

Dans ce travail nous allons proposer un algorithme pour gérer les stocks chez les différents revendeurs tout en minimisant le coût de transport.

Nous allons proposer une nouvelle réorganisation du circuit de livraison ou nous allons proposer des tours qui peuvent effectuer plusieurs visites avec le même type de moyen de transport qui possède la plus grande capacité.

Puis nous allons proposer une amélioration pour la gestion des stocks qui répond le mieux aux demandes incertaines par l'échange des produits entre différents centres, une fois que la livraison est effectuée et la demande des clients est confirmé.

2.3. Description du problème

Dans ce travail nous allons aborder d'un problème de transport et de livraison dans un réseau de distribution composé d'un entrepôt central et plusieurs grossistes identifiés par leurs zones de localisation situé sur le territoire algérien (figure 2.5).

Notre problème a une structure particulière avec deux composants bien identifiées : un modèle de tourné de véhicule dans lequel on détermine les routes de livraison pour chaque période et un modèle de gestion des stocks dans lequel on planifie des visites des clients en fonction de leurs demandes qui sont bien déterminé par les quantités d'approvisionnement au centre, cela dit en réalité les demandes clients sont incertaines. Cette incertitude peut être exprimée soit par une satisfaction idéal lorsque la demande client est égale à la quantité approvisionnée, soit par un sur-stockage de produit si la demande réelle est inférieur à la quantité approvisionnée ou par une rupture de stock si la demande réelle est supérieure à la quantité approvisionnée. Nous résolvons cette incertitude par l'organisation des échanges des produits entre les différents points de distribution en fonction des demandes réelles.

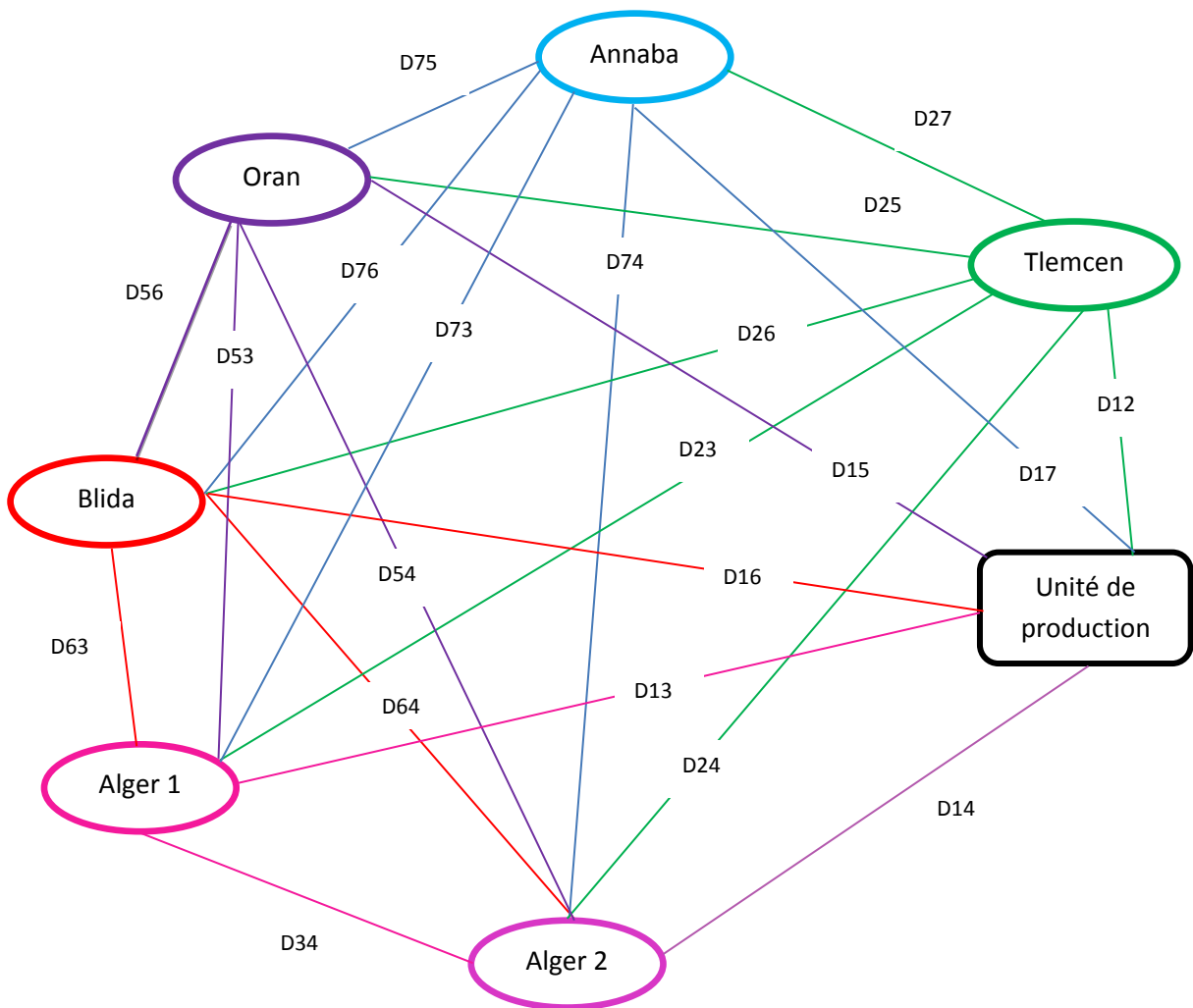


Figure 2.5 : Réseau de distribution LIT-MAG

D_{12} : D_{21} : Unité de production – dépôt Tlemcen

D_{13} : D_{31} : Unité de production – Alger 1

D_{14} : D_{41} : Unité de production – Alger 2

D_{15} : D_{51} : Unité de production – Oran

D_{16} : D_{61} : Unité de production – Blida

D_{17} : D_{71} : Unité de production – Annaba

D_{23} : D_{32} : Dépôt Tlemcen – Alger 1

D_{24} : D_{42} : Dépôt Tlemcen – Alger 2

D_{25} : D_{52} : Dépôt Tlemcen – Oran

D_{26} : D_{62} : Dépôt Tlemcen – Blida

D_{27} : D_{72} : Dépôt Tlemcen – Annaba

D_{34} : D_{43} : Alger 1 – Alger 2

$D_{35}: D_{53}$: Alger 1 – Oran
 $D_{36}: D_{63}$: Alger 1 – Blida
 $D_{37}: D_{73}$: Alger 1 – Annaba
 $D_{45}: D_{54}$: Alger 2 – Oran
 $D_{46}: D_{64}$: Alger 2 – Blida
 $D_{47}: D_{74}$: Alger 2 – Annaba
 $D_{56}: D_{65}$: Oran – Blida
 $D_{57}: D_{75}$: Oran – Annaba
 $D_{67}: D_{76}$: Blida – Annaba

2.3.1 Formulation du problème

Comme a été précisé auparavant notre problématique est constitué de deux phases, la première phase concerne la livraison des produits de l'entrepôt central vers les centres de distribution, ou nous allons desservir les centres selon la quantité approvisionnée (commandée) en utilisons des moyens de transport de même type (homogène). Ou chaque moyen de transport a la possibilité de visiter plusieurs villes afin de satisfaire la demande au niveau de chaque ville. Donc on veut trouver le meilleur routage qui permet de satisfaire la demande au niveau de chaque centre. Une fois la livraison effectuée en enchaîne vers la deuxième phase qui concerne les échanges de produit entre centre.

➤ Les hypothèses

Afin de simplifier la modélisation de notre problème nous avons supposé que :

- Les produits livrés sont de même type (matelas).
- La période de livraison est la même pour tous les centres de distribution.
- La capacité des véhicules utilisé est identique (flotte homogène).
- Les commandes des centres de distribution sont satisfaites par l'entrepôt central.
- Le coût de transport dépend de la distance parcourue
- La capacité de l'entrepôt central est infinie

➤ Notation dans le système

- n = nombre de villes.
- cap_k = capacité d'un véhicule
- $demandeP_i$ = demande prévisionnelle.
- $Demande_reelle_i$ = demande réelle du sommet i
- Qs_i = quantité stocké après les échanges

- Q_{stock_i} = quantité stocké avant les échanges
- Qr_i = quantité en rupture après les échanges
- $Q_{rupture_i}$ = quantité en rupture avant les échanges
- vol_{ij} = la quantité transférée de la ville i vers la ville j
- Cu_{ij} = le coût unitaire de transport
- cf_{ij} = le coût fixe de transport
- ct_{ij} = le coût de transport
- cs = le coût de stockage
- cr = le coût de rupture
- pv = le prix de vente
- $prix$ = le prix d'achat
- $quantité_vendue_i$ = la quantité vendue par chaque ville
- Qv_i = la quantité vendue avant les échanges

2.3.1.1. Modélisation mathématique du problème de tournée de véhicule

Le réseau considéré dans cette étude comprend n villes distinctes (n clients à desservir) à partir d'un entrepôt central. Chaque client a une demande approvisionné (demandeP) et des camions homogènes.

Mathématiquement, le problème se décrit par un graphe $G = (N, A)$ où $N = \{v0, v1, \dots, vn\}$ représente l'ensemble des $n+1$ villes et $A = \{(vi, vj) : vi, vj \in N, i \neq j\}$ représente l'ensemble des arcs possibles. dji représente la distance entre la ville i et la ville j qui sont symétriques ($dij = dji$).

Le point $v0$ représente le dépôt qui est le départ et l'arrivée pour toutes les routes. Les points $v1, \dots, vn$ représentent les n clients à desservir.

La flotte est composée de k véhicules dont la capacité de chargement est (cap) pour la livraison des produits. Avec t_i^k le temps de chargement et de déchargement de chaque véhicule. Et t_{ij}^k le temps nécessaire au véhicule k pour voyager de la ville i vers la ville j .

La durée maximale d'une route est T_k .

Le problème consiste donc à visiter tous les clients une et une seule fois afin de leur livrer la marchandise commandée tout en respectant la contrainte de capacité et de temps.

➤ **La fonction objectif**

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \text{demande}_i * C_{u_{ij}} * x_{ij}^k + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{f_{ij}} * x_{ij}^k$$

Nous avons considéré x_{ij}^k la variable de décision qui permet de préciser si le déplacement de la ville i vers la ville j a été effectué par le véhicule k .

➤ **Variables de décision**

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k \text{ voyage du noeud } i \text{ vers le noeud } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

➤ **Les contraintes de problème**

$$\bullet \quad \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad j = 0, \dots, n \quad (1.7)$$

$$\bullet \quad \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad i = 0, \dots, n \quad (1.8)$$

Les équations (1.7) et (1.8) assurent que chaque nœud n'est servi qu'une seule fois par un et un seul véhicule.

$$\bullet \quad \sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0, \quad k = 1, \dots, m; p = 1, \dots, n \quad (1.9)$$

L'équation (1.9) assure la continuité d'une tournée par un véhicule : le nœud visité doit impérativement être quitté.

$$\bullet \quad \sum_{i=0}^n t_i^k \sum_{j=0}^n x_{ij}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^k x_{ij}^k \leq T_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (1.10)$$

L'équation (1.10) assure le respect de la contrainte de la durée totale d'une tournée.

$$\bullet \quad \sum_{i=0}^n d_i \sum_{j=0}^n x_{ij}^k \leq \text{cap}_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (1.11)$$

L'équation (1.11) assure le respect de la contrainte de capacité du véhicule.

L'objectif est de minimiser les coûts de transport entre les villes i et les villes j .

2.3.1.2. Modélisation du sous routage

Une fois la demande arrivée chez les centres de distribution un **sous routage** démarre de telle sorte à satisfaire la demande d'un grossiste par un stock résiduelle d'un autre grossiste en réduisant à la fois les produits en stocks et/ou ruptures de stock et en minimisant les coûts de stockage, les coûts de rupture et les coûts de transport.

- **Modélisation mathématique du problème**

L'objectif est de maximiser le profit tout en minimisant le coût de stockage, le coût de rupture et le coût de transport.

- **La fonction objectif**

Maximiser

$$\sum_{i=1}^n (pv - prix) * quantité_vendue_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ct_{ij} * vol_{ij} - \sum_{i=1}^n cs * Qs_i - \sum_{i=1}^n cr * Qr_i \quad (2.1)$$

Nous avons déterminé une nouvelle variable de décision vol_{ij} qui permet de déterminer la quantité transféré de la ville i vers la ville j .

Variable décision

vol_{ij} = la quantité transférée de la ville i vers la ville j

- **Les contraintes de problème**

- $demandeP_i - \sum_{i \neq j} vol_{ji} - Qs_i + Qr_i - \sum_{i \neq j} vol_{ij} \leq Demande_reele_i \quad \forall i \quad (2.2)$

La contrainte (2.2) assure la satisfaction des demandes réelles.

- $vol_{ij} \leq cap_k \quad \forall i, \forall j \quad (2.3)$

La contrainte (2.3) assure que la quantité transférée ne dépasse pas la capacité de véhicule

- $Q_stock_i = demandeP_i - demande_reele_i \quad \forall i \quad (2.4)$

- $Q_stock_i = \max(0, demandeP_i - demande_reele_i)$

La formule (2.4) sert à calculer la quantité stockée avant les échanges

- $Q_rupture_i = demande_reele_i - demandeP_i \quad \forall i \quad (2.5)$

- $Q_rupture_i = \max(0, demande_reele_i - demandeP_i)$

La formule (2.5) sert à calculer la quantité en rupture avant les échanges

- $\text{quantité_vendue}_i = \text{demande_reele}_i - Qr_i \quad \forall i \quad (2.6)$

La contrainte (2.6) a pour calculer la quantité vendue.

- **Le model global**

Nous regroupons notre formulation dans la forme générale d'un programme linéaire déterminé par une fonction objectif et les contraintes donné dans le paragraphe suivant

➤ **La fonction objectif**

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \text{demandeP}_i * Cu_{ij} * x_{ij}^k + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Cf_{ij} * x_{ij}^k$$

Variables de décision

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k \text{ voyage du noeud } i \text{ vers le noeud } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les contraintes de problème

- $\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad j = 0, \dots, n$
- $\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, \quad i = 0, \dots, n$
- $\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0, \quad k = 1, \dots, m; \quad p = 1, \dots, n$
- $\sum_{i=0}^n t_i^k \sum_{j=0}^n x_{ij}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^k x_{ij}^k \leq T_k, \quad k = 1, \dots, m$
- $\sum_{i=0}^n d_i (\sum_{j=0}^n x_{ij}^k) \leq \text{cap}_k, \quad k = 1, \dots, m$

La fonction objectif

Maximiser

$$\sum_{i=1}^n (pv - \text{prix}) * \text{quantité_vendue}_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ct_{ij} * \text{vol}_{ij} - \sum_{i=1}^n cs * Qs_i - \sum_{i=1}^n cr * Qr_i$$

Variables de décision

vol_{ij} = la quantité transférée de la ville i vers la ville j

➤ **Les contraintes de problème**

- $demandeP_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n vol_{ji} - Qs_i + Qr_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n vol_{ij} \leq Demande_reele_i \quad \forall i$
- $vol_{ij} \leq cap_k \quad \forall i, \forall j$
- $Q_stock_i = demandeP_i - demande_reele_i \quad \forall i$
- $Q_stock_i = \max(0, demandeP_i - demande_reele_i)$
- $Q_rupture_i = demande_reele_i - demandeP_i \quad \forall i$
- $Q_rupture_i = \max(0, demande_reele_i - demandeP_i)$
- $quantité_vendue_i + Qr_i = demande_reele_i \quad \forall i$

2.4. Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons présenté le système étudié (l'entreprise LIT-MAG) et plus particulièrement son réseau de distribution, ensuite on a défini notre problématique qui traite le problème de tournée de véhicule combiné avec gestion des stocks chez les vendeurs.

La particularité de notre problème est celui de la gestion des stocks entre les clients pour que chaque client ne tombe en rupture ou en sur-stockage.

Le chapitre suivant sera dédié à la présentation de l'outil de modélisation LINGO, dans une seconde partie nous allons présenter les différents résultats obtenus.

Chapitre 3

**Evaluation du problème tournée de véhicule dans
un réseau de distribution**

Chapitre 3 : Evaluation du problème tournée de véhicule dans un réseau de distribution

3.1	Introduction	46
3.2	Qu'est-ce que LINGO ?	46
3.2.1.	Les éléments d'un modèle LINGO	46
3.2.2.	Traduction des notations mathématiques en une syntaxe LINGO	48
3.3	Résultats obtenues	49
3.3.1.	Donnés du système étudié	49
3.3.1.1.	La demande	49
3.3.1.2.	La distance	50
3.3.1.3.	La flotte de véhicule	51
3.3.1.4.	Les coûts de transport	51
3.3.1.5.	Le coût de stockage et de rupture	52
3.3.2.	L'implémentation de notre algorithme	53
3.3.2.1.	Construction des tournées des véhicules	53
3.3.2.2.	Echanges des produits entre les centres de distribution	55
3.3.3.	Résultats	56
3.3.3.1.	Variation du coût de stockage	56
3.3.3.2.	Variation du coût de rupture	57
3.3.3.3.	Variation de la demande réelle	58
3.4	Conclusion.....	61

3.1. Introduction

Ce chapitre sera divisé en deux parties, la première partie est consacré à une description générale du logiciel LINGO que nous allons utiliser pour la résolution de notre problématique. Ce logiciel est utilisé pour modéliser les problèmes d'optimisation.

La deuxième partie concerne la collecte des données nécessaire à l'implémentation de notre algorithme en précisant la demande, les différentes distances entre les centres de distribution, la capacité des véhicules, les coûts de transport, le coût de stockage et le coût de rupture. Ensuite nous allons présenter une analyse des données et une présentation des différents résultats de simulation que nous avons réalisé par la modélisation sous LINGO.

3.2. Qu'est-ce que LINGO ?

LINGO est un outil complet conçu pour formuler rapidement, facilement et efficacement les problèmes d'optimisation de modèles linéaires et non linéaires. Il dispose d'un environnement complet d'un langage puissant et d'un large panel de commande pour construire et éditer les modèles.



Ce moyen d'optimisation permet de trouver le meilleur résultat, par exemple le meilleur profit, le coût le plus faible ...etc, tout en présentant les valeurs des différents paramètres pour obtenir ces solutions. Ceci peut être illustré à travers une interface flexible qui offre aux développeurs une variété de façon d'interagir avec lui pendant le développement et le déploiement de leurs applications.

LINGO permet aussi de gagner du temps en gérant les données de manière optimale (BELKAID.F).

3.2.1 Les éléments d'un modèle LINGO

Un modèle LINGO est composé de quatre éléments essentiels qui sont les suivants :

- **Les variables :** une variable représente une valeur qui varie durant l'évolution de l'algorithme. Les variables peuvent être divisées en deux grandes catégories qui sont :
 - Les variables générales
 - Les variables binaires
- **Les contraintes :** ce sont des formules qui définissent les limites sur les valeurs des variables.
- **Les commentaires :** dans le modèle sont engagés avec un point d'exclamation (!) et apparaissent en vert (figure 3.1).

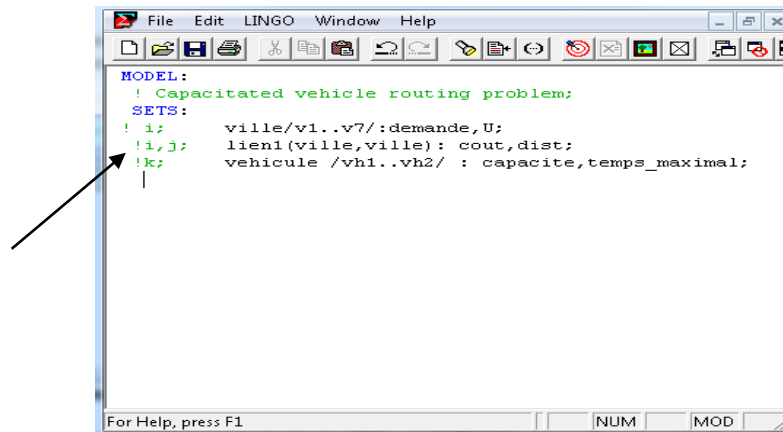


Figure 3.1 : Espace de programmation

- **La fonction objectif :** est une formule unique qui décrit exactement ce que le modèle devrait optimiser. Cette fonction peut exprimer un profit que nous souhaitons maximiser ou un coût que nous voulons minimiser.

La figure 3.2 ci-dessous représente les différents résultats obtenue lorsqu'on exécute le programme

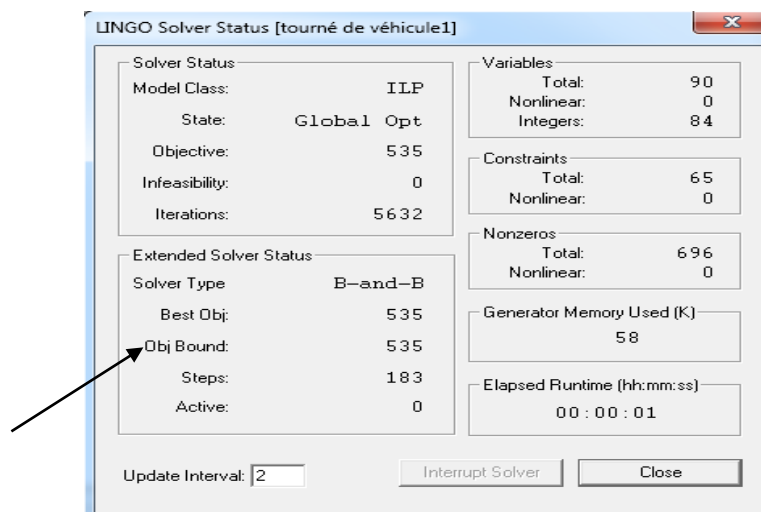


Figure 3.2 : Fenêtre représente une boîte d'état

Cette fenêtre contient des informations sur le nombre des variables non-linéaire, nombre entier, et les variables totales du modèle, le nombre total de non-linéaire et les contraintes utilisées dans le modèle. Cette fenêtre détaille le classement du modèle (LP , QP , ILP , IQP , PNL , etc.) , l'état de la solution actuelle (locale optimal ou global optimal, faisable ou non , etc.), la valeur de la fonction objective , l'infeasibilité du modèle, et le nombre d'itérations nécessaire pour résoudre le modèle .

La fermeture de la fenêtre précédente (Figure 3.2) nous affiche la fenêtre de rapport de la solution (figure 3.3). Dans cette fenêtre on trouve les valeurs de chacune des variables qui vont produire la valeur optimale de la fonction objectif (BELKAID.F).

Variable	Value	Reduced Cost
DEMANDE (V1)	0.000000	0.000000
DEMANDE (V2)	52.000000	0.000000
DEMANDE (V3)	57.000000	0.000000
DEMANDE (V4)	46.000000	0.000000
DEMANDE (V5)	42.000000	0.000000
DEMANDE (V6)	50.000000	0.000000
DEMANDE (V7)	46.000000	0.000000
U (V1)	0.000000	0.000000
U (V2)	0.000000	0.000000
U (V3)	4.000000	0.000000
U (V4)	5.000000	0.000000
U (V5)	5.000000	0.000000
U (V6)	0.000000	0.000000
U (V7)	3.000000	0.000000
COUT (V1, V1)	0.000000	0.000000
COUT (V1, V2)	5.000000	0.000000
COUT (V1, V3)	100.0000	0.000000
COUT (V1, V4)	100.0000	0.000000
COUT (V1, V5)	30.000000	0.000000
COUT (V1, V6)	150.0000	0.000000
COUT (V1, V7)	200.0000	0.000000
COUT (V2, V1)	5.000000	0.000000
COUT (V2, V2)	0.000000	0.000000
COUT (V2, V3)	100.0000	0.000000
COUT (V2, V4)	100.0000	0.000000
COUT (V2, V5)	30.000000	0.000000
COUT (V2, V6)	150.0000	0.000000
COUT (V2, V7)	200.0000	0.000000
COUT (V3, V1)	100.0000	0.000000
COUT (V3, V2)	100.0000	0.000000
COUT (V3, V3)	0.000000	0.000000
COUT (V3, V4)	10.000000	0.000000
COUT (V3, V5)	80.000000	0.000000

Figure 3.3 : Rapport des solutions

3.2.2 Traduction des notations mathématiques en une syntaxe LINGO

Afin de pouvoir proposer un modèle sur LINGO, nous devons savoir que ce signifie certain notation.

Le tableau 3.1 suivant traduit la notation mathématique à la syntaxe de LINGO

Notation mathématique	Syntaxe LINGO
Minimiser	Min=
Maximiser	Max=
Cout	Cout(i)
$\sum_j a_j$	@sum (a(j))
$\forall_j a_j$	@for (a(j))

Tableau 3.1. Notation mathématique

➤ Les variables utilisées

Il existe plusieurs variable sur Lingo les plus utilisée sont les suivants :

@GIN : permet de limiter la variable à une valeur entière

@BIN : a pour objectif a de transformer la variable à une variable binaire.

@FREE : permet à une variable de prendre une valeur réelle, positive ou négative.

@BND : permet de définir les bornes supérieure et inférieur spécifique à une variable.

Les syntaxes de différentes fonctions se présentent de la manière suivante :

- La syntaxe de la variable @GIN est : @GIN (nom de la variable)
- La syntaxe de la variable @BIN est : @BIN (nom de la variable)
- La syntaxe de la variable @FREE est : @FREE (nom de la variable)
- La syntaxe de la variable @BIN est : @BND (borne inf, nom de la variable, borne sup)

Nous allons utiliser LINGO pour résoudre notre problème et ceci pour plusieurs raisons :

- D'une part LINGO permet de traiter de milliers de variables et de contraintes en un temps rapide donc utilisable même si la taille du problème est grande
- D'autre part LINGO est un outil plus simple à utiliser par rapport à d'autres logiciels et dispose de plusieurs fonctionnalités (BELKAID.F).

3.3. Résultats obtenues

Avant de présenter les résultats obtenus nous allons définir dans un premier temps le paramétrage utilisé et fourni par l'entreprise.

3.3.1. Données du système étudié

3.3.1.1. La demande

D'après les informations concernant l'entreprise et son mode de fonctionnement, nous avons remarqué que chaque centre de distribution possède une demande stochastique c'est-à-dire qu'elle n'est pas connue au départ mais deviennent connue avec certitude au cours de l'horizon.

Pour répondre à cette demande aléatoire l'entreprise approvisionne ces centres selon une loi de consommation moyenne inspirer de son historique notée dans notre programme par *demandeP* (donné dans le tableau 3.2). Cela dit comme a été présenté dans le chapitre 2 la demande réelle est aléatoire notée dans notre programme *demande_reelle*

Nous avons représenté cette demande réelle par une loi normale représentée par une moyenne et un écart type.

	Unité de production	Entrepôt Tlemcen	Entrepôt Oran	Entrepôt Blida	Entrepôt Alger1	Entrepôt Alger2	Entrepôt Annaba
Demande P(i)	0	52	42	50	57	46	46

Tableau 3.2 : Les demandes approvisionnées par l'entreprise à chaque centre de distribution

L'horizon d'approvisionnement est supposé commun à tous les centres. Au début de cet horizon, chaque centre passe une commande à l'entrepôt central. On suppose que cette commande sera la seule passée sur tout l'horizon. La figure 3.4 représente la distribution de la demande moyenne.

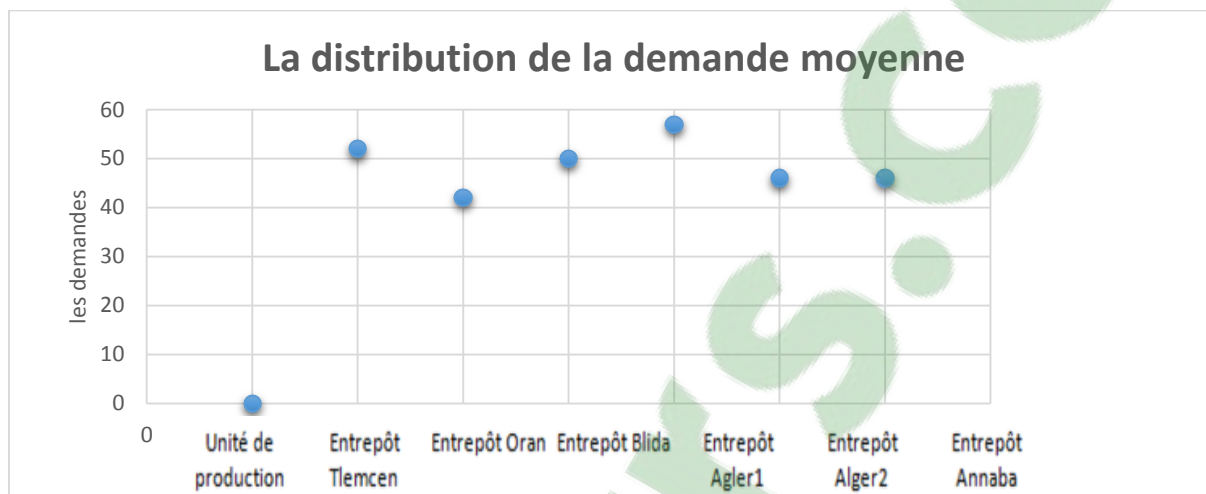


Figure 3.4 : Distribution journalière de la demande moyenne par ville

3.3.1.2 La distance

L'entrepôt central dessert un ensemble des clients distincts (entrepôt Tlemcen, entrepôt Oran, entrepôt Blida, entrepôt Agler1, entrepôt Ager2, et entrepôt Annaba) séparées les uns des autres par une distance d_{ij} ou la distance entre la ville i vers la ville j est symétrique c'est-à-dire $d_{ij} = d_{ji}$

Le tableau 3.3 suivant représente les différentes distances entre les centres de distribution :

Distance (Km)	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
d_1	0	10	200	500	550	550	1073
d_2	10	0	200	500	550	550	1073
d_3	200	200	0	400	450	450	950
d_4	500	500	400	0	30	30	550
d_5	550	550	450	30	0	10	550
d_6	550	550	450	30	10	0	550
d_7	1073	1073	950	550	550	550	0

Tableau 3.3 : distances entre les centres de distribution

Avec:

- d_1 : unité de production Tlemcen
- d_2 : entrepôt Tlemcen
- d_3 : entrepôt Oran
- d_4 : entrepôt Blida
- d_5 : entrepôt Alger 1
- d_6 : entrepôt Alger 2
- d_7 : entrepôt Annaba

3.3.1.3 La flotte de véhicule

Dans notre étude nous utilisons deux véhicules identiques avec :

- Une capacité de : 200 pièce (matelas).

Nous avons utilisé un paramètre T_{max} : un temps maximal estimé à 2000 unité de temps (minute)

- t_{ij}^k un temps de voyage du centre i vers centre j qui est déterminé à partir de la distance entre les différents centres de distribution (tableau 3.4).

Temps (min)	t_1^k	t_2^k	t_3^k	t_4^k	t_5^k	t_6^k	t_7^k
t_1^k	0	10	127	330	340	321	644
t_2^k	10	0	127	340	350	331	654
t_3^k	127	127	0	246	246	236	560
t_4^k	330	340	246	0	10	17	326
t_5^k	340	350	246	10	0	27	336
t_6^k	321	331	236	17	27	0	328
t_7^k	644	654	560	326	336	328	0

Tableau 3.4. Le temps de voyages t_{ij}^k

- t_i^k un temps de chargement et déchargement identique pour chaque centre i , il est évalué approximativement à : 30 minutes.

3.3.1.4 Les coûts de transport

A chaque transite de la ville i vers la ville j le transport utilisé est défini par deux coûts concaténés le premier représente le coût unitaire de transport cu qui dépend de la distance parcourue et de la quantité transportée telle qu'il est donné dans le tableau 3.5, le deuxième

coût représente un coût fixe cf relative aux frais de déplacement d'une visite de la ville i vers la ville j telle qu'il est donné dans le tableau 3.6.

Le coût unitaire (DA)	cu_1	cu_2	cu_3	cu_4	cu_5	cu_6	cu_7
cu_1	0	0.35	10.5	31.5	35	35	70
cu_2	0.35	0	10.5	31.5	35	35	70
cu_3	10.5	10.5	0	21	24.5	24.5	59.5
cu_4	31.5	31.5	21	0	3.5	3.5	38.5
cu_5	35	35	24.5	3.5	0	1	35
cu_6	35	35	24.5	3.5	1	0	35
cu_7	70	70	59.5	38.5	35	35	0

Tableau 3.5. Le coût unitaire cu

Le coût fixe (DA)	cf_1	cf_2	cf_3	cf_4	cf_5	cf_6
cf_1	0	1500	4500	5000	5000	10000
cf_2	1500	0	3000	800	800	8500
cf_3	4500	3000	0	3500	3500	5500
cf_4	5000	800	3500	0	3000	5000
cf_5	5000	800	3500	100	0	5000
cf_6	10000	8500	5500	5000	5000	0

Tableau 3.6. Le coût fixe cf

Le tableau 3.7 suivant représente le coût de transport relatif au volume transféré de la ville i vers la ville j , il dépend de la distance parcouru.

Le coût de transport (DA)	ct_1	ct_2	ct_3	ct_4	ct_5	ct_6
ct_1	0	30	150	100	100	200
ct_2	30	0	120	80	80	170
ct_3	150	120	0	90	90	100
ct_4	100	80	90	0	10	110
ct_5	100	80	90	10	0	110
ct_6	200	170	100	110	110	0

Tableau 3.7. Le coût de transport ct

3.3.1.5 Le coût de stockage et le coût de rupture

Les statistiques établies par l'entreprise estiment un coût de stockage $cs = 50$ DA pour un produit stocké et un coût de rupture $cr = 500$ DA pour une demande non satisfaite.

3.3.2. L'implémentation de notre algorithme

Dans cette partie nous avons structuré notre problématique en deux phases différentes, dans la première nous avons modélisé l'approvisionnement des centres par un modèle de tournée de véhicule dans le but de trouver le meilleur routage. Une fois les livraisons effectuées un sous-routage démarre dans le but de satisfaire la demande d'un centre par un stock résiduel d'un autre centre.

3.3.2.1 Construction des tournées de véhicules

Dans cette partie nous avons déterminé l'ordre de visite des différents centres de distribution en fonction des demandes approvisionnées par l'entreprise, donc au départ les échanges entre les centres ne sont pas pris en considération.

Nous avons affecté des commandes clients à des véhicules et construire la tournée de chaque véhicule en satisfaisant certaines contraintes et en optimisant notre objectif comme a été précisés dans le chapitre 2

Minimiser $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m demande P_i * Cu_{ij} x_{ij}^k + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Cf_{ij} * x_{ij}^k$

Tous on déterminant la variable de décision x_{ij}^k

Avec :

- $\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1$ $j = 0, \dots, n$
- $\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1$ $i = 0, \dots, n$
- $\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0$, $k = 1, \dots, m; p = 1, \dots, n$
- $\sum_{i=0}^n t_i^k \sum_{j=0}^n x_{ij}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^k x_{ij}^k \leq T_k$, $k = 1, \dots, m$
- $\sum_{i=0}^n d_i \sum_{j=0}^n x_{ij}^k \leq cap_k$ $k = 1, \dots, m$

L'algorithme a été développé et implémenter sous le logiciel de programmation LINGO et les résultats obtenus sont représentés dans la figure 3.5 et la figure 3.8.

Nous avons considéré quel que soit le circuit effectué par le véhicule le point de démarrage et la destination finale se trouve dans le même point qui est l'unité de production.

Les résultats obtenus des différents routages sont montrés dans la figure 3.8

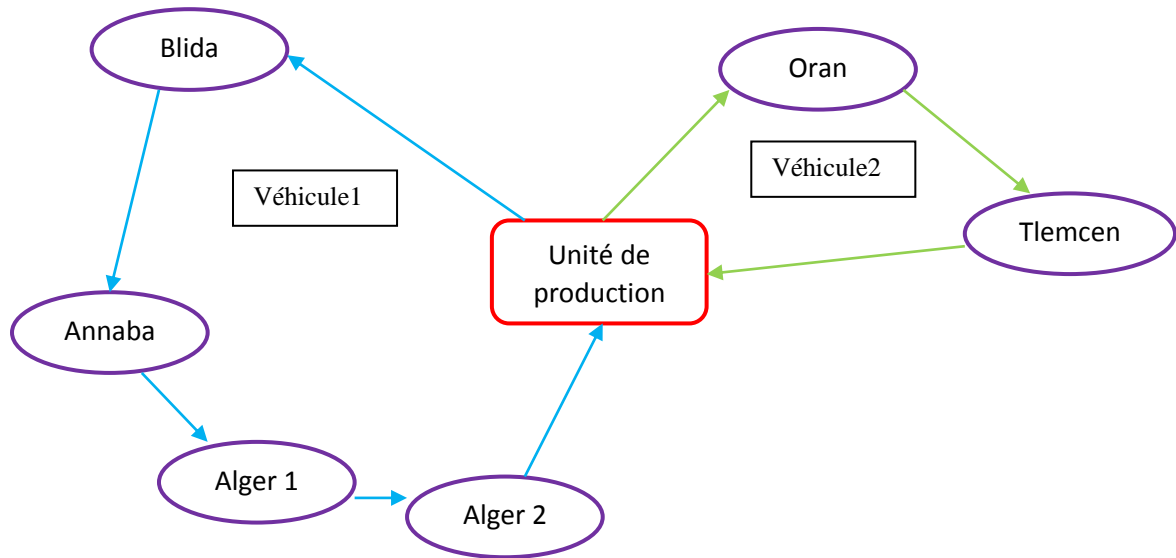


Figure 3.5 : Présentation des tournées construites par LINGO

D'après la Figure 3.5 nous constatons que le système effectue deux tournées en utilisant deux véhicules identiques.

Pour le véhicule 1 : la livraison commence et se termine à l'entrepôt central et la tournée construite est représenté par la figure 3.6

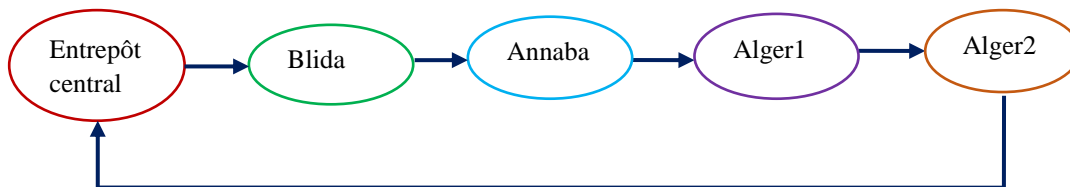


Figure 3.6 : la première tournée de véhicule 1

Pour le véhicule 2 : la tournée commence de l'entrepôt central passant par le Dépôt d'Oran ensuite par le Dépôt de Tlemcen et en revenant au point de départ (figure 3.7).

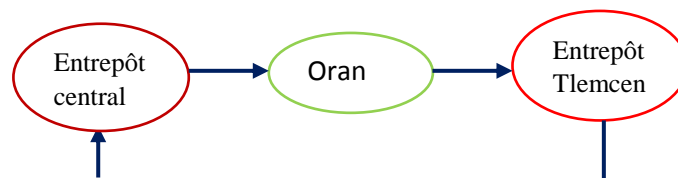


Figure 3.7 : la deuxième tournée du véhicule 2

Le graphe suivant (figure 3.8) montre les deux tournées déterminées par LINGO en fonction de la demande approvisionnées

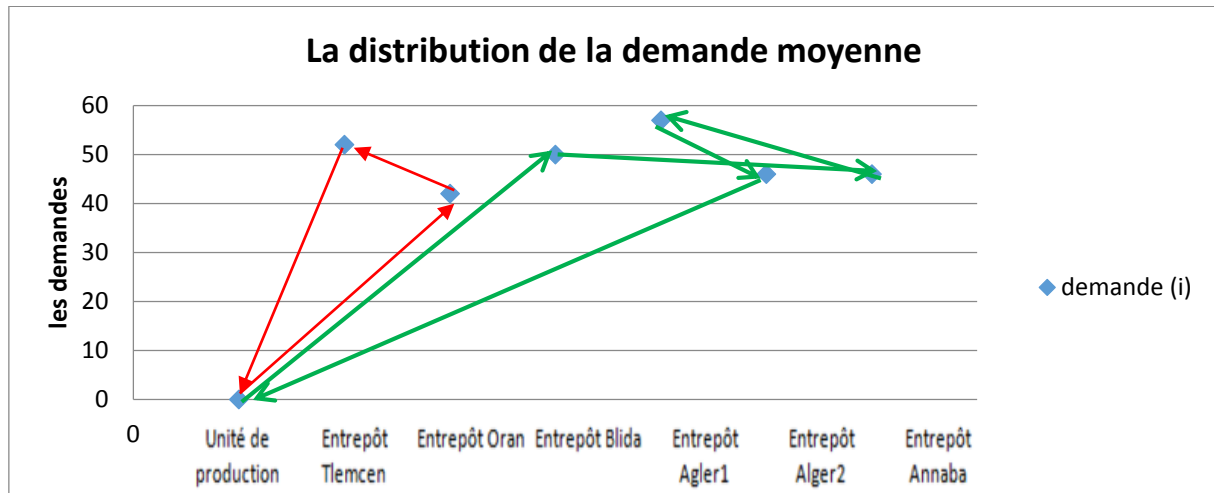


Figure 3.8 : Présentation des tournées en fonction de la demande

Le résultat d'optimisation nous donne un coût de transport total des deux tournées égal à

28811.20 DA.

Avant d'effectuer la deuxième partie du problème nous avons calculé le profit total de réalisation des deux tournées.

La formule suivante permet de calculer le profit total.

$$\sum_{i=1}^n pv * Qv_i - \sum_{i=1}^n prix * demandeP_i - \sum_{i=1}^n cs * Q_stock_i - \sum_{i=1}^n cr * Q_rupture_i$$

Avec :

$$Qv_i = demande_reelle_i - Q_rupture_i$$

3.3.2.2 Echanges des produits entre les centres de distribution

La seconde procédure lorsque la demande de chaque centre de distribution est connue donc un échange des produits peut être réalisé entre les vendeurs selon les besoins

Le problème à résoudre est alors maximiser le profit c'est-à-dire minimiser les différents charges du transport et du stockage.

La fonction de profit à maximiser est donnée par la formule suivante comme a été présenté dans le chapitre2

Maximiser :

$$\sum_{i=1}^n (pv - prix) * quantité_vendue_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ct_{ij} * vol_{ji} - \sum_{i=1}^n cs * Qs_i - \sum_{i=1}^n cr * Qr_i$$

Pour pouvoir diminuer le sur-stockage ou/et la rupture de stock nous avons proposées deux structures dans le premier modèle nous avons autorisé les échanges des produits entre les centres et le deuxième est un modèle sans échanges.

Pour les deux configurations proposées nous déterminons le profit global de chaque structure suivis par trois expérimentations, pour la première nous avons effectué une variation du coût de stockage, pour la deuxième nous avons effectué une variation du coût de rupture et enfin pour affiner nous avons variées plusieurs demandes.

3.3.3 Résultats

3.3.3.1 Variation du coût de stockage

Nous avons varié le coût de stockage cs pour les différentes valeurs de 50 jusqu'a 5000 pour les deux structures proposées : configuration avec échanges et configuration sans échanges nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau 3.8 et on les représente dans la figure 3.9.

Coût de stockage cs (DA)	50	80	100	300	900	1000
profit sans échanges	317400	315840	314800	304400	273200	268000
Profit avec échanges	559530	559290	559130	557530	552730	551930
Coût de stockage cs (DA)	1200	1500	2000	2500	3000	5000
profit sans échanges	257600	242000	216000	190000	164000	60000
Profit avec échanges	550330	547930	543930	539930	535930	479930

Tableau 3.8 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage

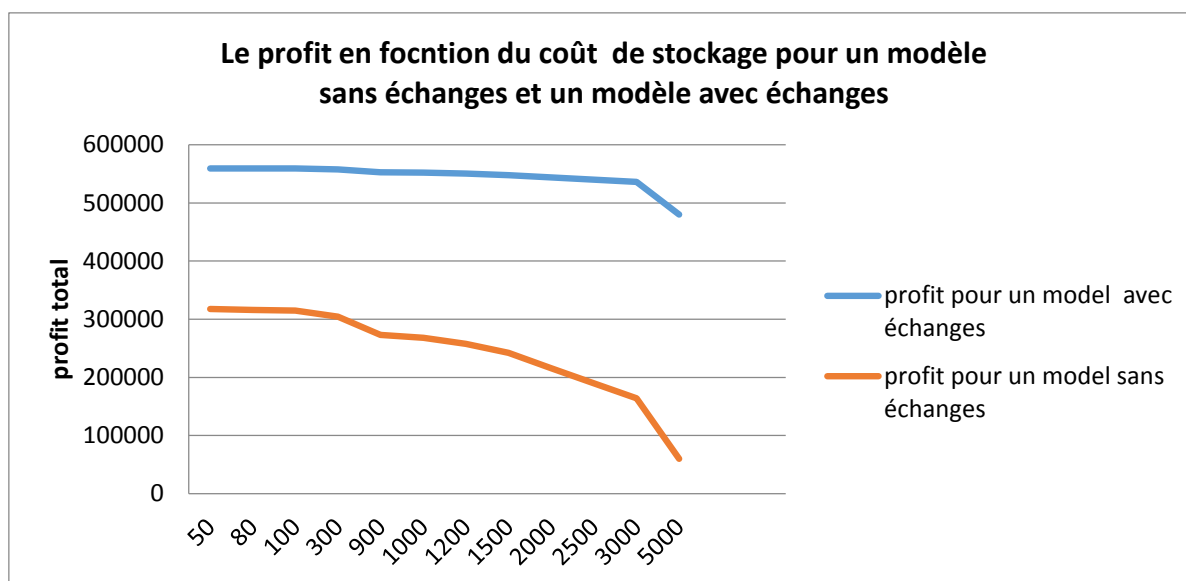


Figure 3.9 : Le profit total en fonction du coût de stockage

Nous remarquons que le profit total pour un modèle sans échanges est inférieur au profit total avec échanges et les deux profits diminuent on augmentant le coût de stockage.

Et l'écart entre les deux procédures est plus au moins stable autour d'une certaine valeur ($cs = 300DA$). Au-delà de cette valeur on remarque que pour un modèle sans échanges le profit total chute rapidement par rapport au profit du modèle avec échanges, cela peut être expliqué par l'existence des échanges qui peuvent absorber les coûts de stockage.

3.3.3.2 Variation du coût de rupture

Nous allons varier le coût de rupture pour les différentes valeurs de 5 jusqu'a 5000 pour les deux structures proposées le modèle sans échanges et le modèle avec échanges, les résultats obtenus sont montrés dans le tableau 3.9 et représenté par la figure 3.10.

Coût de rupture cr (DA)	5	10	80	100	400	800
Profit total avec échange	363540	363280	359640	358600	343000	322200
Profit total Sans échange	583890	583850	583290	583130	580730	577530
Coût de rupture cr (DA)	1000	1200	1500	2500	3000	5000
Profit total avec échange	311800	301400	285800	233800	207800	103800
Profit total Sans échange	575930	574330	571930	563930	559930	543930

Tableau 3.9 : Profit total en fonction du coût de rupture pour un modèle sans échanges et avec échanges

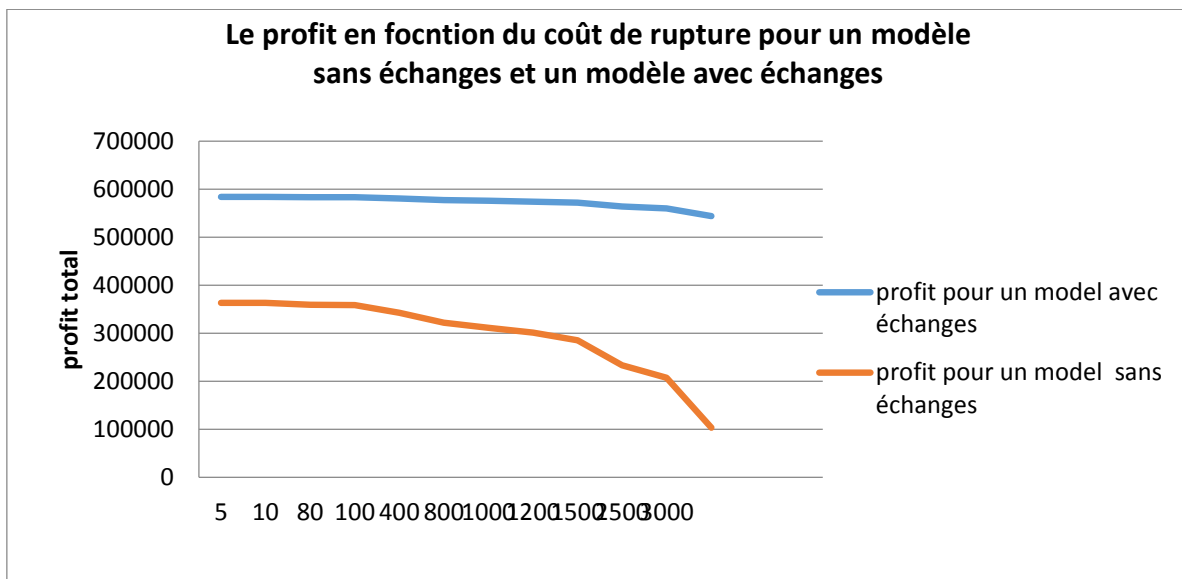


Figure 3.10 : Le profit total en fonction du coût de rupture pour un modèle sans échanges et un modèle avec échanges

D'après la figure 3.10 on remarque aussi que, le profit total pour un modèle sans échanges est inférieur au profit total pour un modèle avec échanges.

Nous remarquons aussi que les deux courbes évolues d'une manière parallèle jusqu'à arriver à une valeur de $cr = 1200DA$, au-delà de cette valeur l'écart entre les deux courbes augmente.

Pour un modèle sans échanges, le profit total chute rapidement par rapport à un modèle avec échanges, cela peut être expliqué que la rupture est plus importante vue qu'il ne peut pas s'approvisionner d'avantage.

3.3.3.3 Variation de la demande réelle

Nous avons effectué une variation de la demande réelle pour chaque centre de distribution, pour la même valeur du coût de stockage ($cs=50$) et de coût de rupture ($cr=500$).

Les différentes valeurs de la demande réelle sont représentées dans le tableau 3.10

	Entrepôt Tlemcen	Entrepôt Oran	Entrepôt Blida	Entrepôt Alger1	Entrepôt Alger2	Entrepôt Annaba
DR1	64	72	55	34	55	43
DR2	49	58	35	41	55	50
DR3	39	66	46	50	49	48
DR4	47	56	33	31	57	48
DR5	44	38	43	52	59	54
DR6	40	43	46	51	64	40

Tableau 3.10 : Variation de la demande réelle

Le tableau 3.11 suivant présent le profit total pour un modèle sans échanges et un modèle avec échanges, ces résultats ont été obtenus par la variation des demandes réelles.

	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	Moyenne
Profit pour un modèle sans échanges (DA)	547000	568200	483000	603100	590350	500800	548741,667
Profit pour un modèle avec échanges (DA)	630820	647430	565980	654100	654620	577040	621665

Tableau 3.11 : Profit total en fonction de la variation des demandes

D'après les résultats obtenus par le tableau 3.11 nous avons calculé le taux de profit sans échanges par rapport au profit avec échanges, on a remarqué une amélioration de 24% du profit total.

Le tableau 3.12 suivant présent les quantités en stock et en rupture avant et après les échanges pour chaque demande réelle.

	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6
Quantités en stock avant les échanges	26	34	24	48	24	28
Quantités en rupture avant les échanges	56	29	29	27	21	19
Quantités en stock après les échanges	0	5	0	21	3	9
Quantités en rupture après les échanges	30	0	5	0	0	0

Tableau 3.12 : les quantités en stock et en rupture en fonction de la variation des demandes réelles

La figure 3.11 et la figure 3.12 représentent les quantités en stock et en rupture pour les deux modèles sans échanges et avec échanges en fonction de la variation des demandes.

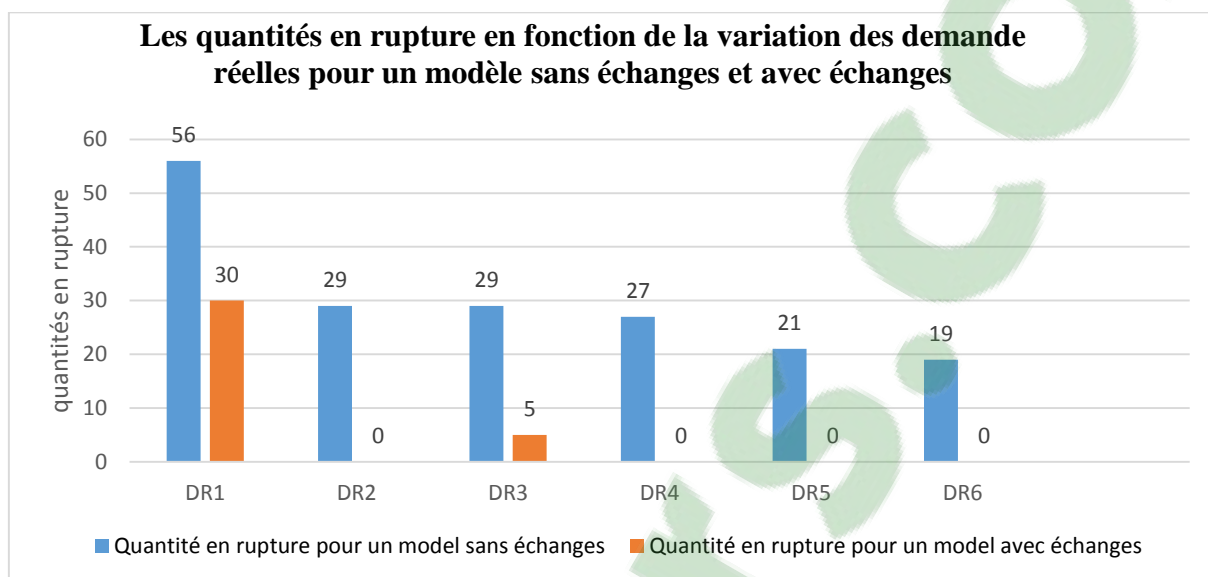


Figure 3.11 : Quantités en rupture en fonction de la variation des demandes réelles pour un modèle sans échanges et modèle avec échanges

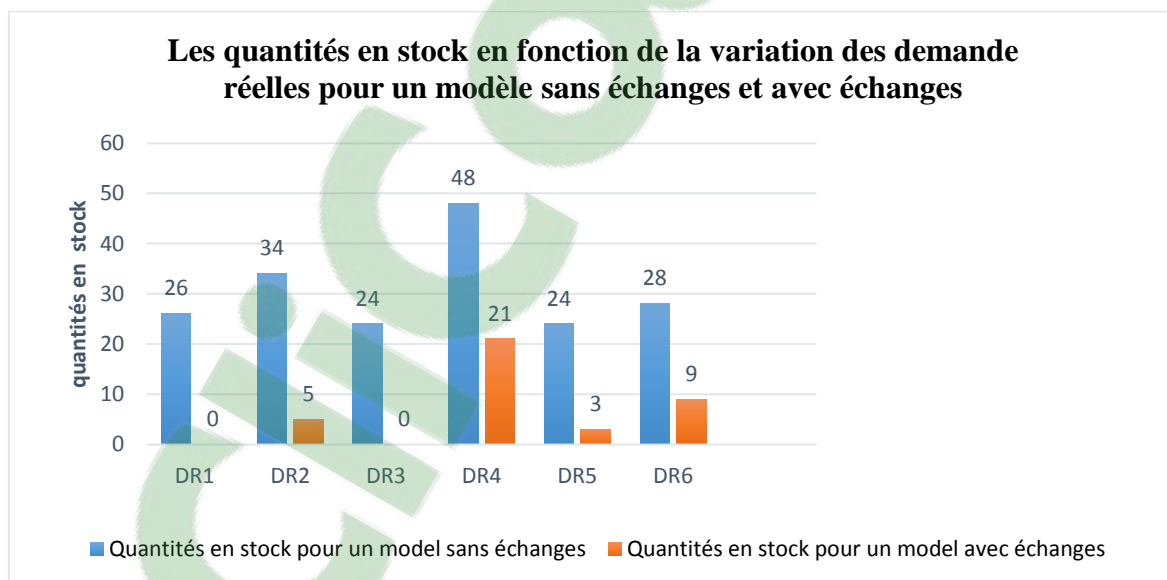


Figure 3.12 : Quantités en stock en fonction de la variation des demandes réelles pour un modèle sans échanges et modèle avec échanges

D'après le tableau 3.12, la figure 3.11 et la figure 3.12 on remarque une diminution importante des quantités en stock et en rupture pour un modèle avec échanges par rapport à un

modèle sans échanges. Donc on peut dire l'échange influe d'une manière positive sur les quantités de produit en stocks et en rupture puisqu'il permet de réduire les produits en stock pour un centre donné, d'autre part il assure le maximum de satisfaction de client pour un autre centre.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté dans un premier temps l'outil de modélisation LINGO, ensuite on a présenté les données du système étudié, et les implémenté sous LINGO puis nous avons discuté et analysé les résultats obtenus.

L'objectif principal de ce chapitre est d'effectuer des échanges entre les centres afin de satisfaire la demande au niveau de chaque centre pour maximiser le profit total.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire considère un réseau de distribution ou l'objectif principal été d'optimiser le profit global tout en minimisant les coûts de transport et de stockage.

Nous avons séparé notre problème en deux sections différentes, la première est relatif au problème d'optimisation des tournées de véhicules afin de satisfaire les demandes clients, la deuxième est liée à l'application de la gestion des stocks plus précisément nous avons autorisé les échanges entre les différents centres de distribution. La technique retenue a la possibilité d'utilisation des stocks locaux d'un centre par un autre dans le but de réduire les coûts de stockage et les coûts de ruptures

Dans ce contexte nous avons modélisé un support théorique inspiré du problème de tournée de véhicule associé à la gestion des stocks et modélisé sous le logiciel LINGO qui nous a permis d'évaluer les résultats.

Les résultats numériques que nous avons obtenus nous ont permis d'évaluer l'efficacité de l'algorithme proposé et nous indique que la configuration où l'échange entre centres est autorisé est nettement plus avantageuse pour le réseau global qu'une configuration qui se limite juste au problème de tournée de véhicule (sans échanges).

Perspectives :

Dans ce travail nous avons considéré principalement un réseau de distribution mono-produit et qui utilise le même type de véhicule.

Notre perspective est de proposer :

- l'étude de réseau avec variation des produits
- L'étude de réseau avec la variation de la capacité de moyens de transport.

Références bibliographiques

ALEGRE, J., LAGUNA, M. et PACHECO, J. 2007. Optimizing the periodic pick-up of raw materials for a manufacturer of auto parts. *European Journal of Operational Research*, 179, pp.736-746.

ANDERSSON, H., HOFF, A., CHRISTIANSEN, M., HASLE, G. ET LØKKETANGEN, A. 2010. Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37, pp.1515-1536.

BAITA, F., UKOVICH, W., PESENTI, R. et FAVARETTO, D. 1998. Dynamic routing-and inventory problems: a review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32, pp.585-598.

BELKAID.F

Campbell, A., Savelsberg, M., Clarke, L, and Kleywegt, A., 1998. *The Inventory Routing Problem. Fleet Management and Logistics*. Kluwer Academic Publishers, p.95-112.

Cesar Rego et Catrine Roucairol, Le Problème de Tournées de Véhicules : étude et résolution approchée. INRIA, février 1994.

CHANG, N. et WEI, Y. 1999. Strategic planning of recycling drop-off stations and collection network by multiobjective programming. *Environmental management*, 24, pp.247-263.

CORNILLIER, F., LAPORTE, G., BOCTOR, F. F. et RENAUD, J. 2009. The petrol station replenishment problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 36, pp.919-935.

DANTZIG, G., FULKERSON, R. et JOHNSON, S. 1954. Solution of a large-scale traveling salesman problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2, pp.393-410.

DROR, M., BALL, M. et GOLDEN, B. 1985. A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem. *Annals of Operations Research*, 4, pp.3-23.

EL-FADEL, M. et KHOURY, R. 2001. Strategies for vehicle waste-oil management: a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 33, pp.75-91.

FEDERGRUEN, A. et SIMCHI-LEVI, D. 1995. Analysis of vehicle routing and inventory routing problems. *Handbooks in operations research and management science*, 8, pp.297-373.

FEDERGRUEN, A. et ZIPKIN, P. 1984. A combined vehicle routing and inventory allocation problem. *Operations Research*, 32, pp.1019-1037.

FISHER, M. L. et JAIKUMAR, R. 1978 *A decomposition algorithm for large-scale vehicle routing*, Dep. of Decision Sciences, Wharton School, Univ. of Pennsylvania.

Références bibliographiques

- FLOOD, M. M. 1956. The traveling-salesman problem. *Operations Research*, 4, pp.61-75.
- GAUR, V. et FISHER, M. L. 2004. A periodic inventory routing problem at a supermarket chain. *Operations Research*, 52, pp.813-822.
- GOLDEN, B., ASSAD, A. et DAHL, R. 1984. Analysis of a large-scale vehicle routing problem with an inventory component. *Large Scale Systems*, 7, pp.181-190.
- H. HOUSROUM « Une approche génétique pour la résolution du problème VRPTW dynamique ». Thèse de doctorat en informatique. Université d'Artois France. 2005
- Hamilton en 1859, Raksmei PHAN, Une stratégie hybride pour le problème de tournées de véhicules avec livraisons et collectes. Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'optimisation des systèmes, septembre 2009.
- Hu, T.Y., Liao, T.Y. and Lu, Y.C., 2003, Study of solution approach for dynamic vehicle routing problems with real time information, *Transportation Network Modeling, Transportation Research Record*, 1857, p.102–108.
- R. KAMMARTI : « Approches évolutionnistes pour la résolution du 1-pdptw statique et dynamique ». Thèse de doctorat en Automatique et informatique Industrielle LILLE 2006.
- REPOUSSIS, P. P., PARASKEVOPOULOS, D. C., ZOBOLAS, G., TARANTILIS, C. D. et IOANNOU, G. 2009. A web-based decision support system for waste lube oil collection and recycling. *European Journal of Operational Research*, 195, pp.676-700
- Richard COLIN. 2011. OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION DES CUEILLETES D'HUILES USAGÉES, COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE EN GENIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE.
- SMAILI Yamina. 2012, Optimisation des flux dans un système de distribution « Application à une entreprise », mémoire de Magister en Génie Industriel
- T. Benoist, F. Gardi, A. Jeanjean. Et B. Estellon. RECHERCHE LOCALE POUR UN PROBLEME D'OPTIMISATION DE TOURNEES DE VEHICULES AVEC GESTION DES STOCKS
- TRIQUI L. 2015. Gestion des stocks dans un réseau de distribution approvisionnement et échanges Doctorat en Génie Industriel option Productive ; décembre 2015.
- Ward, J., and Zhai, X., 2004. *Joint transportation and Inventory Problems in Supply Chains: A Review*. Working paper. Krannert school of Management, University of Chicago.

Références bibliographiques

Résumé

Dans ce mémoire nous allons étudier le réseau de distribution de LIT-MAG qui est composé d'un entrepôt central et plusieurs clients dispersés géographiquement sur un vaste territoire. Le but principal de ce travail est de déterminer dans un premier temps le meilleur routage qui permet de satisfaire les demandes clients tout en minimisant les coûts de transport, et dans un second temps nous allons effectuer des échanges entre les clients pour satisfaire les demandes d'un centre par un stock résiduel d'un autre pour optimiser conjointement les coûts de transport et de stockage.

Mot-clés : Problème de tournée de véhicule, Gestion de stock, Réseau de distribution.

Abstract

In this paper we'll study the distribution network LIT -MAG is composed of a central warehouse and several customers geographically dispersed over a wide area. The main goal of this work is determined initially the best routing that can satisfy customer demands while minimizing transportation costs, and in a second step, we will perform exchanges between clients to meet the demands of a center by a residual stock of another to jointly optimize the costs of transport and storage.

Key words: Inventory Routing Problem, inventory management, distribution network.