

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle



MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE
en vue de l'obtention du diplôme de Master en Recherche Opérationnelle
Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision
Thème

**Elaboration d'un programme de distribution de GPL/c.
au niveau de l'entreprise NAFTAL de Béjaia**



Présenté par :

✓ *M^r*. MERRAD Salem.

✓ *M^r*. KEBICHE Younes.

Devant le jury composé de :

Promoteur	<i>P^r</i> D. AISSANI	Professeur, U. A. Mira Béjaia.
Co-Promoteur	<i>M^r</i> N. KHIMOUM	M.A.A, U. A. Mira Béjaia.
Présidente	<i>M^{me}</i> O. LEKADIR	M.C.A, U. A. Mira Béjaia.
Examinatrice	<i>M^{elle}</i> K. BOUCHAMA	M.A.A, U. A. Mira Béjaia.
Examineur	<i>M^r</i> S. ZIANI	Doctorant, U. A. Mira Béjaia.
Invité	<i>M^r</i> H.CHEURFA	Naftal.

Béjaia, Septembre 2016

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné tout le courage et la santé pour achever ce travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur *M^r* AISSANI Djamil, pour nous avoir suivis durant notre travail, pour ces conseils précieux et la compétence de son encadrement.

Nous tenons à remercier notre co-promoteur *M^r* KHIMOUM Nourddine, pour nous avoir suivis durant notre travail, pour ces conseils précieux et la compétence de son encadrement.

Nous tenons aussi à remercier notre encadreur du stage *M^r* CHEURFA Halim pour avoir dirigé ce travail et dont les conseils nous ont été très précieux.

Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nous remercions aussi tout les enseignants du département Recherche Opérationnelle.

Nous tenons à remercier *M^r* MOUSSI Kamel et *M^r* Aieb Amir pour leurs aide précieuse.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis ;

A la mémoire de mes grand pères Selimane et Tahar et ma grande mère Djedja que Dieu les bénisses et les accueille dans son vaste paradis ;

A ma grande-mère Zinebe ;

A mon petit frère : Nassim ;

A mes très chères soeurs : Nassima et Salima ;

A toutes ma famille : cousins, cousines, tantes et oncles ;

A tout mes adorables ami(e)s ;

A toute la promotion recherche opérationnelle 2016 ;

A toutes personnes qui me connaissent ;

Salem.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père Achour qui a tout donné pour moi ;

A ma chère mère Ouardia qui a vouée sa vie pour me voir réussir ;

A la mémoire de mon grand père Salah et ma grande mère Ouardia que Dieu les bénisses et les accueille dans son vaste paradis ;

A mon grand père Ahmed et ma grande mère Fatma que Dieu les protèges ;

A mon petit frère : Mecipsa, Koussalia, Salah ;

A mes très chères soeurs : Thanina et Thiziri ;

A mes chères tantes ;

A toutes ma famille : cousins, cousines, tantes, oncles ;

A toute la promotion recherche opérationnelle 2016 ;

A mes adorables amis, et tous ceux qui me connaissent sans exception ;

Younes.

Table des matières

Introduction générale	1
1 Présentation de l'entreprise et position du problème	3
1.1 Historique de Naftal	3
1.2 Missions de NAFTAL	4
1.3 Présentation du District GPL de Bejaia	4
1.3.1 Définition du District GPL de Bejaia	4
1.3.2 Organisation du district GPL Bejaia	4
1.3.3 Structure du district GPL	5
1.3.4 Mission du district GPL	8
1.3.5 Objectif du district GPL	9
1.3.6 Processus d'approvisionnement	9
1.3.7 Produits du district GPL de Bejaia	11
1.3.8 Centre d'emplissage	12
1.4 Position du problème	15
1.5 Problématique abordée	15
1.5.1 Caractéristique du problème	16
1.5.2 Contraintes	17
1.5.3 Objectifs	17
2 Généralités sur le VRP	19
2.1 Définition du problème	19

2.2	Problèmes du voyageur de commerce et généralisations	20
2.3	Formulation mathématique	23
2.4	TSP symétrique et asymétrique	24
2.5	Généralisation du problème du voyageur de commerce	24
2.5.1	TSP avec cueillette et livraison	25
2.5.2	TSP avec retour à charge	25
2.5.3	Localisation de la demande sur les arcs	26
2.5.4	Autres généralisations du TSP	27
2.6	Problèmes de tournées de véhicules et généralisations	29
2.6.1	Problème de tournées de véhicules	30
2.6.2	Algorithme pour le VRP standard	33
2.6.3	Composition de la flotte	35
2.6.4	Fenêtres de temps	36
2.6.5	Multi-dépôts	38
2.7	Autres généralisations du problème de tournées de véhicules	39
2.7.1	Problème de tournées sur les arcs	39
2.7.2	VRP avec charges pleines	40
2.7.3	VRP avec retour à charge	41
2.7.4	VRP avec cueillette et livraison avec charges pleines	42
2.8	Applications pratiques des problèmes de tournées de véhicules	42
2.9	Méthodes de résolution	45
2.9.1	Algorithmes	45
2.9.2	Définitions	45
2.9.3	Méthodes exactes	46
2.9.4	Heuristiques	47
2.9.5	Les méta-heuristiques	48
2.9.6	Méthodes non déterministes	48
3	Modélisation mathématique	52
3.1	Notation	52
3.1.1	Paramètres	52

TABLE DES MATIÈRES

3.1.2	Variables de décision	53
3.2	Modèle mathématique	53
3.2.1	Fonctions objectif	53
3.2.2	Contraintes	54
3.3	Le modèle mathématique	55
3.4	Evaluation du modèle	56
3.4.1	Nombre de variables	56
3.4.2	Nombre de contraintes	56
4	Méthode de résolution, implémentation et résultats	57
4.1	L'approche de résolution du problème	58
4.1.1	L'heuristique proposée	58
4.2	Exemple d'application :	63
	Conclusion générale	68
	Bibliographie	69
	Annexes	71

Table des figures

1.1	L'organigramme du District GPL de Bejaia	5
1.2	L'enchaînement du processus d'approvisionnement au niveau du district GPL de Bejaia	11
1.3	Nature et capacité de stockage	13
1.4	Les axes de livraison du GPL/c	14
2.1	Classification des problèmes du voyageur de commerce et ses généralisations	22
2.2	Classification des problèmes de tournées de véhicules.	30
2.3	Les algorithmes de résolution. [10]	45
2.4	Schéma d'un algorithmes génétique.	50
4.1	Organigramme de l'heuristique	62
4.2	Demande enregistrée de la région R	63
4.3	Demande enregistrée De la région H	64
4.4	Livraison réel de la région R	65
4.5	Livraison réel de la région H	65
4.6	Livraison de la région R	66
4.7	Livraison de la région H	66

Introduction générale

La recherche opérationnelle est une discipline scientifique récente datant tout au plus de la deuxième guerre mondiale. En fait, c'est bien à son application aux opérations militaires qu'elle doit son nom.

Elle consiste en l'application des méthodes scientifiques pour résoudre les problèmes complexes rencontrés dans plusieurs domaines nécessitant une organisation. C'est pour cela que beaucoup d'entreprises s'intéressent à la recherche opérationnelle afin d'optimiser leurs productions et/ou leurs services.

Compte tenu des avantages (émissions réduites et bon rendement), le GPL/c " Sirghaz " est considéré comme étant une énergie " propre ", parce qu'il est moins polluant que ses concurrents. En voulant profiter du revenu total du grade GPL/c " Sirghaz " pour développer tous les secteurs économiques, NAFTAL ne se contenta plus de produire uniquement ce liquide. C'est ainsi alors, qu'est né le marketing pétrolier en prenant en charge de nouveaux secteurs tels que le transport et la distribution de la façon la plus rapide et la moins chère possible.

Le problème de base de transport est le problème de tournées de véhicules (Vehicle Routing Problem), probablement celui le plus étudié par plusieurs chercheurs, il traite le cas où chacun des clients (stations) a une demande déterminée et où la flotte est homogène.

Or, en parlant de la complexité du problème, on peut dire que ce problème est complexe,

compte tenu de nombreuses décisions qui doivent être prise en même temps, c'est à dire la satisfaction des clients dans des temps prédéfinis, le nombre de camions qui seront utilisés et l'organisation de la tournée de chacun d'eux à moindre coût. Il est question d'établir un programme optimal de gestion de cette opération.

Pour cela, le District GPL de Bejaia désire optimiser son schéma de distribution du GPL/c, en utilisant les techniques de la Recherche Opérationnelle, afin d'être en mesure de faire la planification de la distribution le mieux possible.

La distribution de ce dernier doit permettre la satisfaction des besoins des clients (stations). Les difficultés liées à cette activité proviennent en général de la vétusté des infrastructures de transports, de l'inexistence des plans et programmes de distribution et de la dispersion des consommateurs, pas seulement la dispersion géographique mais aussi la différence entre les quantités à fournir.

Nous présentons notre travail sous quatre chapitres :

Le 1^{er} chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise NAFTAL, branche GPL de Bejaia, et à cerner d'une manière précise la position de problème.

Dans le 2^{me} chapitre, on effectuera un aperçu sur les problèmes du voyageur de commerce et de tournées de véhicules ainsi que leurs méthodes de résolution.

Dans le 3^{me} chapitre, nous citons le modèle mathématique adéquat au problème de notre travail.

Dans le 4^{me} chapitre, nous proposons une heuristique qui permet d'élaborer un programme de distribution de GPL/c.

Et nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 1

*Présentation de l'entreprise et position
du problème*

1

Présentation de l'entreprise et position du problème

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise NAFTAL et sa mission. Puis, on se focalisera sur le district GPL de Bejaïa. Plus exactement sur le produit GPL/c.

1.1 Historique de Naftal

L'entreprise NAFTAL est issue de la restructuration de la SONATRACH. Elle a été créée par le décret ministériel N° 80 /101 du 06 avril 1981. A l'origine la commercialisation et la distribution des produits pétroliers est une activité de la direction du marché intérieur de la SONATRACH. Entrée en activité le 01 janvier 1982, l'ERDP (Entreprise de Raffinage et de Distribution des produits Pétroliers) a été chargée du raffinage des hydrocarbures, de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers sur le territoire national sous le sigle de NAFTAL. Suivant le décret N°87/89 du 27 août 1987, l'activité raffinage est séparée de l'activité distribution. La raison sociale de la société a changé, suite à cette séparation des activités, NAFTAL est désormais chargée de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers et dérivés. A partir du mois d'avril 1998, NAFTAL change le statut et devient société par actions filiale à 100% de la SONATRACH avec un capital de 6,65 millions de Dinars Algériens. A compter du 01/01/2003, le capital de NAFTAL est passé à

15,650 million de Dinars. Au début de l'année 2000, NAFTAL se divise principalement en deux districts [1] :

- District CLPB (Carburant, lubrifiant, pneumatique, Bitume)
- District GPL (Gaz propane, Gaz butane)

1.2 Missions de NAFTAL

NAFTAL a pour mission principal, la commercialisation et la distribution des produits pétroliers sur le territoire national. Elle intervient dans les domaines d'enfutage des GPL, formulation des bitumes, la distribution, le stockage et la commercialisation des carburants, de GPL, des lubrifiants, des bitumes, des pneumatiques, de GPL(Sirghaz), de butane et des produits spéciaux ainsi que dans le transport des produits pétroliers.

1.3 Présentation du District GPL de Bejaia

Dans cette partie, après une définition du district GPL, nous introduisons l'organigramme de district GPL de Bejaia, et nous donnerons les activités de ses différents services.

1.3.1 Définition du District GPL de Bejaia

La branche GPL de NAFTAL est subdivisée en plusieurs Districts GPL dont le district de Bejaia qui se situe à l'arrière port BP123. Cette position est stratégique du fait que le district a une façade vers le port, ce qui lui donne l'avantage de faciliter l'approvisionnement direct de la raffinerie vers le port par capotage. Elle est dirigée par un directeur placé sous l'autorité de la société NAFTAL pour pouvoir assurer la gestion de ses activités au sein de sa wilaya.

1.3.2 Organisation du district GPL Bejaia

Le district GPL est l'une des branches de la société NAFTAL. Il est dirigé par son directeur et dispose de six départements qui assurent la gestion de ses activités.

L'organigramme suivant représente les différents départements et services qui constituent le district GPL :

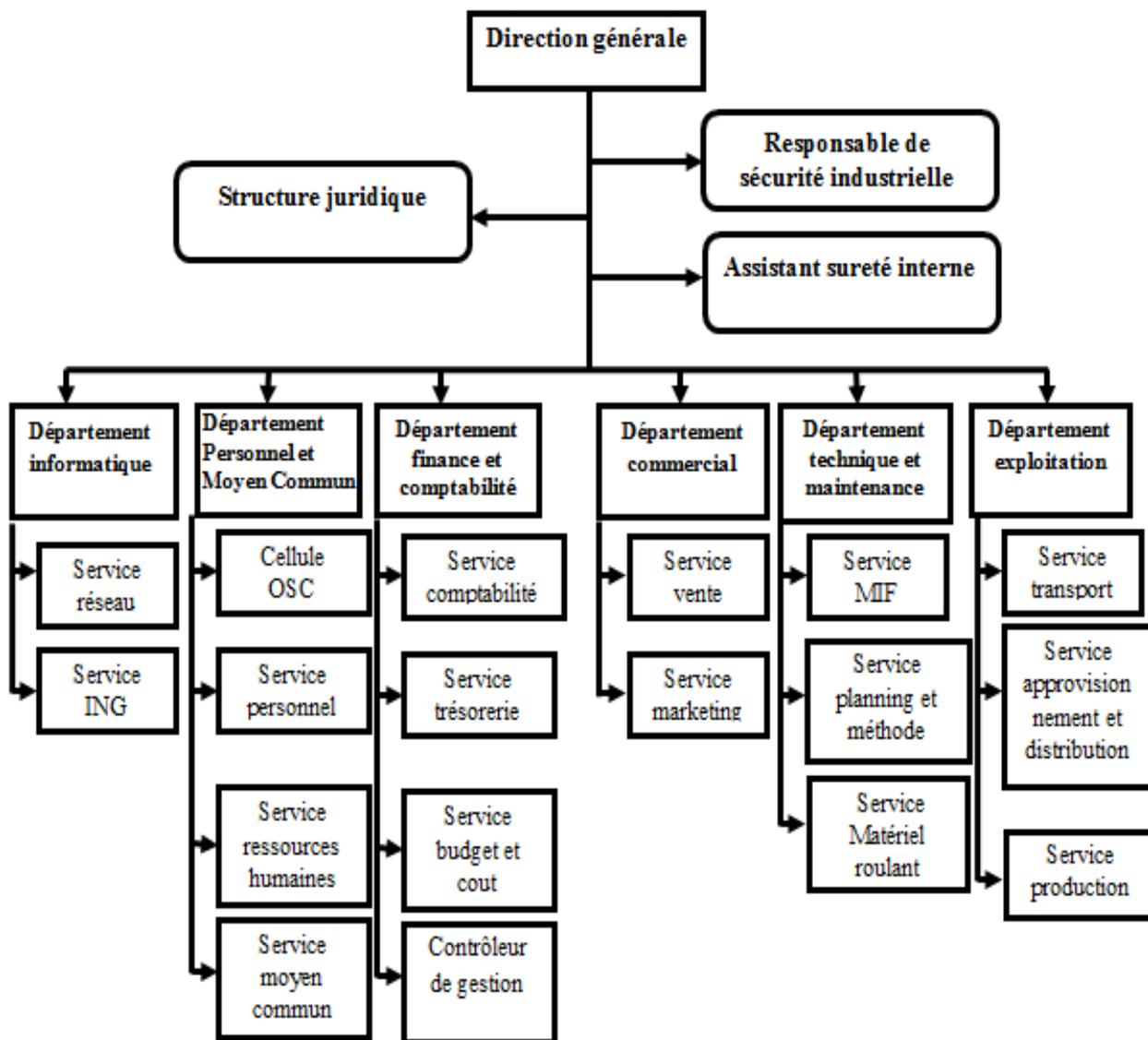


FIGURE 1.1 – L’organigramme du District GPL de Bejaia

1.3.3 Structure du district GPL

L’organisation interne du district GPL est structurée sur la base de 06 départements :

Département informatique

Il est constitué de deux services :

- **Service réseau**

Il a pour tâches : Maintenance matériel, logiciel (système, application) et administration des réseaux.

- **Service informatique de gestion(ING) :**
 - Suivi de la messagerie (envoi et réception)
 - Rapport de production (consolidation)
 - P.R.C (plan de relation en commun) suivi et établissement

Département du personnel et moyen communs

La mission essentielle du département personnel et moyen communs est la gestion du personnel, des moyens généraux et aussi du recrutement et de redéploiement. Il est constitué de quatre services :

1. Service ressources humaines :

Gère les emplois et élabore les plans de formation et de perfectionnement des travailleurs.

2. Service personnel :

S'occupe des dossiers administratifs du personnel du district (état civil, carrière, congé et action discipline).

3. Service moyens communs :

Établit les programmes d'achat de matière et fournitures de bureau, d'où le fait qu'il est défini comme étant un magasin de stockage de toutes les fournitures utilisées par le personnel du district GPL.

4. Service œuvres sociales et culturelles :

Il s'occupe des problèmes sociaux du personnel comme les primes de retraites (les malades, les veuves,...) ainsi le cote culturel et sportif à savoir la pratique du sport, les colonies de vacances, camps de toiles,etc....

Département finance et comptabilité

Ce département assure la gestion comptable et l'ensemble des opérations du district, il comporte quatre services qui sont :

— **Service de comptabilité :**

Il est chargé de faire le suivi des comptes et les analyses ainsi que l'élaboration des bilans annuels.

— **Le service trésorerie :**

Il suit et contrôle les flux, recettes, et les dépenses de trésorerie du district.

— **Le service budget et coût :**

Il est chargé de l'élaboration des budgets prévisionnels d'investissement et de la comptabilité analytique.

— **Contrôleur de gestion :**

Il a comme tâches et responsabilité :

- L'examen des activités des unités à auditer
- La participation en cas de besoin aux travaux d'inventaire
- L'exécution de toute autre tâche, relevant de ses compétences, pouvant lui être confiée par la hiérarchie.

Département commercial :

Il est subdivisé en deux services :

1. **Service vente :** qui est chargé de

- L'accueil de la clientèle par identification en constituant un dossier comportant toutes les informations nécessaires pour sa distinction
- La satisfaction de la demande de la clientèle
- L'évaluation des besoins en GPL de la zone d'influence.

2. **Service marketing :**

Il s'occupe de l'étude de marché et de l'environnement où le produit sera destiné à la commercialisation, afin de lui permettre l'écoulement et le mettre à la disposition des consommateurs.

Département technique et maintenance

Il est constitué de trois services :

1. **Services maintenance des installations fixes :**

Il est chargé de la gestion de toutes les installations fixes et fait suivre ces travaux de maintenance.

2. **Service planning et méthode :**

Ce service se charge de toutes réalisations au niveau de GPL. Mais aussi l'étude de la faisabilité concernant la maintenance au niveau des installations fixes et l'infrastructure existante au sein de district.

3. **Service maintenance de matériel roulant :**

Parmi ses activités :

- Le suivi de l'exécution des programmes de maintenance
- La veille à la bonne exploitation du matériel roulant .

Département exploitation Il est constitué de trois services :

1. Service transport :

Qui est chargé de

- Suivre les performances et des moyens de transport
- Diriger et programmer les moyens de transport (transport, ravitaillement vrac, transport ravitaillement conditionné, et transport livraison).
- Livrer les produits finis.

2. Service approvisionnement et distribution :

Qui est chargé de

- Suivre les approvisionnements des différents centres
- Veiller à la disponibilité du produit pour la clientèle qu'il soit conditionné en GPL ou en vrac
- Etablir un plan adéquat de distribution et d'approvisionnement, rependant aux exigences des marchés.

3. Service production :

Il s'occupe du conditionnement du gaz butane vrac en bouteilles de 13kg et ainsi que le conditionnement du P35 et P11.

1.3.4 Mission du district GPL

La zone GPL de Bejaia comprend géographiquement : Bejaia, Jijel, quelque commune de la wilaya de BOUIRA.

Parmi ses principales missions :

- L'approvisionnement, le stockage, le conditionnement, et la distribution du produit GPL pour la satisfaction des besoins de sa clientèle affectés à sa zone.
- Assurance de la gestion des activités et du patrimoine de l'entreprise qui lui est rattaché

- L'application des politiques et procédures de l'entreprise en matière de gestion, de maintenance et de sécurité
- Le suivi de développement des infrastructures.
- La réalisation des plans directeurs de distribution arrêtés par l'entreprise et assister les autres unités en cas de besoin.

1.3.5 Objectif du district GPL

Pour remplir sa mission NAFTAL s'est tracée les objectifs suivants :

- Organiser et développer la commercialisation et la distribution des produits GPL.
- Connaître les différents marchés GPL, les besoins actuels et potentiels de la clientèle.
- Satisfaire sa clientèle dans les meilleures conditions d'efficacité.
- Promouvoir, participer et veiller à l'application de la normalisation et du contrôle de la qualité des produits.
- Organiser et coordonner les activités de programmation et d'approvisionnement de ravitaillement et de distribution des différents centres de stockage repartis à travers trois wilayas (Bejaia, Jijel, Bouira).
- Assure l'approvisionnement et la commercialisation des produits GPL sur l'ensemble des wilayas.
- Elaborer des plans en liaison avec d'autres districts visant la couverture du marché national en produit GPL.

1.3.6 Processus d'approvisionnement

Une fois le programme de production établis, le district doit planifier les approvisionnements afin de disposer les matières et des composants nécessaires à la production. Ce plan sera envoyé au niveau de la direction générale qui se situe à Alger pour le négocier et l'étudier. Pour faire face à cette dernière NAFTAL achète du butane et du propane auprès de la raffinerie NAFTEC, transporté par navire à location de la société HYPROC au district GPL Bejaia. Le district enregistre toutes les entrées en stocks des matières vrac (propane, butane) qui seront stocké et déstocké pour une court période en vrac (propane dans des cigares et le butane dans des sphères) soit pour la production (B13, B06, B03, P11, P35, GPL/c), li-

vraison (distribution) ou pour le ravitaillement pour autre district [1]. Elle commercialise ses produits par l'intermédiaire des points de vente dont les plus importants sont les suivants :

- Stations de services à gérance directe(GD) : situées sur les grands axes routiers, elles sont au nombre de huit (8).
- Points de vente agréés (PVA) : ce sont des stations-services privées, réparties à travers le territoire de la wilaya de Bejaia.
- Les points de vente ordinaires (PVO) : dont la capacité est de 77 bouteilles (B/13), leur nombre est de huit cents repartis sur la wilaya.
- Les aires de stockage régulatrices : implémentées dans les communes isolées, leur capacité est de 2000 B/13.

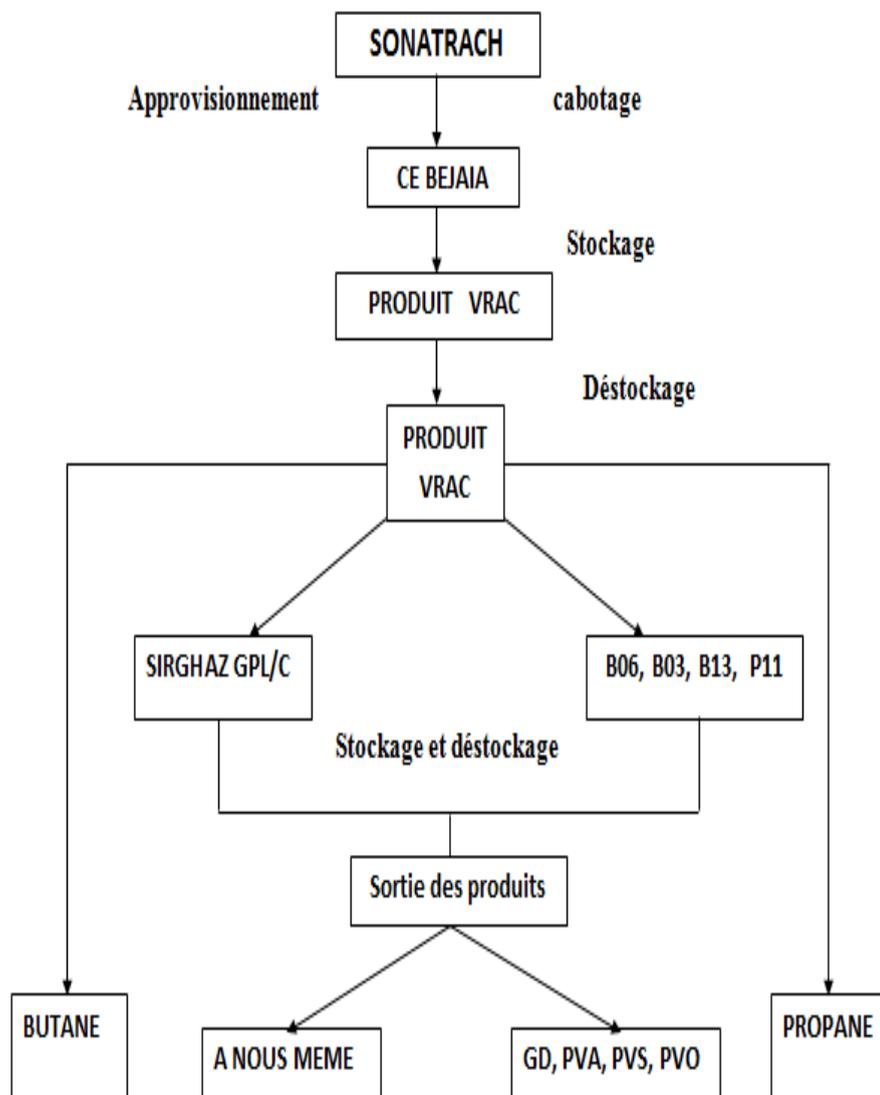


FIGURE 1.2 – L’enchaînement du processus d’approvisionnement au niveau du district GPL de Bejaia

1.3.7 Produits du district GPL de Bejaia

Dans la gamme des GPL, NAFTAL commercialise les trois produits suivants :

Le Butane : Vrac ou conditionnée.

Le Propane : Vrac ou conditionnée.

Le Gaz de Pétrole Liquéfié Carburant (GPL/C) : Sous le nom commercial " SIRGHAZ " : c’est un mélange de Butane (C_4H_{10} , le point d’ébullition de Butane est $0^{\circ}C$) et de

Propane (C_3H_8 , le point d'ébullition de Propane est $(-42^\circ C)$ pour l'usage de la carburation automobile. A des proportions définies selon les conditions climatiques :

1. Saison hivernale (du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril) : 100% de Propane et 0% de Butane (la proportion de propane est plus élevée en hiver pour faciliter les démarrages à froid).
2. Saison estivale (du mois de Mai jusqu'au mois d'Aout) : 80% de Propane et 20% de Butane.

Remarque

Les trois produits ci-dessus sont commercialisés sous deux formes (vrac ou conditionnée) à l'exception de SIRGHAZ qui est commercialisé sous la forme vrac. Le butane et le propane étant les principaux composants de GPL/C. Ces produits, gazeux dans les conditions normales de température et de pression, peuvent être facilement liquéfiés, rendant aussi leur manipulation, leur stockage, leur transport et leur commercialisation très aisés. Les GPL sont liquéfiables sous faible pression : " $- 25^\circ C$ " pour le GPL carburant.

Le GPL /C est de la Famille des Carburants et Combustibles Terre [8].

1.3.8 Centre d'emplissage

Description des installations du centre d'emplisseur

Le centre emplisseur assure le conditionnement et la distribution du butane, du propane et du sirghaz (GPL/c). Il est aussi la source d'approvisionnement en produit pour le dépôt relais d'Akbou les centres limitrophes (CHORFA-BOUIRA, TAHIR-JIJEL).

— Acheminement des produits :

Le ravitaillement en produits pétroliers du centre emplisseur, se fait au moyen des navires (CABOTEUR, BABOUDA, BRIDES et DJEMILA). Le centre est relié au port par pipeline sur une longueur 1700 m (dont 400 m immergé, 1300m enterré), la partie se termine par une chambre a vanne et comporte un banc de comptage à l'entrée du centre emplisseur.

— Capacités des aires de stockage :

Les capacités de stockage du centre emplisseur du GPL Bejaia sont représentées dans le tableau suivant :

Nature	Nombre	Capacité
Sphère	5	9500 m ³ (\approx 4750 tonnes)
Cigare	12	1350 m ³ (\approx 595 tonnes)

FIGURE 1.3 – Nature et capacité de stockage

Réseau de distribution du Sirghaz (GPL/c) au niveau du district GPL de Bejaia

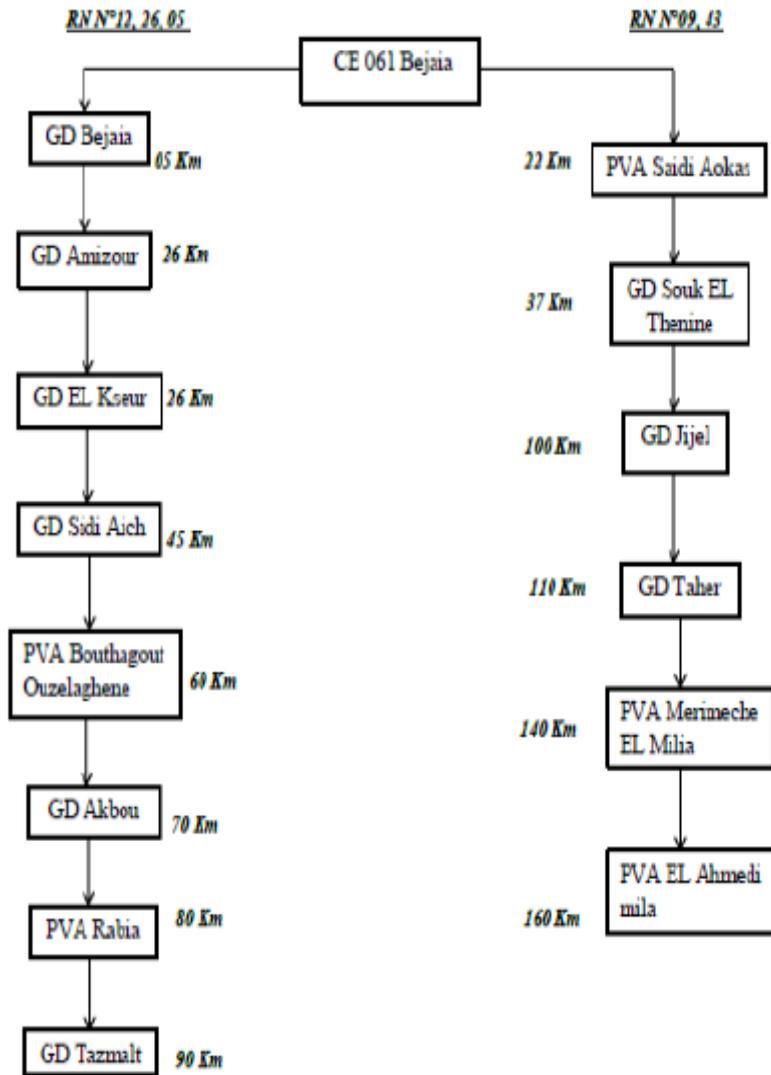


FIGURE 1.4 – Les axes de livraison du GPL/c

Le centre d'emplissage dispose de deux(2) camions citernes de capacité différente :

- un camion (f_1) prend l'itinéraire (R) : RN N° 12, 26, 05.
- un camion (f_2) prend l'itinéraire (H) : RN N° 09, 43.

Caractéristiques du réseau de distribution du Sirghaz (GPL/c) au niveau du district GPL de Bejaia

- Dispatcheur : C'est la personne chargée de la distribution ou le dispatche
- Nombre de stations de service :
- Nombre de véhicules : limite à 2 véhicules

- Type de véhicules : camions citernes (de capacité : $10m^3$, $15m^3$, $20m^3$).
- Temps de service d'un véhicule : fixé à 8 heures par jours
- Type de produit livré : Sirghaz (GPL/c).
- Temps de chargement au centre : $(\frac{1}{4})$ d'heure.
- Temps de déchargement aux stations de service : $(\frac{1}{2})$ d'heure.
- Nature de la demande : elle augmente en saison estivale et diminue en saison hivernale.
- Le réseau : forme de l'ensemble des stations de service ainsi que toutes les routes joignant ces derniers entre eux et au centre.
- Type de routes : étroites, larges ou dangereuses.

1.4 Position du problème

Suite à l'encouragement de NAFTAL pour les automobilistes de se convertir au GPL/c avec des conventions, ce qui a entraîné l'augmentation de la demande du GPL/c sur le marché, et qui a laissé le district GPL de Bejaia cherche à élaborer un plan optimale pour la distribution du GPL/c afin de satisfaire ses clients.

Une politique qui nécessite le renforcement du réseau de distribution, la mise en place de capacités de stockage et des moyens de transport adéquats, est une opportunité certaine aux investisseurs.

A Travers cette étude, nous intéressons à trouver des solutions aux préoccupations suivantes :

- Quelle est l'affectation des citernes qui nous permettra de satisfaire l'ensemble des stations de service qui assurent le service GPL, tout en respectant les exigences du stock des stations ?

1.5 Problématique abordée

Le problème d'approvisionnement des stations de service auquel nous faisons une étude consiste à déterminer comment distribuer de façon optimale le produit GPL/c (Sirghaz) vers des clients (14 stations de service) à partir d'un dépôt (centre d'emplissage de Bejaia) selon un horizon de planification choisi. Il faut donc déterminer, pour chaque période de l'horizon de planification, les stations à visiter, les tournées et les citernes à utiliser, la quantité à livrer

de produit et leurs affectations aux camions, et ce, en s'assurant qu'aucune station cliente ne soit en rupture de stock.

Notre étude est basée sur le produit GPL/c au niveau du centre District GPL de Bejaia qui connaît d'une part un progrès continu de demande surtout avec l'encouragement de l'état, où la consommation de sirghaz (surnommé " une énergie propre au quotidien " est moins polluant que les autres carburants)augmente, et d'autre part l'apparition de nombreuses difficultés telle que :

- La complexité du circuit actuel de distribution.
- La vétusté des certains moyens de transports actuels.
- Des frais de maintenances et d'entretiens très élevés.

Le problème consiste donc, à trouver un planning de livraison du sirghaz, de sorte à maximiser les commandes à livrer aux stations clients de l'entreprise qui dépend essentiellement de la distance parcourue, tout en respectant certaines contraintes du problème telle que : les capacités des véhicules et leur durées de fonctionnement.

À notre connaissance, chez les transporteurs, la planification de l'approvisionnement se fait manuellement. En effet, cette activité est principalement basée sur l'expérience des transporteurs qui y ont une bonne connaissance de la géographie du territoire à desservir.

1.5.1 Caractéristique du problème

L'étude du problème nous a permis de conclure les caractéristiques suivantes :

- Trois citernes :
 - Une citerne de capacité $10m^3$
 - Une citerne de capacité $15m^3$.
 - Une citerne de capacité $20m^3$.
- Type de camions : rigide.
- Le centre de distribution travaille en une période de huit heures par jour (8H00 - 17H00), sauf pour des cas justifié.
- La livraison est faite pour un et un seul produit qui est le sirghaz à travers un seul moyen de transport (transport routier).
- Toutes les demandes sont enregistrées au moins 48 heures avant la livraison.
- Les temps de chargement et de déchargement sont connus en moyenne d'unités de

litres par heure (l/h).

1.5.2 Contraintes

NAFTAL, comme toute société économique, se trouve en face de différentes contraintes qui diminuent son profit et parfois lui causent des pertes.

Parmi ces contraintes à prendre en considération :

- Le nombre de camions est limité.
- Le temps d'exploitation des camions est limité.
- les véhicules doivent être dans le parc au début et à la fin de la période de distribution.
- Chaque véhicule a un état de fiabilité lui indiquant le type de chemin à parcourir, et une distance limite à ne pas dépasser.
- La somme des demandes des clients regroupées en une tournée ne doit pas excéder la capacité du véhicule.

1.5.3 Objectifs

Les objectifs que nous nous visons à réaliser pour le District se résument dans les points suivants :

- Maximiser le nombre de commandes clients satisfaites .
- Automatisation de l'opération journalière de livraison du GPL/c en fonction des demandes, capacités, fenêtres de temps, véhicules et leurs durées de fonctionnement.
- Déterminer la rentabilité des deux investissements : l'achat des camions ou l'installation d'un petit air de stockage (cigare).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes structures de l'entreprise Naftal et plus précisément la Région Transport Centre de Bejaïa, dans laquelle on a fait notre stage au sein du département travaux neufs.

Nous avons constaté que le problème peut être formulé comme un problème de tournée de véhicules et l'ensemble de contraintes présenté par la société détermine l'espace des solutions

ou tournées possibles, nous sommes appelés à fournir un outil de travail qui fait la conception des tournées en utilisant les techniques de la recherche opérationnelle.

Cependant notre étude consiste à faire une étude scientifique de façon à déterminer par le planning journalier de livraison du GPL/c de sorte à minimiser le coût total du transport et maximiser le nombre de commandes des client.

Chapitre 2

Généralités sur le VRP

2

Généralités sur le VRP

La recherche en transport a beaucoup évolué au cours des dernières années. Les entreprises ont découvert qu'une meilleure planification des tournées permettrait d'épargner des coûts importants. Effectivement, les coûts de transport effectués à travers la chaîne logistique et durant le processus de vente représentent généralement 10 à 25% du coût total de production. Selon CASS Information Systèmes, cela peut représenter jusqu'à 57% des coûts logistiques, surpassant ainsi les coûts de stockage (31%) et d'entreposage (8%). Les problèmes étudiés en transports sont variés. Ce chapitre effectuera un survol des plus récentes publications concernant les problèmes du voyageur de commerce et de tournées de véhicules ainsi que leurs principales généralisations. Chaque article est traité à la fois par rapport à sa problématique et à l'algorithme utilisé pour trouver une solution. Ce chapitre permettra d'explorer les grandes tendances des dernières années tant au niveau des problèmes que des algorithmes utilisés. L'étude des problématiques étudiées permettra de cibler l'avancement des recherches sur les problèmes de transport tandis que l'étude des algorithmes permettra de déterminer les méthodes de résolutions les plus efficaces.

2.1 Définition du problème

La problématique du transport n'est pas un problème récent et de nombreuses entreprises doivent confronter cette dernière à tous les jours. Le problème de base consiste à affecter en

ordre les clients à une seule route. Or, cela ne reflète qu'une minorité d'entreprises puisque dans la majorité des cas, elles doivent prendre une panoplie de décisions à savoir dans quel ordre desservir un ensemble de clients en utilisant une flotte de véhicule (ou un seul véhicule) à partir d'un ou plusieurs entrepôts. À cela s'ajoute les décisions d'affectation des clients et des camions aux différentes routes.

Plusieurs variantes de ce modèle sont apparues dans la littérature. Effectivement, plusieurs contraintes peuvent y être ajoutées ou retranchées. Ainsi, l'entreprise peut posséder un seul ou plusieurs véhicules. Ces derniers peuvent être identiques ou hétérogènes à des niveaux distincts, soit les coûts d'utilisation, la capacité de chargement, les coûts fixes, etc. La demande peut se trouver sur les arcs ou sur les nœuds (dans le cas de représentation sous forme d'un graphe) selon le type de problème auquel nous faisons face. Chaque fois que l'on ajoute ou retranche une contrainte, un nouveau problème apparaît. Tous ces ajouts permettront de se rapprocher de la réalité à laquelle une entreprise peut être confrontée. Les sections suivantes tenteront de faire la lumière sur tous ces types de problèmes apparaissant dans des articles des dernières années. Notons pour terminer que peu importe les contraintes du problème, il demeure toujours NP-Dur ce qui signifie qu'aucun algorithme connu ne peut garantir de trouver dans un temps polynomial la solution exacte à ce problème.

2.2 Problèmes du voyageur de commerce et généralisations

Le problème du voyageur de commerce, mieux connu sous le nom de Traveling Salesman Problem (TSP), est l'un des problèmes les plus étudiés en recherche opérationnelle. Effectivement, il est à la base de tous les problèmes de tournées et a une multitude d'applications réelles. Ce problème consiste à trouver le chemin le plus court qui visite toutes les villes une et une seule fois tout en revenant au point de départ. Le problème du voyageur de commerce étant NP-Dur, le temps pour trouver la solution optimale augmente de façon exponentielle en fonction de la taille du problème. Il se définit mathématiquement comme ceci : Soit $G = (N, A)$ où G est un graphe, $N = \{v_0, v_n\}$ représente l'ensemble des nœuds (villes). Par ailleurs, $A = \{(vi, vj)/v_i, v_j \in N, i < j\}$ représente les arrêtes reliant ces nœuds si les distances sont symétriques et $A = \{(vi, vj)/v_i, v_j \in N, i \neq j\}$ représente les arcs lorsqu'elles

sont asymétriques. Dans le cas où le problème est symétrique c'est-à-dire où le graphe est non orienté, on parlera d'un cycle et dans le cas contraire on parlera d'un circuit [7].

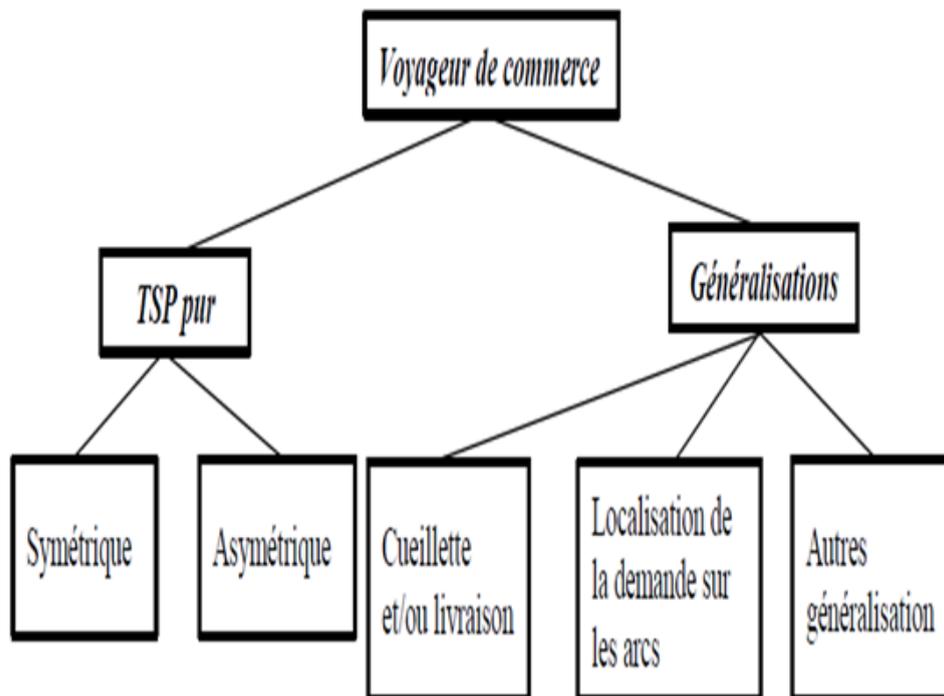


FIGURE 2.1 – Classification des problèmes du voyageur de commerce et ses généralisations

Le problème du voyageur de commerce consiste à trouver le cycle Hamiltonien le plus court. Un cycle Hamiltonien est un cycle qui relie tous les nœuds d'un réseau de façon à ce que chaque nœud soit visité une et une seule fois.

Le problème du voyageur de commerce permet évidemment de résoudre des problèmes de tournées mais il existe aussi une variété d'autres contextes auxquels il peut s'appliquer. Tout d'abord, on peut l'appliquer dans la construction des cartes maîtresses des ordinateurs afin de minimiser la longueur des fils de cuivre entre les puces. Par ailleurs, les algorithmes de résolution du TSP peuvent également être utilisés pour optimiser la coupe du papier peint de manière à minimiser les pertes.

Aussi, il peut être utilisé afin d'optimiser les opérations de perçage des feuilles métalliques, l'application du TSP permet alors d'optimiser le temps de déplacement de la perceuse pour percer ces trous. Le TSP peut aussi être utile en ordonnancement. Si n commandes doivent être effectuées sur une seule machine et que le temps de mise en route dépend de l'ordre de passage, le TSP permettra de minimiser le temps de mise en route des commandes en déterminant l'ordre dans laquelle celles-ci doivent être effectuées. Une autre application du

TSP est possible en cristallographie afin de minimiser le temps qui sert à prendre les mesures au rayon-X. Par conséquent, on peut facilement constater que ce problème est présent dans l'optimisation de plusieurs problèmes de notre vie de tous les jours.

2.3 Formulation mathématique

Définissons les différentes variables nécessaires pour effectuer la formulation mathématique du problème du voyageur de commerce.

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. La fonction objective est :

Minimiser :

$$Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

Les containtes sont les suivantes :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \text{ pour tout } S \text{ de } N \quad (2.4)$$

La contrainte (2) s'assure qu'on ne sort qu'une seule fois de chacun des points tandis que la contrainte (3) vérifie que l'on entre seulement une fois à chaque point. Ces contraintes permettent donc de visiter tous les points une et une seule fois. Par contre, si l'on n'ajoute pas la contrainte (4) des sous-tours se formeront. La troisième contrainte élimine donc tous les sous-tours possibles. Dans cette contrainte $|S|$ dénote la cardinalité de l'ensemble S . Cette contrainte doit être décrite pour tous les sous-ensembles S de N .

2.4 TSP symétrique et asymétrique

Une première particularité de ce problème se situe au niveau des caractéristiques du graphe. Effectivement, les arcs du graphe peuvent avoir un poids inégal selon le sens dans lequel on le parcourt, dans ce cas on dira que la matrice de ce problème est asymétrique. Dans le cas contraire, où la distance est la même peu importe le sens, alors cette dernière sera symétrique. Un problème est symétrique si la condition suivante est respectée : $d_{ij} = d_{ji}, \forall i, \forall j$. Par ailleurs, les distances peuvent aussi respecter l'inégalité du triangle. Dans ce cas, la condition suivante doit s'appliquer :

$d_{ik} = d_{ij} + d_{jk}, \forall i, j, k$. Selon cette équation, il n'est jamais plus court de passer par le point j si l'on désire se rendre au point k à partir du point i .

2.5 Généralisation du problème du voyageur de commerce

La deuxième caractéristique majeure du problème du voyageur de commerce se situe au niveau du type d'opération effectué. En modifiant le type d'opération, le problème n'est plus un problème de TSP pur, il devient alors une généralisation du TSP. De ce fait, l'entreprise concernée peut avoir à effectuer des cueillettes et/ou des livraisons selon le contexte de l'industrie [7].

2.5.1 TSP avec cueillette et livraison

Le problème de cueillette et livraison consiste à trouver le cycle Hamiltonien le plus court permettant de desservir tous les clients, de manière à ce que chaque cueillette soit effectuée avant sa livraison associée. Pour résoudre ce problème, Renaud, Boctor et Ouenniche (2000) présente un algorithme composite basé sur la double insertion suivi du 4-OPT*. Renaud, Boctor et Laporte (2002) décrivent et comparent sept algorithmes de perturbations. Trois différents types de perturbations sont abordés : perturbation du problème, perturbation de l'algorithme et perturbation de la solution. Les heuristiques de perturbation ont été testées sur deux types de problèmes. Le premier ensemble de problème a été généré à partir de 36 problèmes du TSPLIB (Reinelt 1981) de 51 à 441 nœuds. Les résultats pour ce type de problème permettent d'améliorer ceux de Renaud, Boctor et Ouenniche (2000) d'approximativement 4%. Le deuxième ensemble de problèmes comporte dix problèmes de 101 nœuds et dix problèmes de 201 nœuds pour lesquels l'optimum est connu. Les résultats permettent d'obtenir ou de s'approcher considérablement de cet optimum. Effectivement, l'optimum est obtenu pour douze des vingt problèmes [5].

2.5.2 TSP avec retour à charge

Le papier de Ghaziri et Osman (2003) considère une extension du problème classique de TSP, il s'agit du problème avec retour à charge (backhaul). Les clients sont divisés en deux types, les premiers clients devant être visités au début de la route sont ceux nécessitant une cueillette et les seconds permettant un retour à charge (backhaul) qui seront visités une fois que tous les clients avec livraisons auront été visités. Les premiers clients requièrent une livraison à partir du dépôt tandis que les clients avec retour à charge permettent de rapporter de la marchandise au dépôt. Les auteurs présentent donc une nouvelle heuristique basée sur les réseaux de neurones, il s'agit du SOFM*. Ils utilisent quatre types d'interactions : la première chaîne interagit avec les clients à longues distances, la seconde chaîne interagit avec les clients nécessitant une cueillette, les queues des chaînes interagissent ensemble et finalement la tête des deux chaînes interagissent avec le dépôt. Les tests ont été effectués sur des problèmes ayant entre 100 et 1000 points. Un autre article classique sur le problème est celui de Gendreau, Hertz et Laporte (1993) qui traite lui aussi du problème du voyageur

de commerce avec retour à charge. Ils proposent une heuristique dont la pire performance est de $3/2$ de l'optimum lorsque le problème respecte l'inégalité du triangle et que les coûts sont symétriques. Par la suite, ils ont proposé quatre différentes heuristiques. Les tests ont été effectués sur 30 problèmes de 100, 200 et 300 points. Les résultats de ces heuristiques se situent en moyenne à 0,5 de la borne inférieure. Cela signifie que la plupart des résultats obtenus sont optimaux car cet écart est probablement dû à l'écart entre la borne inférieure par rapport à la solution optimale. Tous ces résultats ont été obtenus avec un faible effort de calcul. Chacune des heuristiques présentées a utilisé l'algorithme GENIUS pour le TSP développé par Gendreau, Hertz et Laporte (1992). Cet algorithme est constitué d'une phase de construction et d'une phase de post-optimisation. La phase d'insertion GENI (GENeralized Insertion) se fait à partir de trois noeuds choisis aléatoirement à partir desquels sont insérés d'autres sommets pour former un cycle Hamiltonien. La seconde phase US (Unstringing and Stringing) considère le retrait de chaque nœud pour ensuite tenter de les réinsérer dans le tour de façon à réduire le coût de la tournée. Plus récemment, Mladenovic et Hansen (1997) ont utilisé GENIUS avec une structure de recherche nommée GENIUS-VNS. Cette variante est meilleure que l'adaptation GENIUS par Gendreau, Hertz et Laporte (1993) en moyenne de 0,4 avec une augmentation de 30 du temps de calcul [3].

2.5.3 Localisation de la demande sur les arcs

Il arrive parfois que la demande ne soit pas située sur les nœuds comme dans le cas classique du TSP mais qu'elle se trouve sur les arcs comme, par exemple, lors de la livraison de courrier, c'est le problème du postier chinois. Ainsi, Cabral, Gendreau, Gianpaolo et Laporte (2003) ont adapté le hierarchical Chinese postman problem (HCPP) en un problème équivalent du rural postman problem (RPP). La différence majeure entre un RPP et un CPP est que lors du RPP ce n'est pas tous les arcs qui ont une demande, le graphe est ainsi séparé en arcs nécessitant un service ou non. À l'inverse, tous les arcs du Chinese postman problem requièrent un service, donc ils doivent tous être visités au minimum une fois. L'intérêt de cette adaptation est dû à l'existence des méthodes approchées et d'algorithmes exacts permettant de résoudre le RPP. Le HCPP est défini sur un graphe non orienté dans lequel les arcs sont séparés en groupes qui nécessitent un service et possèdent des relations de précedence ou une hiérarchie entre ces différents groupes. La transformation en RPP permet d'appliquer un

algorithme exact de génération de coupes sur ce problème transformé. De plus, deux objectifs sont considérés lors de cet article soient l'objectif hiérarchique et l'objectif de minimisation du temps de la route.

Les auteurs ont testés leur méthode sur le graphe Albaida1 qui contient 113 noeuds et 171 arcs. Ces arcs ont été séparés selon trois types de service. De plus, quelques problèmes ont été générés de façon aléatoire, le plus grand problème contenant 150 noeuds. L'écart maximum obtenu par rapport à la solution trouvée par séparation et évaluation progressive est de 0,8%.

2.5.4 Autres généralisations du TSP

Dans la littérature récente, plusieurs généralisations du TSP ont été étudiées. Parmi celles-ci, notons l'ajout de contraintes de préséance entre les nœuds à visiter, ensuite, une contrainte de changement de temps sur les arcs, une contrainte de cardinalité des nœuds et une contrainte maximale de temps de route. Finalement une généralisation du TSP nommé le black and white traveling sales man problem.

Le problème du voyageur de commerce avec contraintes de préséance (TSPPC) est appliqué dans de nombreux problèmes industriels comme l'ordonnancement, les décisions d'acheminement des marchandises et la planification de projet. Dans ces problèmes, il y a un ordre prédéfini entre certains nœuds du graphe. Ainsi, certains nœuds doivent être visités avant d'autres. Moon, Kim, Choi et Seo (2002) proposent de résoudre le TSPC avec un algorithme génétique. Les auteurs ont effectué des tests sur des problèmes de différentes tailles. Le nombre de points et de contraintes est respectivement de 6 et 6 pour les problèmes de petite taille, de 20 et 29 pour les moyens et de 40 et 56 pour les problèmes de grande taille. Les résultats indiquent qu'une solution optimale est trouvée pour les problèmes de petite et moyenne taille alors que les résultats sont proches de l'optimum pour les grands problèmes. Schneider (2002) propose une extension au problème du voyageur de commerce dans lequel les distances entre les clients peuvent varier dans le temps. Par conséquent, la matrice des distances devient dynamique. Cette extension permet de modéliser la congestion routière puisque le temps entre deux villes peut être différent selon le moment de la journée à lequel on effectue le trajet.

L'auteur démontre que le recuit simulé est une excellente méthode permettant de résoudre ce problème complexe. Il présente des résultats sur la visite des 127 cafés de la région d'Aug-

sburg, en Allemagne, dans lequel certaines zones présentent des bouchons de circulation en après-midi.

Patterson et Rolland (2003) présentent un nouveau problème qui consiste à séparer un graphe en plusieurs sous-graphes Hamiltoniens ayant une cardinalité minimum et maximum, c'est-à-dire leur nombre de nœuds. Ce type de problème est nommé *cardinality constrained covering traveling sales man problem* (CCC-TSP). Il ajoute deux paramètres, L et U , correspondant aux bornes minimales et maximales quant à la cardinalité pour chacun des tours. Les problèmes d'affectation ainsi que le TSP sont des cas spéciaux de ce problème. Effectivement, lorsque L est égal à U et aussi égal au nombre de points, alors le problème à résoudre est en fait un TSP. Ce problème est utile pour tous les cas où un minimum de service est requis par l'affectation d'un maximum de clients à chaque route et en même temps un minimum de clients doit être desservi par cette route. Un exemple pratique consiste à trouver de bonnes solutions pour une " popotte roulante " qui aurait comme contrainte un temps de route maximal, un nombre maximal de mets à servir et un minimum de clients à servir pour être rentable. Les auteurs ont expérimenté leur méthode de résolution approchée sur 30 problèmes tirés de TSPLIB. La taille des problèmes testés varie de 51 à 226 noeuds avec 24 problèmes ayant 100 points et plus. Les tests démontrent que l'algorithme obtient régulièrement la solution optimale.

Paletta (2002) propose une nouvelle méthode permettant de résoudre un problème de voyageur de commerce périodique. Ce type de problème est défini comme suit : un voyageur de commerce doit visiter chaque ville un nombre prédéterminé de fois durant une période de m jours. À chaque jour, le voyageur doit retourner à la maison. L'objectif consiste à minimiser la distance totale parcourue par le voyageur de commerce durant la période. L'algorithme proposé permet d'interrompre la construction du tour afin d'y introduire une procédure d'amélioration. Les tests ont été effectués sur 33 problèmes de 48 à 288 noeuds. L'algorithme permet de trouver une solution optimale pour 25 problèmes et se situe en moyenne à 0,745% de l'optimum. Finalement, l'écart de la pire solution obtenue se situe à 1,035% de l'optimum connu.

Finalement, Bourgeois, Laporte et Semet (2003) présentent une méthode approchée pour une variante particulière du TSP. Leur article traite du *Black and White Traveling Sales man Problem* (BWTSP) défini sur un graphe G dans lequel les points sont segmentés en

points noirs et blancs. L'objectif consiste à trouver le tour Hamiltonien le plus court dans le graphe en respectant deux contraintes. La première contrainte restreint le nombre de points blancs entre deux points noirs d'excéder un entier positif Q , il s'agit donc d'une contrainte de cardinalité. La deuxième contrainte restreint la distance entre deux points noirs consécutifs à être inférieure à L . Le BWTSP équivaut au TSP classique lorsque les valeurs de Q et L sont égales et correspondent à l'infini. Le BWTSP a de nombreuses applications lors des cédules des lignes aériennes et en télécommunication. Par exemple, le BWTSP est utile en ordonnancement de lignes aériennes car les séquences de vols (Points blancs) doivent être séparées par des périodes de maintenance (points noirs). Cet article traite et compare trois différentes méthodes concernant le BWTSP. Chacune des méthodes contient une phase de construction, de faisabilité et une dernière phase d'amélioration. En moyenne, après amélioration et en respectant bien tous les contraintes du problème, les solutions réalisables obtenues se situe entre 12 et 13% de l'optimum pour les problèmes de 50 points, entre 14 et 19% pour les problèmes de 100 points et finalement entre 16 et 23% pour les problèmes de 200 points. Par ailleurs, les résultats obtenus indiquent qu'il devient plus difficile d'identifier une solution réalisable lorsque le nombre de points noirs devient plus élevé.

2.6 Problèmes de tournées de véhicules et généralisations

Le problème de tournées de véhicules et ses généralisations a été largement étudié au cours des dernières années. La figure 2.2 illustre les articles les plus récents concernant ce problème [5].

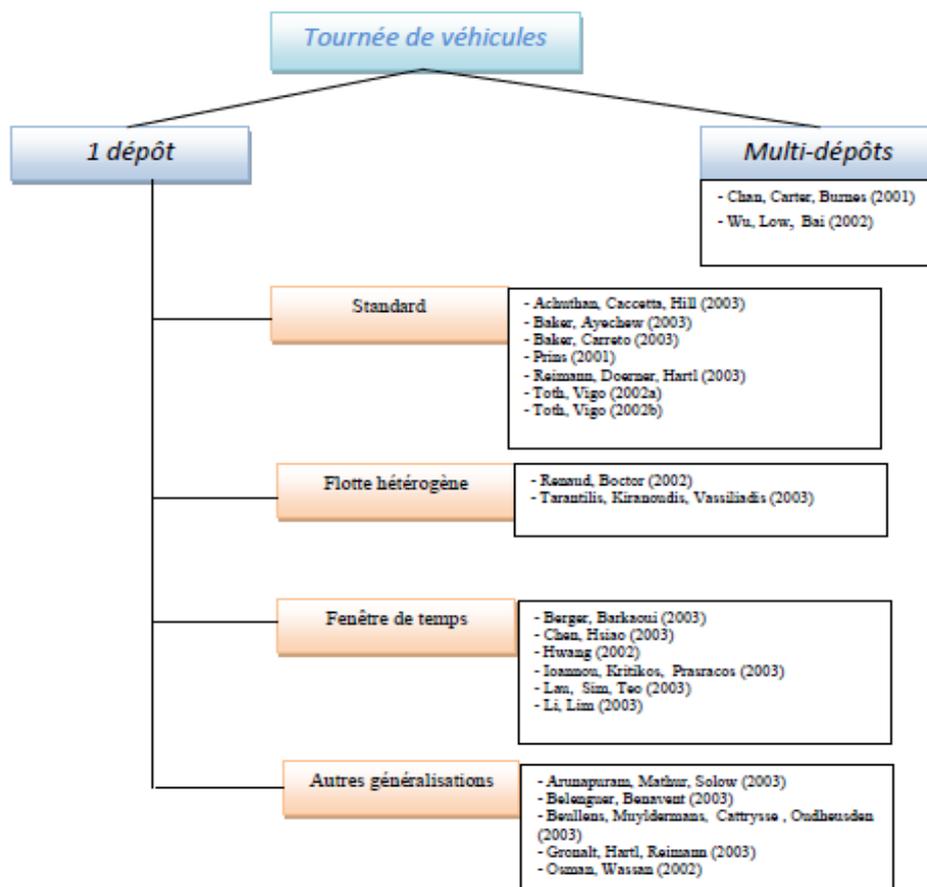


FIGURE 2.2 – Classification des problèmes de tournées de véhicules.

2.6.1 Problème de tournées de véhicules

Le premier papier traitant du problème de tournée de véhicules a été publié vers la fin des années 1950 par Dantzig et Ramser (1959). Ce problème, plus souvent appelé Vehicle Routing Problem (VRP) a ensuite attiré un grand nombre de chercheurs car il est théoriquement très intéressant. De plus, les applications du VRP sont nombreuses. Ainsi, la plupart des entreprises qui doivent livrer un produit à plusieurs clients font face à ce problème. La littérature du problème VRP est par conséquent très volumineuse.

Le problème de tournées de véhicules peut être défini comme un problème où de nombreux clients doivent être desservis à partir d'un unique dépôt avec des demandes connues. Mathématiquement, le VRP se définit sur un graphe $G = (V, A)$ où $V = v_0, \dots, v_n$ représente l'ensemble des points, c'est-à-dire des clients à visiter et $A = (v_i, v_j) / v_i, v_j \in V, i \neq j$

représentant l'ensemble des arcs possibles. Le point v_0 représente le dépôt qui est le point de départ et d'arrivée de toutes les routes. Une distance d_{ij} est associée à chaque arc $(i, j) \in A$, ces distances sont symétriques c'est-à-dire que $d_{ij} = d_{ji} \forall i, j \in A$.

On pose comme hypothèse que les véhicules sont identiques avec une contrainte de capacité Q et les clients ont une demande déterminée q_i . Une limite L peut également être imposée sur la durée maximale des routes. Dans quelques versions du problème, le nombre de véhicules est déterminé a priori. Dans les autres, le nombre de véhicules est une variable de décisions. Les routes doivent permettre de visiter tous les clients une et une seule fois. De plus, la demande totale de tous les clients d'une route ne peut excéder la capacité Q d'un véhicule. Les véhicules sont affectés aux routes de manière à minimiser l'objectif qui peut être, par exemple, la distance parcourue pour visiter tous les clients.

Il existe de nombreuses formulations du problème de tournée de véhicule. La formulation suivante est tirée de Fisher et Jaikumar (1981). Définissons tout d'abord l'ensemble des variables nécessaires pour effectuer la formulation mathématique.

Paramètres

K : Nombre de camions disponibles.

N : Nombre de clients à visiter. Les clients sont numérotés de 1 à n et l'entrepôt a le numéro 0.

Q_r : Capacité du camion k .

q_r : Demande du client i .

d_{ij} : Distance entre la ville i et j .

Variables de décision

y_{ik} : Variable de décision binaire qui est égale à 1 si la commande du client i est livrée par le camion k et à 0 autrement.

X_{ijk} : Variable de décision binaire qui est égale à 1 si le camion k voyage de la ville i vers la ville j et à 0 autrement.

Formulation

Minimiser

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^k d_{ij} X_{ij} \quad (2.5)$$

Sujet à des contraintes de problèmes d'affectations généralisées :

$$\sum_{i=0}^n q_{ij} Y_{ik} \leq Q_k \quad k = 1, \dots, K \quad (2.6)$$

$$(2.7) \quad \sum_{k=1}^k Y_{ik} = \begin{cases} k & i=0 \\ 1 & i=1, \dots, n \end{cases}$$

$$y_{ik} = 0 \text{ ou } 1 \quad i = 0, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (2.8)$$

Et à des contraintes du problème du voyageur de commerce (TSP)

$$\sum_{i=0}^n X_{ijk} = y_{ik} \quad j = 0, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ijk} = y_{ik} \quad i = 0, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (2.10)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \text{ pour tout } S \text{ de } (1, \dots, n) : S \leq n - 1 : k = 1, \dots, K \quad (2.11)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ ou } 1; i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (2.12)$$

Cette formulation permet de minimiser la distance parcourue par l'ensemble des camions. La contrainte (2) permet de s'assurer que le chargement des véhicules respecte leur capacité. La contrainte (3) garantit que chacune des routes débute et se termine au dépôt et que chacun

des clients est affecté à un et un seul camion. Les contraintes (5) à (8) permettent d'éviter les sous-tours et que chacun des clients est visité une et une seule fois. Par conséquent, il s'agit des contraintes utilisées pour un TSP.

2.6.2 Algorithme pour le VRP standard

Quatre articles récents traitent le problème de tournées de véhicules à un seul dépôt avec contrainte de capacité. Dans ce cas, un ensemble de clients avec une demande et une adresse connues requièrent une livraison à partir d'un dépôt unique et avec une flotte de véhicules identiques. La demande cumulée des clients se trouvant sur la même route ne doit pas dépasser la capacité des véhicules utilisés. L'objectif consiste à minimiser la distance parcourue par tous les véhicules pour visiter une et une seule fois tous les clients puisque ce problème ne tient pas compte de la limite sur la durée des tournées, il est nommé le " capacitated vehicle routing problem " (CVRP).

Toth et Vigo (2002) présentent une revue des algorithmes exacts utilisés pour résoudre le CVRP. Dans leur papier, seulement les restrictions sur la capacité des véhicules sont imposées et l'objectif consiste à minimiser le coût total (i.e. le nombre de route et/ou leur longueur ou le temps de route nécessaire pour servir tous les clients). Par conséquent, il n'y a aucune contrainte concernant la durée maximale des routes. On considère 2 cas, soit celui où les distances sont symétriques et le second où elles sont asymétriques. Les auteurs présentent deux algorithmes de " branch and bound " pour résoudre ce problème. Les algorithmes exacts permettent de résoudre des problèmes CVRP asymétriques allant jusqu'à 300 points et quatre véhicules. Ces résultats sont obtenus en 1000 CPU secondes. Dans leur revue, Toth et Vigo (2002) discutent des algorithmes exacts permettant de résoudre le CVRP symétrique. Ils présentent les algorithmes de Fisher (1994) et Miller (1995) en soulignant qu'il est difficile de comparer entre eux les algorithmes puisque chacun des auteurs posent des hypothèses différentes sur les mêmes problèmes. Par exemple, Fisher (1994) interdit les routes qui visitent un seul client tandis que Miller (1995) les permet.

Pour résoudre le CVRP, Baker et Ayechev (2003) utilisent un algorithme génétique.

Après avoir trouvé des routes individuelles intéressantes, les tournées sont améliorées en utilisant la méthode 2-OPT suivie du 3-OPT. Les distances obtenues par l'algorithme génétique se situent en moyenne à 0,5 de l'optimum. Ces tests ont été effectués sur des

problèmes de 50 à 199 points.

L'article d'Achuthan, Caccetta et Hill (2003) traite lui aussi du CVRP à l'aide de la méthode génération de coupe. Plus spécifiquement, ils développent de nouvelles coupes et une procédure de recherche permettant d'identifier les violations comme par exemple, la création de sous-tour. Les tests ont tout d'abord été effectués sur 1 650 problèmes générés aléatoirement. Par la suite, 24 problèmes standards de la littérature ont été testés.

Pour chacun des problèmes, le nombre de véhicules est fixé au nombre minimal de camions requis. Le temps maximal imposé pour trouver une solution est d'une heure. Le nombre de clients est de 44 à 199.

Étant donné que les algorithmes exacts ne réussissent toujours pas à trouver des solutions pour des problèmes de grandes tailles, plusieurs chercheurs se sont penchés vers des heuristiques (méthodes approchées).

D'énormes progrès ont été effectués ces dernières années concernant les problèmes de tournées de véhicules. Taillard (1993) a apporté une grande contribution en trouvant la meilleure solution pour la plupart des problèmes de la littérature. Son heuristique consiste essentiellement à décomposer le problème en sous-problèmes et il propose deux méthodes distinctes de partitionnement. Chacun des sous-problèmes est résolu en utilisant une approche taboue. Après un certain nombre d'itérations, les sous problèmes sont réunis pour reformer le problème entier.

Deux autres articles présentent aussi des résultats très intéressants pour le problème de VRP à un seul dépôt, il s'agit de Prins (2001) et Toth et Vigo (2002). Prins (2001) privilégie l'algorithme génétique tandis que Toth et Vigo (2002b) adoptent la recherche taboue. Ces derniers proposent dans leur algorithme une réduction de l'espace de recherche. Plus spécifiquement, Toth et Vigo réduisent initialement le graphe en éliminant tous les arcs qui excèdent un certain seuil. Ce seuil est déterminé par l'estimation de la moyenne de la longueur des arcs d'une bonne solution réalisable c'est ce qu'ils appellent un algorithme tabou granulaire. D'autre part, Baker et Carreto (2003) présentent une interface qui a été développée afin de résoudre les problèmes de VRP. Ils ont utilisé une heuristique basée sur une recherche adaptative aléatoire gloutonne. Le système décrit permet de combiner les connaissances et l'intuition avec la puissance de l'ordinateur afin de trouver de bonnes solutions. Ainsi, l'utilisateur a un contrôle sur les routes finales ce qui est beaucoup plus acceptable en pratique. Une

séance interactive d'au plus 15 minutes permet de trouver des routes intéressantes. Les tests effectués sur des problèmes de 50 à 199 points permettent d'obtenir des résultats à moins de 1% de la meilleure solution connue. Pour les problèmes de grande taille entre 240 et 483 clients, ce sont Reimann, Doerner et Hartl (2003) qui obtiennent les meilleurs résultats. Ces derniers trouvent une meilleure solution pour 10 des 20 problèmes. De plus, ils égalisent quatre autres résultats dont la meilleure solution a déjà été trouvée. L'heuristique utilisée pour trouver ces solutions est une heuristique composite inspirée de l'algorithme d'optimisation par colonie de fourmis. Effectivement, Reimann, Doerner et Hartl ont utilisé le principe des phéromones lors de la construction de leur heuristique. Par contre, d'autres algorithmes ont aussi été utilisés, par exemple, on retrouve le 2-OPT, l'algorithme de balayage de Gillet et Miller (1974) et l'algorithme modifié de Miehle présenté par Spaeth (1977).

2.6.3 Composition de la flotte

Le problème général de tournée suppose que les camions d'une entreprise sont homogènes. Pourtant, il est rare que tous les camions soient identiques. Ils existent souvent des distinctions entre les camions, ils n'ont pas tous le même âge, donc ont des coûts variables différents, la capacité de chargement n'est pas la même ou encore il peut s'agir de différences concernant le type de véhicule (i.e. camions réfrigérés, camions citernes). Cet aspect du problème a été traité récemment dans deux articles. Le papier de Renaud et Boctor (2002) présente le problème de tournée avec une flotte de véhicules hétérogènes. La flotte de véhicules peut être composée de véhicules avec des capacités différentes. Aussi, les coûts fixes et variables des véhicules peuvent différer d'un véhicule à l'autre. La location d'une partie ou de la totalité de la flotte est possible procurant ainsi l'avantage d'une grande flexibilité puisque la composition de la flotte peut varier fréquemment. L'objectif consiste à minimiser le coût total composé des coûts fixes et variables de l'utilisation des véhicules. De plus, il faut trouver la meilleure affectation des véhicules aux différentes routes. Dans la version étudiée, les arcs sont non orientés puisque la matrice est symétrique. En plus de respecter les capacités des véhicules tout en répondant aux demandes, une autre contrainte s'ajoute. Effectivement, la durée totale de chacune des routes incluant le temps de parcours et le temps de service ne doit pas excéder une durée maximale. Les auteurs utilisent une heuristique de balayage pour

générer différentes routes. Leur heuristique peut résoudre les problèmes Euclidiens de même que les problèmes non-euclidiens ce qui est une première pour les algorithmes de balayage. Les résultats, tirés de tests effectués sur 20 problèmes de 50 à 100 points, démontrent que cette heuristique fonctionne mieux que les heuristiques connues dans la littérature. Les auteurs comparent d'ailleurs leurs résultats à ceux obtenus par Osman et Salhi (1996), Taillard (1999) et Gendreau et al. (1999). L'heuristique proposée permet d'obtenir un écart de 0,49 en moyenne par rapport à la meilleure solution obtenue par recherche tabou et ce dans un temps de calcul égal moyen de 179 secondes. Aussi, les auteurs proposent une version tronquée de cette heuristique qui permet de réduire le temps de calcul à 154 secondes mais en acceptant une légère augmentation de l'écart se situant maintenant à 0,63. Cette dernière version peut représenter une alternative intéressante lorsque l'on désire obtenir rapidement une solution. [9]

Tarantilis, Kiranoudis et Vassiliadis (2003) abordent ce problème d'une autre façon. Dans leur cas, la flotte comporte plusieurs types de véhicules ayant chacun une capacité variée. Par contre, le nombre de véhicule de chaque type est limité. La flotte est donc fixe, c'est-à-dire qu'on ne considère pas la possibilité pour les entreprises de varier la composition de la flotte de véhicules. L'article décrit une méthode basée sur un seuil d'acceptation appelé "backtracking adaptive threshold accepting" (BATA) décrit plus précisément dans la section autres méta heuristiques. Les problèmes étudiés comportent entre 50 et 100 points, localisés aléatoirement dans un graphe. Ce problème a peu été étudié dans la littérature.

Seulement, Taillard (1999) l'avait déjà présenté. La méthode BATA donne des solutions en moyenne 0,31 meilleures que Taillard (1999). Cet algorithme procure six nouvelles meilleures solutions. [9]

2.6.4 Fenêtres de temps

Les problèmes de tournées de véhicules peuvent être complexifiés si on ajoute des fenêtres de temps. En anglais ce problème est nommé Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) et il se définit de la façon suivante. Soit $G = (V, A)$ où $V = v_0, \dots, v_n$ représente l'ensemble des points, c'est-à-dire des clients à visiter et $A = (vi, vj) / vi, vj \in V, i \neq j$ représentant l'ensemble des arcs possibles. Le point v_0 représente le dépôt qui est le point de départ et d'arrivée de toutes les routes. On pose comme hypothèse que les véhicules sont

identiques avec une contrainte de capacité Q et que les clients ont une demande déterminée q_i . Chaque client a et un temps de service. Le début de la visite du client v_i doit être à l'intérieur de la fenêtre de temps $[e_i, f_i]$. Cela signifie que le client désire être visité à une période déterminée de la journée. Ainsi, un client peut préférer recevoir ses colis durant les heures d'ouverture de son entreprise. Cet ajout au problème limite la flexibilité car deux clients voisins peuvent être disponibles à deux périodes très différentes de la journée. Par contre, l'ajout de la contrainte de fenêtres de temps est très utile pour un client qui sait ainsi à quelle heure son colis lui sera livré et qui pourra donc prévoir cette réception dans la planification des tâches prévues à l'horaire de la journée. Le coût considéré lors du VRPTW n'est pas seulement le coût de parcourir la distance entre tous les clients mais également le coût associé au temps d'attente car lorsqu'un véhicule arrive en avance chez un client il doit attendre que celui-ci soit prêt à le recevoir. [11]

On observe ces dernières années une recrudescence de la recherche sur le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps. Effectivement, plusieurs auteurs traitent ce problème sous différentes facettes dans la littérature. Tout d'abord, Hwang (2000) présente dans son article une interface graphique permettant de résoudre des problèmes VRPTW grâce à un algorithme génétique. L'interface développée par Hwang (2000) permet de résoudre des problèmes de 10 à 99 villes. La compétition entre chercheurs est forte pour trouver la meilleure heuristique pour résoudre le VRPTW. Li et Lim (2003) utilisent, pour résoudre ce problème, un algorithme de recuit simulé. Ils obtiennent 7 nouveaux meilleurs résultats que ceux présentés dans la littérature précédente et 19 des résultats présentés égalisent les meilleures solutions connues à ce jour. Quant aux autres solutions obtenues, elles sont très près de la meilleure solution connue dans la littérature.

Berger et Barkaoui (2003) développent un nouvel algorithme génétique. L'approche est basée sur l'évolution simultanée de deux populations de solutions et une relaxation partielle de quelques contraintes. Ils ont effectués leurs tests sur les problèmes de Solomon et ont trouvés cinq meilleures solutions que celles de la littérature.

Les auteurs Lau, Sim et Teo (2003) traitent d'une variante du problème VRP avec fenêtres de temps dans lequel un nombre limité de véhicules est disponible (m-VRPTW). Les auteurs proposent une approche taboue avec une liste permettant de conserver les clients non visités ainsi qu'un mécanisme introduisant un nouveau véhicule afin de maximiser le nombre de

clients visités dans cette route tout en respectant la capacité du véhicule. De plus, ils relaxent les fenêtres de temps en permettant des retards mais avec un coût de pénalité associé à ce retard. Lau, Sim et Teo (2003) ont testé leur algorithme sur les 56 problèmes proposés par Solomon (1987). Ils parviennent à battre l'optimum connu dans huit cas et égalise ce dernier pour sept problèmes.

Lorsqu'il est possible de violer la contrainte des fenêtres de temps on parle du problème de tournées avec fenêtres de temps souples mieux connu sous le nom de Vehicle Routing Problem with Soft Time Window constraints (VRPSTW). La contrainte de fenêtre de temps est alors relaxée permettant de livrer avant ou après le début et la fin de la fenêtre de temps. Par contre, une pénalité sera alors encourue reflétant l'insatisfaction des clients non desservis dans leur fenêtre de temps. Ioannou, Kritikos et Parastacos (2003) aborde ce problème dans leur papier. Ils proposent un générateur de problèmes de tournées de véhicules où chaque problème est caractérisé par un certain nombre de clients pour lesquels on peut violer la fenêtre de temps. Chacun des problèmes est résolu avec un approche de construction soit le voisinage le plus près. L'heuristique proposée permet de réduire le nombre de véhicules requis avec un faible degré de violation des fenêtres de temps et une durée des parcours intéressante.

Chen et Hsiao (2003) proposent que non seulement les nœuds aient des fenêtres de temps mais aussi les arcs. Effectivement, les voyageurs et les véhicules ne sont pas toujours disponibles pour effectuer un trajet entre deux villes. Cette contrainte nommée " body clock " vient du fait que les voyageurs ont un horaire de travail et doivent s'arrêter pour manger. Par ailleurs, les équipements nécessitent des opérations cycliques telles que les opérations de maintenance. Durant ces opérations, ils ne sont pas disponibles pour desservir un client. Les auteurs présentent donc deux algorithmes de construction pour les problèmes de livraison avec contraintes " body clock ". [2]

2.6.5 Multi-dépôts

Wu, Low et Bai (2002) présentent une méthode pour résoudre le problème de localisation et de tournées à partir de dépôts multiples (MDLRP). Les problèmes généraux de localisation et de tournées (LRP) permettent de trouver le nombre optimal de centres de distributions simultanément avec les cédules des véhicules et les routes de distribution dans le but de

minimiser le coût total du système. Étant donné la complexité inhérente à ce problème, les auteurs proposent une décomposition de ce dernier en un problème de localisation allocation (LAP) et en un VRP. Chaque sous-problème est résolu avec un algorithme de recuit simulé. La taille des problèmes étudiés varie de 75 à 150 nœuds.

Le deuxième article compose avec des dépôts multiples et des demandes stochastiques. Dans ce cas, ce n'est qu'une fois arrivé à un point de vente que le livreur découvre la demande réelle. Ainsi, Chan, Carter et Burnes (2001) traitent du problème de multi43 dépôts, multi-véhicules, de localisation et d'acheminement avec demandes stochastiques (MDMVRLP). Le ravitaillement d'une usine à partir de plusieurs dépôts nécessite plusieurs études. Tout d'abord, il est nécessaire de bien localiser les centres de distribution. Ensuite, une flotte de véhicules de livraison de la bonne taille doit être associée à chacun de ces centres. Finalement, les livraisons doivent être faites à temps et en fonction des matières premières disponibles. De nos jours, avec les livraisons justes-à temps, on souhaite répondre exactement à la demande en évitant le plus possible les surplus d'inventaire et les pénuries. Les auteurs proposent un modèle et une solution pour ce type de problème. Ils utilisent une adaptation de l'algorithme de Clarke et Wright afin de résoudre ce problème. Cette heuristique a été préférée puisqu'il est plus flexible permettant de mieux s'ajuster aux nombreuses contraintes de ce problème. Notons finalement que Renaud, Laporte et Boctor (1996) ainsi que Cordeau, Gendreau et Laporte (1997) ont proposé un algorithme de recherche tabou pour le problème de tournées de véhicules avec plusieurs dépôts. [13]

2.7 Autres généralisations du problème de tournées de véhicules

2.7.1 Problème de tournées sur les arcs

Lors de problèmes de tournées de véhicules, il est aussi possible que la demande soit située sur les arcs et non sur les nœuds. Plusieurs applications réelles de ce type de problème sont possibles tel que la collecte des ordures, le déneigement des routes et le balayage des routes. Le problème de tournée avec capacités sur les arcs est défini sur un graphe connexe non orienté avec des demandes connues et des coûts sur chacun des arcs. Les véhicules sont

identiques. Chacune des routes débute et se termine au dépôt. De plus, leur demande totale ne doit en aucun cas excéder la capacité du véhicule. Il suffit de trouver le coût minimum des routes pour les véhicules qui doivent parcourir tous les arcs. Les auteurs Belenguer et Benavent (2003) ont utilisé un algorithme de plan de coupe pour résoudre ce problème particulier. Par contre, Beullens, Muyldermans, Catrysse et Oudheusden (2003) ont préféré une heuristique de recherche non déterministe.

On a pu comparer les résultats obtenus par les deux articles traitant du problème de tournée avec capacités sur les arcs, puisque les tests ont été effectués sur les mêmes problèmes tirés d'articles de la littérature. Pour les 23 problèmes tirés de Golden et al. (1983), l'heuristique de Beullens et al. (2003) génère en moyenne des résultats légèrement meilleurs que Belenguer et Benavent (2003) mais nécessite un temps de calcul plus élevé.

2.7.2 VRP avec charges pleines

Dans la plupart des problèmes de VRP, on suppose que les chargements sont partiels (less than truckload) c'est-à-dire que l'on doit visiter plusieurs clients pour charger le camion.

Un chargement complet plus souvent appelé " full truckload " (TL) signifie que la commande d'un seul client permet de remplir la capacité du camion. Arunapum, Mathur et Solow (2003) abordent une variante du VRP considérant des chargements complets, il s'agit du " vehicle routing with full truckload " (VRPFL). Ce problème consiste à déterminer les routes ayant un coût minimum et permettant de livrer un nombre prédéterminé de chargements complets entre des paires de villes spécifiées en utilisant une flotte de véhicule situé à un ou plusieurs dépôts. Chaque route doit satisfaire des fenêtres de temps à chacune des villes où un chargement est effectué. Ainsi, les camions visitent des paires de villes contrairement au VRP qui visite seulement des villes.

L'algorithme utilisé prend aussi en considération des contraintes de fenêtres de temps. Finalement, lorsqu'un camion sur la route n'est pas en mouvement, une pénalité de temps d'attente est imposée. L'objectif est donc de minimiser les mouvements de véhicules vides puisqu'ils n'offrent aucune valeur ajoutée au produit final.

Arunapum, Mathur et Solow (2003) utilisent une méthode exacte de séparation et évaluation progressive pour résoudre le problème. Les tests ont été effectués sur des problèmes aléatoires. Le nombre maximal de villes a été restreint à 200. Le temps de résolution est évalué selon dif-

férents aspects soient l'effet d'une augmentation du nombre de paires de villes, du nombre de dépôts, de la largeur des fenêtres de temps et du coût de pénalité associé au temps d'attente. Plusieurs conclusions ont été tirées des résultats obtenus. Premièrement, le temps d'exécution tend à augmenter avec l'augmentation du nombre de paires de villes malgré que pour quelques problèmes, le temps de résolution a été plus rapide pour un plus gros problème. Cela s'explique par le fait que le nombre d'itérations est tout à fait arbitraire. Deuxièmement, le temps d'exécution est indépendant du nombre de dépôts. Ensuite, la largeur des fenêtres de temps c'est-à-dire la différence entre l'heure maximale de livraison et l'heure minimale augmente considérablement le temps de résolution du problème. Cela est certainement dû au fait que le nombre de routes réalisables chute dramatiquement avec la diminution de la largeur des fenêtres de temps. Finalement, aucune tendance n'a pu être décernée concernant le temps d'exécution lors de l'augmentation du coût associé au temps d'attente. Gronalt, Hartl et Reimann (2003) résolvent eux aussi ce problème avec un algorithme de séparation et évaluation progressive. Par ailleurs, ils proposent une relaxation du 54 problèmes pour générer des bornes inférieures utilisées pour évaluer quatre nouvelles heuristiques. Leurs tests démontrent que l'utilisation d'un coût d'opportunité améliore significativement la qualité des solutions. De plus, les auteurs ont évalué l'impact de l'augmentation de la largeur des fenêtres de temps.

2.7.3 VRP avec retour à charge

Le VRP avec retour à charge signifie qu'après avoir effectué ses livraisons, le retour au dépôt doit se faire en transportant de la marchandise. Osman et Wassen (2002) décrivent deux heuristiques de construction de routes permettant de générer une solution initiale. Ces routes sont améliorées grâce à une méta-heuristique de recherche réactive taboue. Le concept réactif permet de déclencher un échange entre structures de voisin afin d'intensifier et diversifier les phases de la recherche.

Bolduc (2003) a également étudiée ce problème. L'algorithme est basé sur les économies de Clarke et Wright (1984) et inclus plusieurs autres phases d'amélioration locale.

2.7.4 VRP avec cueillette et livraison avec charges pleines

Tout comme le problème de voyageur de commerce, le VRP peut lui aussi permettre d'effectuer différents types d'opérations. Ces opérations peuvent être des cueillettes et/ou livraisons. Lorsque ces deux types d'opérations sont combinés, on doit effectuer les cueillettes avant les livraisons associées. Par ailleurs, il est possible que les chargements soient complets ou partiels selon le poids ou l'espace utilisé dans le camion. Aussi, des contraintes de livraison avec cueillettes au retour peuvent être imposées. Un seul article traite du cas des cueillettes et livraisons dans un contexte de charges pleines (full truckload). Il s'agit du papier de Gronalt, Hartl et Reimann (2003). Les cueillettes sont effectuées à quelques centres de distributions et des commandes sont livrées aux clients. Ces derniers tentent de minimiser le mouvement des véhicules n'ayant aucune charge, donc n'ayant aucune valeur ajoutée pour le produit. Ils se sont basés sur le problème de cueillette et livraison avec des contraintes de fenêtre de temps pour développer quatre différentes heuristiques d'économies basés sur Clarke et Wright (1964) pour résoudre le problème. Ils introduisent ainsi les notions de coûts d'opportunité et valeurs de regret dans le calcul des économies de cet algorithme. Une borne inférieure est définie, cette dernière représente une solution ne comportant aucun mouvement de véhicules vides. La meilleure des quatre heuristiques présentées obtient des résultats à 5,94 % de la borne inférieure tandis que la pire des heuristiques permet d'obtenir des résultats à 7,99 de cette borne. Les problèmes possèdent les caractéristiques suivantes : 8 centres de distributions, 512 commandes, une longueur maximale de la route de 2 périodes, un horizon de planification de 8 périodes.

2.8 Applications pratiques des problèmes de tournées de véhicules

Plusieurs articles de la littérature concernent des applications réelles. Les auteurs doivent alors prendre en considération toutes les contraintes inhérentes au cas traité. Six papiers présentent des cas réels. Cette section présente un résumé de ces articles.

L'article d'Avella, Boccia et Sforza (2003) traite d'un cas réel d'un problème de livraison. Une compagnie doit livrer différents types de carburant à plusieurs stations d'essences à partir

d'un seul entrepôt. La flotte de véhicule comporte des véhicules de différentes capacités. Plusieurs autres contraintes ont été considérées lors de l'étude telle que la variabilité des commandes. Deux types d'approches sont présentés. Le premier est une heuristique best fit decreasing basé sur le packing/routing. La deuxième est une approche basée sur la formulation d'un problème de partition résolu à partir d'un algorithme de Branch-and-Price. Le second article considère le cas de cueillettes et livraisons. Par contre, plusieurs autres contraintes y sont aussi intégrées. Ainsi, Xu, Chen, Rajagopal et Arunapuram (2003) étudient un problème très souvent rencontré en pratique mais ayant reçu peu d'attention dans la littérature. Ce problème est composé de plusieurs dépôts ayant chacun plusieurs types de véhicules disponibles pour effectuer un ensemble de cueillettes et livraisons.

Chacune de ces commandes, cueillettes ou livraisons, a plusieurs fenêtres de temps. De plus, certaines contraintes de compatibilités doivent être respectées. Un type de véhicule ne peut transporter que les commandes compatibles avec ce type. Par exemple, les produits réfrigérés peuvent être transportés uniquement par un camion qui est réfrigéré.

D'autres produits ne peuvent être transportés ensemble dans le même véhicule, comme la nourriture et les produits chimiques. Finalement chacun des voyages effectués doit respecter le temps de travail maximal pour les conducteurs. Le coût de tournée à minimiser est déterminé par plusieurs facteurs incluant un coût fixe, la distance parcourue, le temps d'attente total et les haltes effectués par les chauffeurs pour respecter le nombre d'heures maximal de conduite. Les auteurs appliquent une génération de colonnes pour résoudre ce problème. Les sous-problèmes générés sont résolus par une heuristique. L'approche proposée permet de résoudre des problèmes avec plus de 200 commandes.

Brotcorne, Laporte et Semet (2003) dressent une revue littéraire des modèles ayant été développés pour traiter le problème de localisation et relocalisation des ambulances. Les modèles déterministes sont utilisés lors de l'étape de la planification et ignorent si les ambulances sont disponibles ou non.

Les modèles probabilistes reflètent le fait que les ambulances opèrent selon un système de file d'attente et ne peuvent pas toujours répondre à un appel. Finalement, des modèles dynamiques ont été développés afin de relocaliser rapidement les ambulances au cours d'une journée.

Chian et Russel (2003) intègrent les activités d'achat et distribution du gaz propane dans

la chaîne logistique. Les méthodes permettant de trouver des solutions sont le partitionnement et la recherche tabou. Les solutions proposées ont été appliquées dans un contexte réel et permettent d'épargner des coûts importants. Une chaîne logistique typique est définie comme suit : un producteur, des terminaux régionaux, des usines qui sont distributeurs et des clients possédant un réservoir à gaz propane. Les distributeurs de propane sont responsables de l'achat et de l'acheminement du propane à partir des terminaux régionaux jusqu'à leur usine de stockage.

Deux articles tentent de résoudre des cas réels de localisation de la demande sur les arcs. Ainsi, Baptista, Carvalho et Zùquette (2002) présentent une application réelle du problème de tournée de véhicule périodique. Cela signifie que l'on combine à la fois l'aspect temporel et spatial du VRP. Les auteurs présentent le cas réel du ramassage du papier recyclé effectué dans la ville d'Almada située au Portugal. Ce problème comporte de nouveaux attributs comme par exemple la fréquence des visites ne peut être établie à priori puisque le volume de papier est aléatoire. Une autre particularité de ce problème se trouve dans la fonction objective qui maximise les profits. De plus, la matrice des distances est asymétrique. La méthode proposée est basée sur un choix initial de collecte du papier, suivi par certains changements permettant d'augmenter le profit.

Par ailleurs, dans l'article de Jaszkiwicz et Kominek (2003), le problème réel concerne une compagnie de cueillette de déchets d'une ville de 600 000 habitants. La compagnie s'occupe de 60% de la cueillette de cette ville. Ainsi, il y a environ 30 000 conteneurs à déchet, groupés en secteur, qui doivent être vidés à des fréquences différentes. Chacun de ces secteurs doit être visité par un seul véhicule. Les distances et le temps de route ne sont pas symétriques. De plus, la flotte de véhicules est hétérogène, les véhicules diffèrent par leur capacité ainsi que leur coût d'utilisation. Habituellement, 30 véhicules sont disponibles pour la cueillette des déchets et en moyenne-t-il visitent le dépotoir deux fois par jour. À la fin de la journée, ils doivent retourner au dépôt vide afin d'être prêt pour le lendemain matin. Les décisions portent sur l'affectation des véhicules aux routes visitant les secteurs et les dépotoirs. L'objectif consiste à minimiser les coûts totaux d'opérations c'est-à-dire la somme des coûts reliés à la distance et aux temps de travail de chaque véhicule opérant dans une journée. L'approche de résolution se base sur un algorithme génétique.

Bien que cet article ne soit pas récent, Golden et Wasil (1987) décrivent une application dans

l'industrie des boissons gazeuses. Cette application nous intéresse puisqu'elle est celle qui est la plus près du sujet que nous traitons dans cet essai.

2.9 Méthodes de résolution

2.9.1 Algorithmes

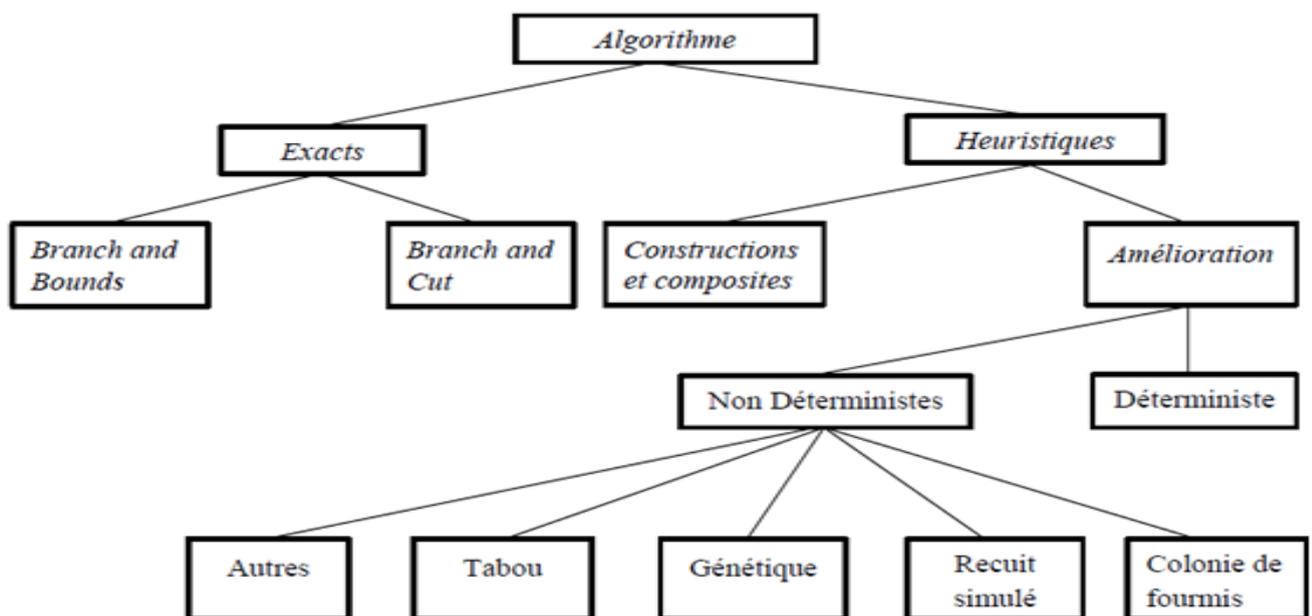


FIGURE 2.3 – Les algorithmes de résolution. [10]

2.9.2 Définitions

Dans le but de résoudre efficacement les problèmes présentés dans les sections précédentes, divers algorithmes ont été proposés. Le choix d'un algorithme repose évidemment sur le type de problème mais il est aussi primordial de considérer le temps de calcul et l'effort disponible pour trouver une solution. Dépendamment du choix de l'algorithme utilisé, nous obtiendrons une solution de qualité différente demandant un effort différent. Habituellement, la qualité de la solution est corrélée avec l'effort nécessaire pour l'obtenir.

Premièrement, nous pouvons séparer les algorithmes en deux catégories soit : les algorithmes

exacts et les heuristiques. La principale distinction à faire entre ces deux approches est la suivante, l'algorithme exact permet de trouver l'optimum tandis que l'heuristique s'en approche sans garantir de le trouver mais avec un moindre effort.

Les prochaines sections présentent brièvement les tendances dans le développement des algorithmes pour les problèmes de tournées. Nous nous sommes restreints aux publications des années 2000 à aujourd'hui. [4]

2.9.3 Méthodes exactes

Un algorithme exact permet de trouver la solution optimale. Or, cela exige un temps de calcul important puisque implicitement elle consiste à énumérer l'ensemble des solutions possibles. Ainsi, comme le temps de calcul risque d'augmenter exponentiellement avec la taille du problème, il n'est pas rare que ces méthodes rencontrent des difficultés lorsque la taille du problème augmente. On peut diviser les méthodes exactes selon trois différentes approches soient la séparation et l'évaluation progressive, la méthode de plan de coupe et la programmation dynamique. Cette dernière n'a été retrouvée dans aucun des articles étudiés alors nous nous pencherons seulement sur les deux premières approches. [17]

Séparation et évaluation progressive

L'algorithme de séparation et évaluation progressive, mieux connue sous le nom de "Branch and bound" se base sur l'énumération et l'évaluation des solutions possibles.

Cet algorithme construit une arborescence et évalue, pour chacune des branches, la possibilité de trouver la solution optimale. Ensuite, seuls les sommets qui semblent pouvoir mener à une solution intéressante sont examinés, évitant par le fait même de parcourir entièrement l'arbre des solutions.

Cet algorithme peut être utilisé pour résoudre plusieurs types de problèmes. Quatre papiers récents utilisent la séparation et l'évaluation progressive.

Génération de coupe

La génération de coupe, en anglais "branch and cut", est une généralisation de la séparation et l'évaluation progressive dans lequel plusieurs coupes sont générées afin de restreindre l'espace des solutions et ainsi augmenter la valeur de la relaxation linéaire. Cet algorithme

a été utilisé dans deux articles traitant de localisation de la demande sur les arcs. Cabral, Gendreau, Ghiani et Laporte (2003) présentent une solution pour le " hierarchical Chinese postman problem ". Ils réussissent à résoudre des problèmes avec 150 nœuds dans le cas où l'objectif consiste à minimiser le temps de route et de 50 nœuds lorsqu'il s'agit d'un objectif hiérarchique. L'article Belenguer et Benavent (2003) traite aussi d'un problème où les demandes sont sur les arcs, par contre, ils considèrent plusieurs véhicules et non un seul. Dans leurs cas, des problèmes de 50 nœuds et 97 arcs pour lesquels un service est requis ont été solutionnés.

2.9.4 Heuristiques

Les heuristiques ne garantissent pas l'obtention d'une solution optimale mais fournissent en général, dans un laps de temps raisonnable et à un coût acceptable, une solution dont les performances sont assez bonnes. Ils constituent donc une alternative intéressante lorsque l'optimalité n'est pas primordiale. Les heuristiques de construction permettent de former pas à pas une solution initiale qui pourra par la suite être améliorée grâce aux heuristiques d'amélioration. La solution initiale influence grandement la qualité de la solution finale qui sera trouvée, c'est pourquoi la recherche d'heuristique de construction est très importante. Par ailleurs, lorsqu'un algorithme est composé de plusieurs heuristiques, on dit alors qu'il s'agit d'une heuristique composite. [10]

Heuristiques de construction et composites

Les heuristiques de construction et les heuristiques composites occupent une place importante en optimisation, un nombre important d'auteurs présentent des articles utilisant ce type d'heuristique pour tous les problèmes de tournées. Effectivement, treize articles présentent une heuristique de construction et couvrent presque l'ensemble des problèmes de tournées. Souvent, ces articles présentent une heuristique de construction pour ensuite proposer une heuristique d'amélioration.

Les problèmes solutionnés sont très variés. Les problèmes étudiés couvrent le problème de voyageur asymétrique (Glover, Gutin, Yeo et Zverovich, 2001) au problème de tournées de véhicules avec dépôts multiples (Chan, Carter et Burnes, 2001) en passant par le problème de tournées avec fenêtres de temps (Chen et Hsiao, 2003 et Ioannou, Kriticos et Prastacos,

2003). De plus, les heuristiques présentées sont tout aussi variées passant de l'heuristique de balayage par Renaud et Boctor (2002) pour le problème de flotte hétérogène, à l'heuristique d'économie par Gronalt, Hartl et Reimann (2003) au " best fit decreasing " par Glover, Gutin, Yeo et Zverovich (2001).

Heuristiques d'amélioration

Les heuristiques d'amélioration débutent avec une solution initiale, générée par une autre méthode, et à l'aide de divers échanges tentent de trouver une meilleure solution. Ce type d'heuristique peut être divisé en deux selon qu'elle soit ou non déterministe. Les heuristiques non déterministes peuvent aussi être subdivisées en plusieurs méthodes. Toutes ces méthodes seront traitées dans la prochaine section. [1]

2.9.5 Les méta-heuristiques

Les méta-heuristiques ont connu un essor considérable depuis leur apparition dans les années 1970. Elles sont présentées par Osman et Laporte (1996) comme étant des méthodes d'approximation conçues dans le but de s'attaquer à des problèmes complexes d'optimisation qui n'ont pu être résolus de façon efficace par les heuristiques et les méthodes d'optimisation classiques. Ces mêmes auteurs définissent formellement la notion de méta-heuristique comme étant un processus itératif qui guide une heuristique subordonnée en combinant intelligemment différents concepts pour explorer et exploiter l'espace de recherche, et qui utilise des stratégies d'apprentissage pour structurer l'information dans le but de trouver efficacement des solutions les plus rapprochées possible de la solution optimale. [15]

2.9.6 Méthodes non déterministes

Les méthodes non déterministes peuvent être définies comme des méthodes qui utilisent l'aléatoire dans la sélection des voisinages à explorer ce qui aide à diversifier la recherche. Certaines se basent sur des phénomènes existant dans la nature pour explorer l'ensemble des solutions possibles. Aussi, elles utilisent un processus itératif qui se termine lorsqu'il atteint un critère d'arrêt prédéfini. Il existe une panoplie de critère d'arrêt. Par exemple, ce critère peut être l'obtention de la solution optimale si cette dernière est connue, un nombre

maximum d'itérations, un temps de calcul écoulé, un nombre d'itérations dans amélioration de la meilleure solution obtenue, etc. Le succès de ces méthodes dépend de plusieurs facteurs, comme la facilité d'implantation, l'habilité à adapter les contraintes d'applications réelles et la qualité des solutions produites. Les méthodes non 61 déterministes ont été regroupées selon quatre catégories : la recherche taboue, l'algorithme génétique, le recuit simulé et les autres méta-heuristiques.

La recherche taboue

Présenté par Ford Glover 1986, cette méta-heuristique itérative est qualifiée de recherche locale. En, effet l'idée de la recherche avec tabou consiste, à partir d'une position donnée, à en exploré le voisinage et choisir la position dans ce voisinage qui minimise la fonction objectif (pour un problème de minimisation). Il est essentiel de noter que cette opération peut conduire à augmenter la valeur de la fonction objectif, c'est le cas lorsque tous les points de voisinage ont une valeur plus élevée. C'est grâce à cette opération que l'on peut sortir d'un éventuel minimum local.

Le risque cependant est qu'à l'étape suivante, on retombe dans le minimum local auquel on vient d'échapper. C'est pourquoi il faut que l'heuristique ait de la mémoire. Le mécanisme consiste à interdire (d'où le nom de tabou) de revenir sur les dernières positions explorées. Les positions déjà explorées sont conservées dans une pile FIFO (appelée souvent liste tabou) d'une taille donnée, qui est un paramètre ajustable de l'heuristique. Cette pile doit conserver des positions complètes, ce qui dans certains types de problème, peut nécessiter le stockage d'une grande quantité d'informations. Cette difficulté peut être évitée en ne gardant en mémoire que les mouvements précédents, associés à la valeur de la fonction à minimiser c'est-à-dire qu'on mémorise les actions qui nous ont fait passer à la nouvelle solution voisine. [6]

L'algorithme génétique

L'algorithme génétique a été développé initialement par John Holland (1975) et ses étudiants à l'université du Michigan. Leurs recherches avaient pour but premier de concevoir des systèmes artificiels possédant certaines propriétés des systèmes naturels.

La génétique a été très populaire au cours des dernières années pour les problèmes de tour-

nées. [14]

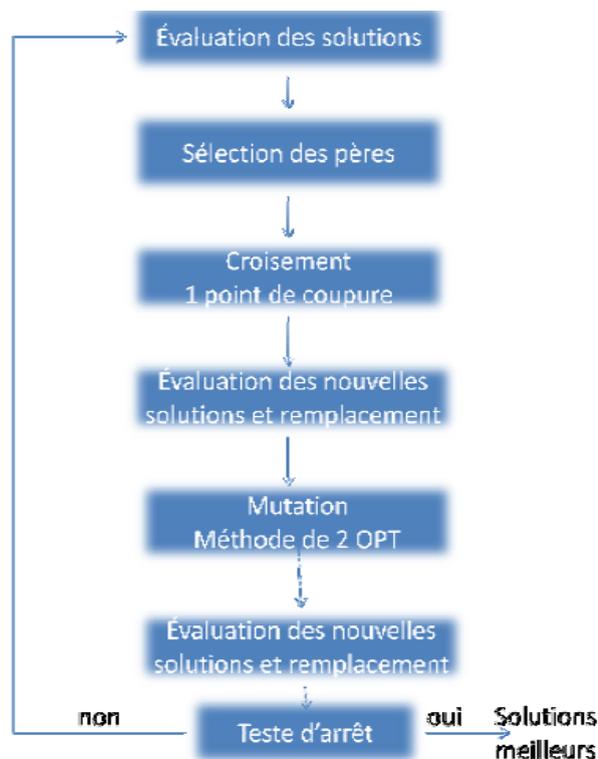


FIGURE 2.4 – Schéma d'un algorithme génétique.

Le recuit simulé

Le recuit simulé s'appuie sur un principe physique en métallurgie. On chauffe un métal puis on le laisse refroidir lentement ce qui permet d'augmenter le degré de liberté des atomes dans le but d'atteindre un nouvel état dynamique. Basé sur ce principe, la méthode du recuit simulé augmente le degré de liberté en permettant une dégradation de la solution. L'idée consiste à partir d'une solution initiale choisie au hasard puis à tester si cette dernière respecte toutes les contraintes. Si cela n'est pas le cas, on modifie légèrement la solution pour qu'elle les respecte. Ensuite, on examine les solutions voisines. Afin de pouvoir sortir éventuellement de l'optimum local, on accepte une dégradation de la solution dans une probabilité inversement proportionnelle à l'amplitude de cette dégradation. Ainsi, plus la dégradation est importante moins la chance de retenir cette solution est élevée. Puis, au fur et à mesure que l'on avance dans le temps, il devient de plus en plus improbable d'accepter

une dégradation. Le fait qu'un point peut être accepté parfois même s'il donne une valeur de la fonction plus grande que la valeur précédente permet à l'algorithme de quitter les minimums locaux et éventuellement de converger vers le minimum global. L'algorithme se termine lorsqu'un critère d'arrêt prédéfini est atteint. [16]

L'optimisation par colonie de fourmis

L'optimisation par colonie de fourmis est un algorithme très récent qui a été proposé pour la première fois en 1991 par Colorni, Dorigo et Maniezzo (1991). Elle est inspirée du comportement des fourmis. Ces insectes qui sont presque aveugles réussissent malgré tout à trouver le plus court chemin entre leur point de départ et la nourriture grâce à une forme d'apprentissage et à un moyen de communication : la phéromone. La phéromone est une substance déposée en quantité variable par une fourmi en déplacement. Ainsi, plus il y a de fourmis qui utilisent le même trajet, plus il y aura de phéromones sur ce dernier et plus il y a de chance que celui-ci soit choisi par les prochaines fourmis qui passeront. [12]

Conclusion

L'utilisation d'algorithmes exacts se fait de plus en plus rare, les chercheurs se pencher vers les heuristiques de construction et les méta-heuristiques. Finalement, il est possible d'affirmer que la recherche sur les problèmes de tournées continuera sans aucun doute à performer et à s'améliorer au cours des années futures.

Chapitre 3

Modélisation mathématique

3

Modélisation mathématique

Pour obtenir la meilleure contribution, il est nécessaire de construire un modèle mathématique correspondant au problème. Le but du modèle mathématique est d'évaluer toutes les tournées possibles permettant de livrer toutes les commandes. Ainsi, diverses solutions réalisables seront créés et parmi elles, uniquement la solution répondant le mieux à l'objectif, sera retenue.

3.1 Notation

Pour être en mesure de solutionner le problème à l'aide d'un modèle mathématique, il est d'abord nécessaire de définir les notations qui seront utilisées. Elles se subdivisent en deux types : les paramètres et les variables de décisions.

3.1.1 Paramètres

N : Nombre de stations.

i : Indice des stations, $i = 1, \dots, N$.

$i=0$: Le dépôt.

M : Nombre de commandes a livrer.

m : Indice des commandes, $m = 1, \dots, M$.

C : Nombre de citernes (3 citernes).

c : Indice des citernes $c = 1, \dots, C$.

V_c : Capacité de la citerne c .

cv_m : La quantité de la commande m passé par le client i .

$d_{ij} = d_{ji}$: La distance entre la station i et j .

t_i : Temps d'un aller-retour au dépôt, pour une livraison à la station i .

T : Temps d'un horizon de travail (avec la moyenne des heures supplémentaires) .

Comme il a y des heures supplémentaire a NAFATL alors on a pris la moyenne.

t_{iv} : Temps additionnel pour ajouter une commande de la station i .

h_c : Temps d utilisation du camion-citerne c durant un horizon T de travail.

3.1.2 Variables de décision

Après la définition des paramètres, les variables de décision du modèle ont été établies comme suit :

$$X_{ijc} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } c \text{ voyage de la station } i \text{ vers la station } j . \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

$$Y_{ic} = \begin{cases} 1 & \text{si la commande de la station } i \text{ est livrée par le véhicule } c \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

$$c = 1, \dots, C; i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N.$$

3.2 Modèle mathématique

Le modèle sera présenté en deux volets. D'abord, la fonction objectif spécifiera le but à atteindre lors de la résolution du problème. Puis, viendront les contraintes du problème, qui formeront les bases auxquelles le problème a été astreint.

3.2.1 Fonctions objectif

Afin d'obtenir des résultats adéquats, la définition de la fonction objectif doit déterminer précisément le but ultime à atteindre. Compte tenu des coûts qu'ils impliquent, le temps total de travail. Maximiser le nombre de commande client est le but principale recherché

par l'entreprise.

Cette objectif se modélise mathématiquement par l'équations suivante :

$$(max)Z_1 = \sum_{i=0}^N \sum_{c=1}^C Y_{ic} cv_i \quad (3.1)$$

(3.1) Permet de maximiser le nombres des commandes.

3.2.2 Contraintes

Pour toute entreprise, il est toujours préférable d'avoir les coûts d'exploitation les plus bas possible et les revenus les plus élevés. Le domaine du transport ne fait pas exception. La livraison implique des coûts liés principalement à l'exploitation des véhicules. Au moment de définir le modèle mathématique, il est important de tenir compte de ces contraintes, lesquelles affectent grandement la répartition des commandes.

Contrainte de capacité

Une affectation est possible si elle ne dépasse pas la capacité du véhicule concerné c'est-à-dire la somme des quantités demandées (volume) par les clients(stations) affectés au véhicule c ne doit pas dépasser sa capacité. Ces contraintes se modélisent par les inégalités suivantes :

$$\sum_{i=0}^M cv_i Y_{ic} \leq V_c \quad c = 1, \dots, C \quad (3.2)$$

Un client est satisfait par un ou plusieurs véhicules

Les véhicules doivent démarrer et revenir au dépôt pour chaque tournée autrement dit chacune des tournées débute et se termine au dépôt. En plus, un client peut être desservi par un ou plusieurs véhicules, ces contraintes se modélisent par les inégalités suivantes :

$$\sum_{c=1}^C Y_{ic} = C \quad i = 0 \quad (3.3)$$

$$\sum_{c=1}^C Y_{ic} \geq 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (3.4)$$

(3.3) chaque tournée débute et se termine au dépôt.

(3.4) garantissent que et que chacun des clients est affecté à un ou plusieurs véhicules.

Contraintes d'affectation des véhicules

Dans les problèmes de tournée de véhicules on doit assurer que chaque client soit visité une et une seule fois par le même véhicule dans la même tournée. Mathématiquement cette contrainte se modélise par les inégalités suivantes :

$$\sum_{i=0}^N X_{ijc} = Y_{jc} \quad j = 0, \dots, N, c = 1, \dots, C \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=0}^N X_{ijc} = Y_{jc} \quad i = 0, \dots, N, c = 1, \dots, C \quad (3.6)$$

3.3 Le modèle mathématique

$$\left\{ \begin{array}{l} \max Z_1 = \sum_{i=0}^N \sum_{c=1}^C Y_{ic} \\ \sum_{i=0}^N cv_i Y_{ic} \leq V_c \\ \sum_{c=1}^C Y_{ic} = C \\ \sum_{c=1}^C Y_{ic} \geq 0 \\ \sum_{i=0}^N X_{ijc} = Y_{jc} \\ \sum_{j=0}^N X_{ijc} = Y_{jc} \\ X_{ijc}, Y_{ic} \in \{0, 1\} \\ cv_i \geq 0 \end{array} \right.$$

3.4 Evaluation du modèle

La modélisation du problème nous a fourni un programme mathématique linéaire en variable mixte, car on a une fonction objective et deux types de variables de décision (continue et bivalentes).

3.4.1 Nombre de variables

Pour un problème de N clients et C véhicules le lancement du programme nécessite :

Pour les variables de type X_{ijc} :

Pour un véhicule donné on doit vérifier tous les chemins liant les clients donc on a :

$(N + 1) \times (N + 1) \times c$ variables.

Pour les variables de type Y_{ic} :

Pour un véhicule donné on doit vérifier tous clients donc on a $N \times c$ variables. Pour un véhicule donné on doit vérifier le temps d'arrivée pour tous clients donc au plus on a $N \times c$ variables.

Pour un véhicule donné on doit vérifier le temps d'arrivée pour tous clients donc au plus on a $N \times C$ variables

Si $N > C$ alors le nombre de variable est en $O(n^3)$

3.4.2 Nombre de contraintes

Pour les contraintes de capacité (3.2) on a $2 \times c$ contraintes.

Pour les contraintes (3.3) et (3.4) on a $N + 1$ contraintes.

Pour les contraintes d'affectation des véhicules (3.5) et (3.6) on a $2 \times (N + 1) \times c$ contraintes.

Conclusion

On voit bien que le nombre de contraintes est exponentiel en N ce qui veut dire que l'application d'une méthode exacte n'est pas intéressante car c'est très difficile et ça coûte beaucoup de temps d'exécution ainsi que l'encombrement mémoire, pour ces raisons nous avons pensé à appliquer une méthode approchée pour la résolution de notre problème.

Chapitre 4

*Méthode de résolution, implémentation
et résultats*

4

Méthode de résolution, implémentation et résultats

Traditionnellement, le domaine de l'optimisation combinatoire a longtemps privilégié les méthodes exactes au détriment des méthodes approchées. Les raisons de cette préférence sont multiples et tiennent tant à des facteurs historiques que théoriques. En particulier, le recours à des modèles exacts permet de bénéficier de résultats théoriques forts accompagnant les notions de convergence et d'optimalité globale. De fait, plusieurs problèmes classiques tels que le voyageur de commerce ou le problème de Steiner peuvent être résolus de manière exacte en un laps de temps raisonnable grâce à des techniques extrêmement performantes (par exemple le Branch and Cut) mais pour des tailles petites. Cependant, depuis la fin des années 80, les méthodes approchées, et plus particulièrement les heuristiques suscitent un intérêt croissant de la part des chercheurs. Ce succès tient pour une grande part à leur capacité à fournir des solutions d'excellente qualité au prix d'une consommation en ressources réduite. La perte du caractère optimal se voit donc compensée par la diminution des temps de calcul et donc par un accroissement de la capacité de réaction. Les heuristiques bénéficient également d'autres avantages significatifs tels que la faculté à s'adapter rapidement à des modifications structurelles du problème (ajout ou suppression de contraintes). Ces caractéristiques les rendent parfaitement adaptées aux exigences du milieu industriel, ce qui explique l'arrivée sur le marché d'un nombre croissant d'outils d'aide à la décision

intégrant les heuristiques.

Pour les problèmes NP-durs et, à ce jour, les chercheurs ont proposé des approches exactes qui ne permettent de résoudre que des instances de taille modeste. Lorsque l'on considère des cas plus complexes faisant intervenir des contraintes multiples ou que l'on doit résoudre des problèmes de plus grandes tailles, les approches heuristiques sont nécessaires. Depuis les années soixante, de nombreuses heuristiques dites classiques, ont été proposées par les chercheurs.

4.1 L'approche de résolution du problème

Pour notre problème nous avons développé une heuristique ($H2$) Composé de deux heuristique ($HU1$) et ($HU2$).

4.1.1 L'heuristique proposée

Les principales étapes de cette heuristique sont :

1. Affectation des citernes :

L'objectif de cette étape est d'affecté une citerne (c_1, c_2, c_3) de capacité respectivement $(10m^3, 15m^3, 20m^3)$ a un camion (f_1, f_2) . Habituellement, cette affectation est faite par rapport a la quantité demandée $((VR), (VH))$ par les stations des régions (\mathbf{R}, \mathbf{H}) .

Cette affectation est établie en utilisant la procédure suivante :

1 : Si la quantité des demandes passées par les stations \mathbf{R} est supérieure à la quantité des demandes passées par les stations \mathbf{H} alors le camion f_1 affecté a livré les stations \mathbf{R} prend soit c_2 ou c_3 selon **A1** et le camion f_2 affecté a livré les stations \mathbf{H} prend soit c_1 ou c_2 selon **B1** .

A1 : Si la quantité des demandes passées par les stations \mathbf{R} (VR) est supérieure a $15m^3$ alors le camion f_1 prend c_3 . Sinon le camion f_1 prend c_2 .

B1 : Si la quantité des demandes passées par les stations **H** (VH) inférieure ou égal a $10m^3$ alors :

- Si la quantité des demandes passées par les stations **R** (VR) est inférieure a $20m^3$ alors le camion f_2 prend c_1 ,
- Si la quantité des demandes passées par les stations **R** (VR) est supérieure a $20m^3$ alors le camion f_2 prend c_2 , parce que le camion f_2 peut livré des commandes de **R** si le temps d'un aller-retour pour ces livraisons hf_2 est inférieure à son horizon de travail (T).

2 : Si la quantité des demandes passées par les stations **R** est inférieure à la quantité des demandes passées par les stations **H** alors le camoin f_2 affecté à livrer les stations **H** prend soit c_2 ou c_3 selon **A2** et le camoin f_1 affecté à livré les stations **R** prend soit c_1 ou c_2 selon **B2** .

A2 : Si la quantité des demandes passées par les stations **H** (VH) est supérieure à $15m^3$ alors le camoin f_2 prend c_3 .

Sinon le camoin f_2 prend c_2 .

B2 : Si la quantité des demandes passées par les stations **R** (VR) inférieure ou égale à $10m^3$ alors :

- Si la quantité des demandes passées par les stations **H** (VH) est inférieure a $20m^3$ alors le camion f_2 prend c_1 ,
- Si la quantité des demandes passées par les stations **H** (VH) est supérieure a $20m^3$ alors le camion f_2 prend c_2 , parce que le camion f_1 peut livré des commandes de **H** si le temps d'un aller-retour pour ces livraison hf_1 est inférieure à son quart de travail (T).

2. Etablir la liste des commandes à livrer :

La liste des commandes est compose, des commandes passées par les stations **R** et **H**.

Afin que nous puissions établir la liste des commandes à affecter à chacun des camions il faut envisager tous les cas possibles, à savoir :

1^{er} cas : Si les deux camions (f_1, f_2) peuvent satisfaire toutes les commande passées les stations **R** et **H** c-à-d :chaque camion peut satisfaire les commandes passées par sa région dans son quart de travail($hf_i \leq T, i = 1, 2$).

En utilisant la procedure **TR1** :, on cherche s'il y a des demandes pour la prochaine livraison($t+1$).

- Si oui alors on essaie d'affecté quelques commandes si possible afin de minimisé la charge sur la prochaine livraison.
- Sinon fin de l'heuristique.

TR1 : Affecté les demandes en ordre décroissant d'éloignement des stations pour chaque camion en respectant la contrainte de la capacité et du temps.

c-a-d :($hf_i \leq T, i = 1, 2$) et $\sum_{i=0}^M cv_i Y_{ic} \leq V_c$

2^{eme} cas : Si l'un des camion peut satisfaire toutes les commandes passées et l'autre non alors :

En utilisant **TR1**, on es affecter les commandes de la région où le camion affecté ne peut pas satisfaire toutes les commandes à l'autre camion et cela si ce dernier peut le faire (c-à-d : $hf_i \leq T$) afin de satisfaire tout les commande ou de maximisé la quantité livré.

Pour cela nous avons développé une heuristique **HU1** qui prend en considération le temps d'un aller-retour hf_i pour les livraisons, l'horizon de travail T et la quantité à livrer (quantité maximale).

Etapes de HU1 :

Pour les commandes de la région non satisfaite on va affecter les commandes au camion de cette région en utilisant **TR1** .

pour les commandes restantes, on va les affectés à l'autre camion en utilisant la procedure **P1** suivante :

P1 : Ajouté une commande (m_i) au camion si l'ajout de cette commande vérifie les deux conditions suivante :

- Si le temps nécessaire pour livré cette commande (m_i) plus le temps d'un aller-

retour pour les livraison de ce camion est inférieur a le quart de travail(c-à-d : $hf_i + t_{mi} \leq T$).

— Si il reste de l'espace pour cette demande dans la citerne .

Et répété **P1** ;, tant que les deux conditions sont vérifiées.

3^{eme} cas :Si les deux camions ne peuvent pas satisfaire les commandes passées du coté de capacité alors :

On va affecter les commandes de sorte à maximisé les quantités a livré et a minimisé les demandes restantes (minimisé la charge de la prochaine livraison) de la façon suivante :

On cherche une affectation de toutes les commandes avec deux tournes si possible en utilisant la procédure **HU2** en respectant la contrainte du temps.

La procédure **HU2** :

— 1^{er} tourné, affecté les demandes en utilisant **TR1**.

— 2^{eme} tourné, affecté les demandes restantes des stations les plus loin, si toutes les demandes sont affectées alors : fin de l'heuristique.

— Sinon s'il reste du temps, on essaie d'affecté les demandes non affecté à l'autre camion en utilisant la procédure **P1**.

3. Etablir la liste des commandes à livrer dans le cas où l'un des deux camions tombe en panne :

Premièrement on va affecter la citerne la plus grande au camion.

Si la quantité de toutes les commandes est inferieur à la quantité de la citerne, alors :

— On cherche une affectation qui permis de livré toutes les commandes en utilisant la procédure **TR1** .

— Sinon on cherche une affectation des commandes avec deux tournes si possible en utilisant la procédure **HU2** en respectant la contrainte du temps.

Organigramme de l'heuristique

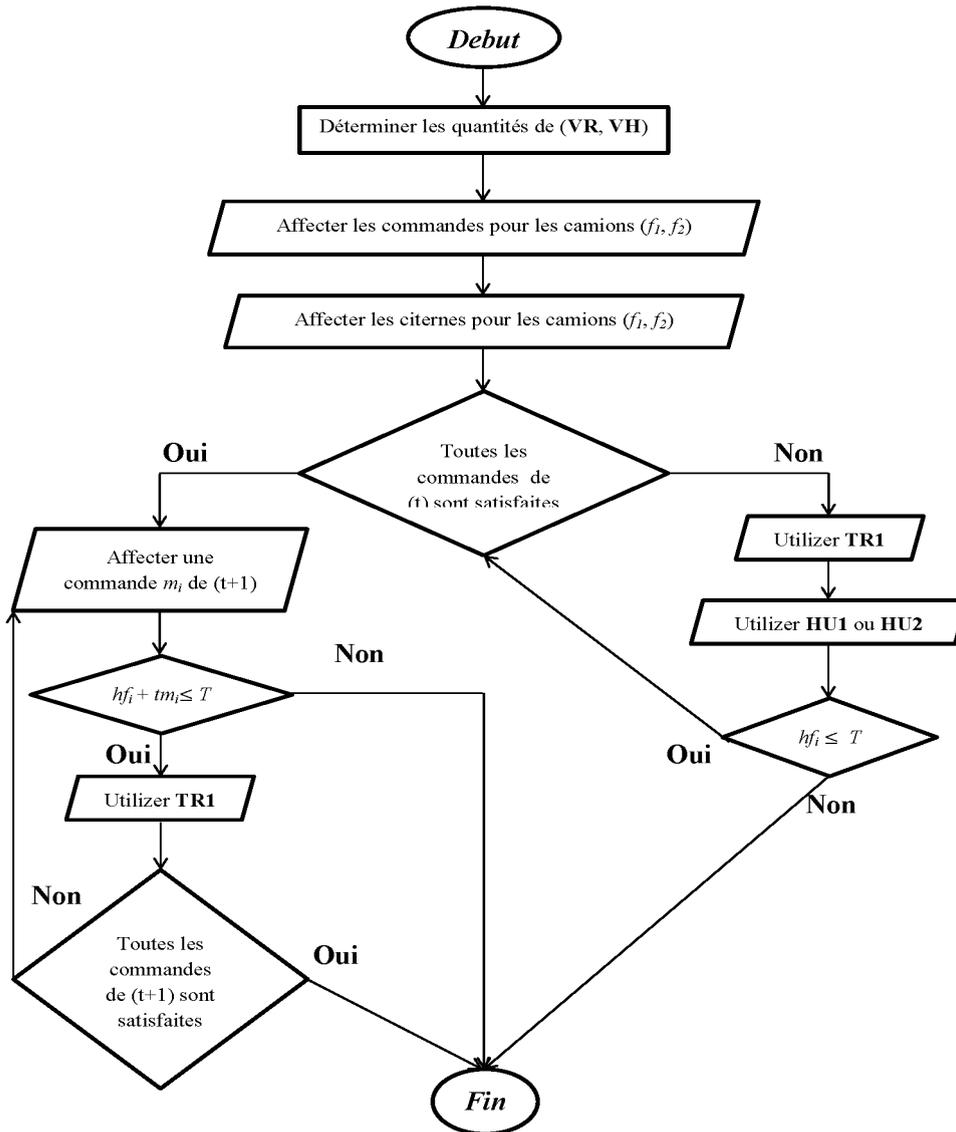


FIGURE 4.1 – Organigramme de l'heuristique

4.2 Exemple d'application :

Nous avons exécuté notre heuristique sous Matlab sur les données d'un exemple réel (de 1 au 15 mai 2016, la période de notre stage au sein de GPL) afin de pouvoir la tester.

Dans un premier temps, nous allons présenter les données dont disposait Naftal cette période-là,

Suivie par le programme donné par notre heuristique..

Demande enregistrée : Les demandes enregistrées (commandes en volumes m^3) des stations de service à un horizon de 48 heures dans les deux régions R et H, sont données par les deux figures suivantes (4.2,4.3) :

Jours \ Stations R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
GD Bejaia	0	4	0	5.5	2	0	0	0	8	0	6	0	4	3	3
GD Amizour	0	4	0	4	0	0	5.5	0	4	0	5.5	4	0	0	0
GD EL Kseur	0	3	0	0	4	0	4	3	2	0	2	0	4	0	3
GD Sidi aich	4	0	0	0	2	0	3.5	0	2.5	2.5	0	0	4	0	3
PVA Bouthagout Ouzelaghen	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	3	0	0
GD Akbou	0	0	0	0	4.5	0	2	0	0	3	0	0	0	4	0
PVA Rabia	5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
GD Tazmalt	7	0	4	0	4	0	4	0	4.5	3	0	0	0	5	0

FIGURE 4.2 – Demande enregistrée de la région R

Jours \ Stations H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PVA Saïdi Aokas	5	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	3	0
GD Souk El Thenine	0	6	0	6	0	0	4	0	5	0	2	0	2	4	0
GD Jijel	4	0	4	0	4	0	3	7	5	4	0	4.5	2.5	0	6
GD Taher	3.5	0	2.5	0	0	0	4.5	7	3	4	0	3	5	0	5
PVA Merimeche El Milia	6	0	0	0	0	0	5	7.5	7.5	0	0	10	6	0	4.5
PVA Ahmadi Mila	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6

FIGURE 4.3 – Demande enregistrée De la région H

Livraison réel : Les livraison réels des commandes aux stations de service dans les deux régions R et H, sont données par les deux figures suivantes (4.4,4.5) :

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Stations R															
GD Bejaia	0	4	0	5.5	2	0	0	0	8	0	6	0	4	3	3
GD Amizour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	4	0	0	0
GD EL Kseur	0	3	0	0	4	0	3	3	2	0	2	0	3	0	3
GD Sidi aich	4	0	0	0	2	0	3	0	0	2.5	0	0	0	0	3
PVA Bouthagout Ouzelaghen	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0
GD Akbou	0	0	0	0	4.5	0	2	0	0	3	0	0	0	4	0
PVA Rabia	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GD Tazmalt	7	0	4	0	4	0	4	0	4.5	3	0	0	0	5	0
Nombre Stations	3	2	1	1	5	/	5	1	4	3	3	1	2	3	3
Citerne utilise	c ₂	c ₂	c ₁	c ₁	c ₃	/	c ₂	c ₁	c ₃	c ₁	c ₂	c ₁	c ₁	c ₂	c ₁
Heures supplémentaire	0	0	0	0	0	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	16	7	4	5.5	16,5	0	15	3	17,5	8,5	13,5	4	7	11	9

FIGURE 4.4 – Livraison réel de la région R

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Stations H															
PVA Saïdi Aokas	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0
GD Souk El Thenine	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0
GD Jijel	4	0	4	0	4	0	0	7	0	4	0	4.5	0	0	6
GD Taher	3.5	0	2.5	0	0	0	0	7	0	4	0	3	0	0	5
PVA Merimeche El Milia	6	0	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	10	0	0	4.5
PVA Ahmadi Mila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Nombre Stations	4	1	2	1	1	/	/	3	/	3	1	3	/	2	4
Citerne utilise	c ₃	c ₁	c ₂	c ₂	c ₁	/	/	c ₂	/	c ₂	c ₁	c ₃	/	c ₁	c ₁
Heures supplémentaire	0.4	0	0	0	0	/	/	3.1	/	0	0	0	/	0	6
Total	18,5	6	6,5	4	0	0	0	21,5	0	11	2	14,5	0	7	21,5

FIGURE 4.5 – Livraison réel de la région H

Résultats de livraison en appliquant notre heuristique :

Les livraisons des commandes aux stations de service dans les deux régions R et H, sont données par les deux figures suivantes (4.6,4.7) :

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Stations R															
GD Bejaia	0	4	0	5.5	2	0	0	0	8	0	6	0	4	3	3
GD Amizour	0	4	0	4	0	0	5.5	0	4	0	5.5	4	0	0	0
GD EL Kseur	0	3	0	0	4	0	4	3	2	0	2	0	4	0	3
GD Sidi aich	4	0	0	0	2	0	3.5	0	2.5	2.5	0	0	4	0	3
PVA Bouthagout Ouzelaghen	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0
GD Akbou	0	0	0	0	4.5	0	2	0	0	3	0	0	0	4	0
PVA Rabia	5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
GD Tazmalt	7	0	4	0	4	0	4	0	4.5	3	0	0	0	5	0
Nombre Stations	3	3	1	2	5	/	7	1	6	3	3	1	4	3	3
Citerne utilise	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₃	/	C ₁	C ₃	C ₃	C ₁	C ₂	C ₁	C ₃	C ₂	C ₁
H-supplémentaire	0	0	0	0	0	/	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	16	12	4	9,5	16,5	/	2,75	3	24	8,5	13,5	4	15	12	0

FIGURE 4.6 – Livraison de la région R

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Stations H															
PVA Saidi Aokas	5	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	3	0
GD Souk El Thenine	0	6	0	6	0	0	4	0	5	0	2	0	2	4	0
GD Jijel	4	0	4	0	4	0	3	7	5	4	0	4.5	2.5	0	6
GD Taher	3.5	0	2.5	0	0	0	4.5	7	3	4	0	3	5	0	5
PVA Merimeche El Milia	6	0	0	0	0	0	5	7.5	7.5	0	0	10	6	0	4.5
PVA Ahmadi Mila	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6
Nombre Stations	4	1	2	1	1	/	5	1	2	3	1	3	4	2	1
Citerne utilisé	C ₃	C ₁	C ₂	C ₁	C ₁	/	C ₂	C ₁	C ₁	C ₂	C ₁	C ₃	C ₂	C ₁	C ₃
H-supplémentaire	0	0	0	0	0	/	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	18,5	6	6,5	6	14	/	21,5	21,5	22,5	11	2	17,5	14,5	7	21,5

FIGURE 4.7 – Livraison de la région H

Les commandes en rouge signifie qu'elles sont livré par l'autre camion que celui destiné à les livré (le camion de l'autre région).

Comparaison

On voit bien que notre heuristique donne des résultats assez satisfaisante, d'un côté les quantités livrés sont en moyenne supérieure de celle de NAFTAL et de l'autre côté on remarque une diminution de charge sur les prochaines livraisons, et cela se traduit de fait qua il y a des commande qui sont livré par l'autre camion que celui destiné a les livré. De plus les heures supplémentaires sont en dessous de la moyenne des heures supplémentaires de NAFTAL, et ça si parce que on a pris la moyenne des heures supplémentaires.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté notre heuristique adapté au problème étudié et après l'exécution et comparaison avec celle de NAFTAL on constat que l'objectif visé à atteindre est moyennement satisfais.

Conclusion générale

La distribution constitue une fonction complexe et fort coûteuse pour la plus part des entreprises et la nécessité de la gérer de manière rationnelle et efficace n'est plus à démontrer. L'intérêt porté par les chercheurs à cette discipline est à la mesure de son importance.

Le travail que nous avons présenté tout au long de notre projet consiste à traiter un problème de confection de tournées (un problème de tournée de véhicules), pour le District GPL de Bejaia qui fait face, en affectant des citernes aux stations-service pour la livraison de GPL/c " Sirghaz" et concevoir un planning de rotation et qui répond le mieux aux objectifs souhaités par le District selon les données existantes. A cela, s'ajoute le souci de l'entreprise de satisfaire l'ensemble de ses stations clients et de les approvisionner sans impliquer des ruptures de stocks.

A l'issue de l'analyse du réseau de distribution du GPL/c " Sirghaz" au niveau du District GPL de Bejaia, un modèle mathématique a été établi. Ainsi, nous avons proposé une approche heuristique pour la résolution du problème étudié.

Cette technique est générale et pourrait relativement facilement être adaptée à d'autres problèmes de distribution, comme on peut ajouter ou retrancher des contraintes ou objectifs au problème présenté par la société (multi-produits, multi-dépôts, etc...).

Finalement, nous espérons que ce travail soit bénéfique pour l'entreprise et qu'il ouvre une porte pour l'exploitation de plus en plus effective et croissante des techniques de la recherche opérationnelle.

Bibliographie

- [1] "*Document interne de Naftal*". (2016).
- [2] A. Bendaas, L. Baghouti. *Optimisation du Schéma de Distribution des Carburants*. Projet de Fin d'Etudes, Département de Recherche Opérationnelle, U.S.T.H.B, (2003).
- [3] J. Renaud, F. Boctor. "A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem", volume 140, 3 : 618-628. European journal of operational research edition, (2002).
- [4] J. Renaud, F.F. Boctor. "A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem", volume 140, 3 : 618-628. European journal of operational research edition, (2000).
- [5] Laporte et Osman. *Revue*. (1995).
- [6] F. Glover. *Heuristics for integer programming using surrogate constraints*, *Decision Science*, volume Vol. 13 (5), 1977, p. 156-166.
- [7] K. Helsgaun. "an effective implementation of the lin-kernighan traveling salesman heuristic". (2000), 126 , 1 : 106.
- [8] I.Nadir. *contribution à l'étude des facteurs entrant l'effet de la taxe enviromental en matiér de promotion du GPL/c :cas du transport routier algerien*. (2002).
- [9] M.L. Fisher, R. Jaikumer. *A generalized assignment heuristic for the vehicle routing, Network*, volume 13,109-124, (1981).
- [10] Potvin et Semet Laporte, Gendreau. *L'article*. (2000).
- [11] H. Li, A. Lim. "Local search with annealing-like restarts to solve VRPTW". European journal of operational research edition, (2003).

- [12] A. Coloni, M. Dorigo, V. Maniezzo. *Distributed optimization by ant colonies*, volume p. 134-142. "toward a practice of autonomous systems : proceedings of the first european conference on artificial life (ecal 91)", mit press edition, (1992).
- [13] M. Sari. *Investigation des Modèles à coûts unitaires Variables dans le cas d'un Système de Distribution à dépôt unique ou à plusieurs dépôts*, Thèse Magister,. Département de Génie Industrielle, E.N.P., thèse magister, edition, (1997).
- [14] E.K Baker, J.R. Scharffer. *Solution Improvement Heuristics for the Vehicule Routing problem and scheduling Problem with time Window constraints*. (1988).
- [15] J.F. Cordeau, M. Gendreau, G. Laporte, J-Y. Potvin, F. Semet. *A Guide to Véhicule Routing problem Heuristics*. *Journal of the Operational Research Society*, volume 53 :512-522. (2002).
- [16] A. Cerny, thermodynamical approach to the travelling salesman problem : an efficient simulation algorithm. *J. Optim. Theory Appl*, volume Vol. 45, 1985, p. 41-51.
- [17] P. Toth, D. Vigo. "Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem", volume 123, 1-3 : 487-512. Discrete applied mathematics edition, (2002).

Annexes

Annexe 1

Liste des stations à livrer

Code station	Station
1	GD Bejaia
2	GD AKBOU
3	GD TAZMALT
4	GD S. EL. THENINE
5	GD SIDI AICH
6	GD EL KSEUR
7	GD AMIZOUR
8	PVA ALLAGHEN(RABIA)
9	PVA BOUTAGHOUT(OUZELAGHENE)
10	PVA SAIDI (AOKAS)
11	GD JIJEL
12	GD TAHER
13	PVA MRIMECHE (EL MILIA)
14	PVA EL AHMADI (MILA)

Annexe 2

Liste des citernes dispose en GPL/c

Code citerne	Sa capacité (m ³)
S0380 (c ₁)	10
F0059 (c ₂)	15
F0112 (c ₃)	20

Annexe 3**données sur la flotte**

Nombre de camions	2
Vitesse moyenne prise en compte	50 km/h
Début de période	8 h 00
Fin de période	17 h 00
Temps de déchargement aux stations de service	(½) d'heure.

Annexe 4**Distances des stations affectées pour le camion (f1) par rapport au dépôt**

Code des stations	1	7	6	5	9	2	8	3
Distance (Km)	5	26	26	45	60	70	80	90
Temps (heures)	0.1	0.52	0.52	0.9	1.2	1.4	1.6	1.8

Annexe 5

Distances des stations affectées pour le camion (*f2*) par rapport au dépôt

Code des stations	10	4	11	12	13	14
Distance (Km)	22	37	100	110	140	160
Temps (heures)	0.44	0.74	2	2.2	2.8	3.2

Résumé

L'étude présentée dans ce mémoire consiste à élaborer un programme pour le processus d'approvisionnement des stations-service par le District GPL de Bejaia du produit GPL/c " Sirghaz ", en mettant une flotte des camions citernes à la disposition de la distribution.

Cette étude s'insère dans le domaine de l'optimisation combinatoire, et traite un problème de tournée de véhicule.

Après avoir cernée le problème sur le réseau de distribution du produit GPL/c, nous l'avons modélisée mathématiquement, ensuite nous avons proposé une heuristique pour la résolution du problème et on a implémenté un exemple sur l'heuristique proposé.

Mots-clés : Approvisionnement des stations-service, Tournées de véhicules, heuristique.

Abstract

The survey presented in this memory consists in elaborating a program for the process of stations-service provision by the District LPG of Bejaia of the product GPL/c" Sirghaz ", while putting a fleet of the trucks cisterns at the disposal of the distribution.

This survey fits in the domain of the combinative optimization, and treats a problem of turn's vehicle.

After having surrounded the problem on the network of distribution of the GPL/c product, we have it mathematically modeling, then we proposed a heuristic for the resolution of the problem and one has implemented an example on the heuristic proposed.

Keywords : Provision of the stations-service, Turned of vehicles, heuristic.