

10/89

وزارة التعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

2 ey

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **Génie Industriel**

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

ANALYSE ET ADAPTATION D'UNE APROCHE HEURISTIQUE DE  
RESOLUTION DU PROBLEME COMBINANT LA DETERMINATION  
DE LA FLOTTE ET L'ELABORATION DE TOURNEES DE LIVRAISON  
APPLICATION A L'UNITE U.P.L1 DE L'O.R.L.A.C BIRKHADEM.

**Proposé par :**

O.R.L.A.C

**Etudié par :**

D. SAIDI  
N. TOUATI.

**Dirigé par :**

Dr S.SALHI

PROMOTION : 1989

وزارة التعليم العالي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

# PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

ANALYSE ET ADAPTATION D'UNE APPROCHE HEURISTIQUE DE RESOLUTION  
DU PROBLEME COMBINANT LA DETERMINATION DE LA COMPOSITION DE LA  
FLOTTE ET L'ELABORATION DE TOURNEES DE LIVRAISON.

APPLICATION A L'UNITE U.P.L 01 DE L'O.R.L.A.C BIRKHADEM

Proposé par :  
O.R.L.A.C

Etudié par :  
D. SAIDI  
N. TOUATI

Dirigé par :  
Dr S. SALHI

PROMOTION : 1989

## DEDICACE

A tous ceux qui y attachent de l'importance.  
Nasséra

A la mémoire de mon admirable père  
A ma tendre mère  
A Ahmed (TILYSM...)  
A Sidi et Ahmed  
A Fahima, Fifi et Hayette

Doudja

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos plus grands remerciements:

- A notre promoteur, Dr Salhi, qui n'a pas ménagé sa peine et son temps pour encadrer notre travail et nous prodiguer ses précieux conseils.

- A l'ensemble des cadres des unités U.P.L 01 et U.P.L 02 de l'O.R.L.A.C 'qui nous ont permis d'accéder à toute l'information disponible.

- A Melle K. Tribèche et Mr Bouzaboudjen du ministère des finances pour nous avoir autorisées à poursuivre notre travail au niveau du centre de calcul de leur direction.

- Au bureau d'étude de la Sureté de Wilaya d'Alger pour nous avoir cédé les planimètres indispensables au bon déroulement de notre travail pratique.

Enfin, nous remercions parents et amis pour leur disponibilité, leur aide et leur soutien.

Département : Génie Industriel  
Promoteur : Dr S. Salhi  
Elèves ingénieurs: Melles D. Saïdi  
N. Touati



الموضوع: تحليل وتكييف طرق "هورستية" لحل مشكلة تحديد تركيب الأسطول  
واعداد برنامج الدورات.

تطبيق: مؤسسة انتاج الحليب ومشتقاته. الوحدة 01 بئر خاتم. الجزائر

الملخص:

يتطرق هذا العمل إلى مسألة من مسائل التوزيع الا وهي تحديد تركيب الأسطول واعداد برنامج الدورات. من اجل حل هذه المسألة، اختلفت الطريقة "هورستية" تتركز على مفهوم الاقتران. بعد ان برمجنا هذه الطريقة، اختلفت على مجموعة من المسائل ذات انشاء صنق. ثم وسعت للاخذ بعين الاعتبار تخيرية وحدة التكاليف. برهن ان هذه التبادلية لها تأثير مهم على تركيب الأسطول. اخيرا، طبق هذا العمل على مستوى وحدة انتاج الحليب ومشتقاته بئر خاتم.

Sujet: Analyse et adaptation d'une approche heuristique de résolution du problème combinant la détermination de la composition de la flotte et l'élaboration de tournées de livraison.

Application: unité U.P.L 01 de l'O.R.L.A.C

Résumé: Dans le présent projet de fin d'études, un problème de distribution combinant la détermination de la flotte et l'élaboration de tournées a été étudié. Nous avons opté, pour sa résolution, pour une approche heuristique basée sur le concept de l'économie. Nous avons programmé puis testé cette approche sur un ensemble de problèmes standards. Nous l'avons, par la suite, étendue pour inclure l'effet de la variabilité des coûts unitaires. Après évaluation, il s'est avéré que cette extension avait un impact considérable sur la configuration de la flotte. Finalement, nous avons appliqué nos travaux à un cas pratique au niveau de l'unité U.P.L 01 de l'O.R.L.A.C.

Subject: Analysis and adaptation of a heuristic approach used for the vehicle fleet mix problem.

Application: U.P.L 01 of O.R.L.A.C company

Summary: The present work deals with a vehicle fleet mix problem. A heuristic approach, based on savings has been used. This heuristic has been programmed and tested on a set of academic problems, then extended to include the variability in unit running costs. It has been shown that such a variability has an important effect on the composition of the fleet.

Finally, a real application based on data provided by U.P.L 01 of O.R.L.A.C company, has been carried out.

## SOMMAIRE

	Page
Introduction	1
Chapitre 1 Position du problème	
1.1 Présentation de l'unité et de son système de distribution	3
1.1.1 Présentation de l'O.R.L.A.C	
1.1.2 Unité U.P.L 01 de Birkhadem	
1.2 Structure de la demande et son impact sur le système de distribution	6
1.3 Position du problème	7
1.3.1 Perspectives de restructuration du réseau de distribution	
1.3.2 Position du problème	
Chapitre 2 Rétrospective des travaux de recherche	
2.1 Introduction	9
2.2 The Vehicle Routing Problem (V.R.P)	9
2.2.1 Définition du problème	
2.2.2 Approches de résolution	
2.2.3 Conclusion	
2.3 The fleet size problem	18
2.3.1 Définition du problème	
2.3.2 Approches de résolution	
2.3.3 Conclusion	
2.4 The fleet size and mix vehicle routing problem	18
2.4.1 Définition du problème	
2.4.2 Approches de résolution	
2.4.3 Conclusion	
Chapitre 3 Formulation et méthodologie	
3.1 Introduction	20
3.2 Formulation du problème	20
3.3 Méthodologie	22
3.4 Problèmes tests	29
3.5 Conclusion	33

## Chapitre 4 Extensions

4.1	Introduction	35
4.2	Extension de l'approche de Golden et al	35
4.2.1	Première variante	
4.2.2	Deuxième variante	
4.3	Contrainte supplémentaire	47
4.3.1	Principe de base	
4.3.2	Problèmes tests	
4.4	Conclusion	54

## Chapitre 5 Application

5.1	Introduction	55
5.2	Collecte des données	55
5.2.1	Collecte des données relatives aux clients	
5.2.2	Collecte des données relatives à la flotte	
5.3	Traitement des données	58
5.3.1	Traitement des données relatives aux clients	
5.3.2	Traitement des données relatives à la flotte	
5.4	Application	68
5.4.1	Analyse du cas pratique	
5.4.2	Première solution proposée	
5.4.3	Raffinement des solutions	
5.4.4	Solutions adaptées à la flotte disponible	
5.5	Etude de sensibilité	82
5.6	Solution relatives au réseau Alger-Est dans sa totalité	84
5.6.1	Détermination du nombre de véhicules nécessaires	
5.6.2	Raffinement de la solution relative aux zones de Baraki et Eucalyptus	
5.6.3	Détermination de la flotte relative au réseau Alger-Est dans sa totalité	

5.7 Implantation	87
5.7.1 Gestion des données	
5.7.2 Elaboration d'un programme de tournées	
5.7.3 Impression et visualisation des résultats	
5.8 Conclusion	91
Conclusion	93
Références	95
Annexes	97

## INTRODUCTION

Sous l'effet d'une révolution d'ensemble de l'économie et de la société, la distribution a été amenée à faire des efforts de modernisation, d'équipement et d'adaptation. En effet, entre une production et une consommation de masse, l'appareil commercial ne pouvait conserver indéfiniment une forme artisanale. Dans ce contexte, les managers de la distribution, font aujourd'hui de plus en plus appel à des outils de gestion très performants. C'est dire l'importance de la fonction distribution qui doit confronter et consolider les efforts de production et éviter les surcoûts.

En Algérie, pourtant, la problématique de la distribution a été conçue jusqu'à présent, comme un simple transfert administratif des biens et services. C'est cette situation qui nous a amenées à nous pencher sur un problème pratique de distribution d'un produit stratégique, le lait.

Dans l'industrie laitière, la fonction distribution est vitale car il s'agit non seulement d'un produit faisant l'objet d'une consommation de masse journalière, mais également d'un produit périssable, d'où la nécessité d'un schéma rationnel de distribution.

A partir de l'exemple concret de l'unité de l'O.R.L.A.C de Birkhadem (Alger), nous nous proposons d'établir un programme de tournées de livraison du lait, qui optimise et la flotte et la distance parcourue, dans la zone géographique qui nous a été soumise.

Pour répondre à cet objectif, nous avons dû nous référer aux différents travaux de recherche traitant du problème en question. A la suite de quoi, nous avons opté pour une approche de résolution. Ayant jugé qu'elle était perfectible, nous l'avons alors étendue pour inclure l'effet d'autres paramètres. Ces extensions ont été validées sur un ensemble de problèmes test.

En résumé, pour présenter nos travaux, nous commencerons, au chapitre 1, par une définition de la problématique de la distribution du lait et ce après diagnostic de la situation au niveau de l'unité de l'O.R.L.A.C de Birkhadem. Suivra, au chapitre 2, un éclairage théorique grâce à une rétrospective aussi

complète que possible des différents travaux de recherche se rapportant à la gestion de la flotte de distribution. Le chapitre 3, lui, sera consacré à la présentation de la formulation mathématique du problème et exposé de l'approche de résolution. L'extention de l'approche de base, en vue de lui faire inclure l'impact de la variabilité du coût unitaire par type de véhicule sur la solution finale, ainsi que les variantes développées seront présentées en chapitre 4. Quant à l'application au cas concret précité, elle fera l'objet du chapitre 5.

Enfin, nous terminerons par une conclusion et un certain nombre de suggestions portant sur le domaine de recherche que nous avons abordé et le cas pratique auquel nous avons été confrontées.

## CHAPITRE 1 - POSITION DU PROBLEME

### 1.1 Présentation de l'unité et de son système de distribution

#### 1.1.1 Présentation de l'O.R.L.A.C

L'O.R.L.A.C, Office Régional du Lait et des produits laitiers du Centre, a été créé par le décret n° 81/355 du 19 décembre 1981 dans le cadre de la restructuration globale des entreprises nationales (ONALAIT dans ce cas). Cet office est sous tutelle du ministère de l'agriculture et de la pêche. Il a entre autres pour mission de développer et gérer les industries de transformation du lait en vue d'assurer un approvisionnement régulier du marché national par une répartition rationnelle et équilibrée.

L'O.R.L.A.C possède 3 unités de production de lait (U.P.L.):

- l'U.P.L 01 - unité de Birkhadem- dans la wilaya d'Alger, produisant le lait, l'ben, les yaourts, les pâtes fraîches et la crème fraîche.
- l'U.P.L 02 - unité de Boudouaou- dans la wilaya de Boumerdes, produisant le lait, l'ben, les crèmes glacées et le fromage fondu.
- l'U.P.L 03 - unité de Drâa ben Khedda- dans la wilaya de Tizi Ouzou, produisant le lait, l'ben et les fromages.

Chacune de ces 3 unités assure l'alimentation en lait d'une zone spécifique.

#### 1.1.2 Unité U.P.L 01 de Birkhadem

La description de l'unité se limitera en fait à la description de la fonction distribution de lait qu'assure la sous-direction "Distribution". Mentionnons, à titre d'information, que les produits laitiers ne sont pas livrés: Les clients viennent s'approvisionner, directement, à quai d'usine.

### 1.1.2.1 Zones d'intervention

L'unité U.P.L 01 dessert:

- La wilaya d'Alger à l'exception de la périphérie EST.
- La daïra de Chéraga dans la wilaya de Tipaza.
- Les wilayas de Aïn-Defla, Médéa, Djelfa et Chlef.

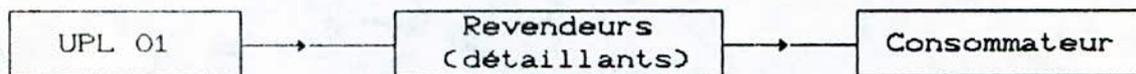
### 1.1.2.2 Circuits de distribution

Dans un souci de satisfaire le besoin de la population en lait, produit de première nécessité, l'unité a choisi de livrer elle même ses clients (grossistes ou détaillants).

Il existe 3 circuits différents de distribution:

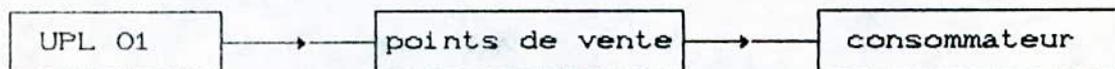
a- circuits courts:

Qui font intervenir un seul agent entre le producteur et le consommateur. C'est le circuit le plus pratiqué pour la distribution du lait. Il alimente la wilaya d'Alger et les wilayas limitrophes.



b- Circuits directs ou intégrés:

Dans ce cas, l'unité vend ses produits dans ses propres points de vente à Birkhadem, Kouba, Douira, Médéa et à l'unité même.



c- Circuits longs:

Ce sont ceux qui font intervenir au moins deux agents distincts entre le producteur et le consommateur: les dépositaires et les détaillants. L'unité U.P.L 01 livre 9 dépositaires répartis entre les wilayas de Chlef, Djelfa et Médéa.



Remarque:

Les collectivités locales (ANP, COUS, etc...) ainsi que certains

détaillants dont les locaux sont situés dans des ruelles inaccessibles s'approvisionnent à quai d'usine.

### 1.1.2.3 Organisation de la distribution du lait

Pour accomplir sa mission de distribution, l'unité est dotée d'une flotte propre (voir en annexe 1 la composition en nombre et en types de la flotte). Cette flotte s'étant révélée insuffisante, l'U.P.L 01 s'est vue dans l'obligation de faire appel, depuis 1980, à des distributeurs privés avec lesquels elle traite par contrats annuels. La rémunération de ces distributeurs s'élève à 0.15 DA/litre de lait distribué.

Signalons également, que les livreurs unité sont prioritaires par rapport aux distributeurs privés au moment du chargement des véhicules. Ce système de priorité a été établi en raison des difficultés que rencontrent les brigades de chargement et ce à cause des irrégularités de la chaîne de production qui provoquent un encombrement à quai d'usine.

#### Organisation des tournées:

Une tournée consiste en une séquence continue de clients qui commence et se termine à l'unité. Les tournées en vigueur, depuis 1978, à l'U.P.L 01 ont été élaborées par une méthode manuelle de partitionnement sectoriel. Le principe est d'affecter généralement à une même tournée tous les clients se trouvant dans une même rue, un même quartier ou une même agglomération.

L'organisation des tournées diffère selon que l'on intervienne dans la wilaya d'Alger, dans les wilayas limitrophes (Boumerdes, Tipaza, Aïn-Defla) ou dans les wilayas éloignées (Djelfa, Chlef, Médéa):

#### - Distribution dans la wilaya d'Alger:

Les livreurs unité ainsi que les distributeurs privés se chargent parallèlement de servir cette zone au moyen des véhicules de 4 tonnes, seuls autorisés à y circuler. On attribue à chacun d'entre eux 2 tournées spécifiques de 4000 litres chacune.

L'UPL 01 s'est vue obligée par les autorités de la wilaya d'Alger à desservir le lait pendant la nuit (jusqu'à au plus tard 8 heures

du matin) et ce à cause des problèmes de circulation. En raison de cette contrainte horaire, l'unité a opté pour un réseau de distribution avec des tournées fixes, car les clients exigent de connaître l'heure exacte (au quart d'heure près) du passage du distributeur devant leur local.

- Distribution dans les wilayas limitrophes:

On affecte à ce réseau les véhicules de 6 et 10 tonnes propres à l'unité. Pour ces wilayas, le distributeur n'est soumis à aucune contrainte horaire.

- Distribution dans les wilayas éloignées:

Les livreurs unité approvisionnent les dépositaires au moyen des véhicules de 20 tonnes de l'unité.

Au niveau de l'unité U.P.L 01, les commandes sont recueillies journalièrement lors du passage des livreurs ou distributeurs et sont centralisés au service " lait de consommation " de la sous-direction distribution.

## 1.2 Structure de la demande et son impact sur le système de distribution

Tout comme la plupart des produits comestibles, la structure de la demande des produits laitiers est caractérisée par un phénomène de saisonnalité. En Algérie, les mois de Mars, Avril et Mai sont des périodes de pointe pendant lesquels on est contraint de forcer sur les capacités de production. L'été par contre, est considéré comme une période creuse pour l'unité. Le parc véhicule disponible est alors sous-exploité d'autant plus que l'U.P.L 01 est toujours obligée d'accorder aux distributeurs privés leurs quote-parts à distribuer en raison du caractère annuel de leur contrat. En annexe 2 est présenté un graphe montrant l'évolution de la demande au cours de l'année.

Conjointement à ces variations saisonnières, la demande subit également des fluctuations journalières, suivant le gré des détaillants ou à cause de la survenance de nouveaux clients. A ce propos, l'un des principes de l'unité est de ne jamais refuser un

nouveau client. Elle préfère desservir un nombre toujours croissant de détaillants quitte à les rationner en période de forte demande, que d'avoir peu de clients et de créer ainsi des quasi-monopoles dans certains quartiers.

Notons, par ailleurs que mises à part les fluctuations de la demande, la production, donc l'offre, n'est pas régulière. Son irrégularité est due principalement au phénomène d'absentéisme, à la cadence variable de travail et aux pannes fréquentes des équipements. Ceci ne manquera pas d'affecter les quantités disponibles pour la distribution.

### 1.3 Position du problème

#### 1.3.1 Perspectives de restructuration du réseau de distribution

Dans le courant de l'année 1989, il est prévu l'entrée en service de deux nouvelles unités.

- L'unité de Blida
- L'unité de Ain-Defla

La direction générale de l'O.R.L.A.C a par conséquent, décidé de restructurer le réseau de distribution en effectuant un nouveau découpage géographique et une nouvelle répartition des zones d'intervention de chacune des unités. L'unité U.P.L 01 s'est vue attribuer la zone d'Alger-Est (desservie initialement par l'unité de Boudouaou) et supprimer les wilayas de Tipaza, Médéa, Chlef, Djelfa et Ain-Defla. Son champs d'action s'étendra donc dans la wilaya d'Alger toute entière.

Cette décision prise, il va falloir accommoder la flotte de distribution. Pour cela l'unité devra céder ses véhicules de 20 tonnes aux autres unités. Elle gardera les "4 tonnes" pour continuer à livrer la zone Alger-Centre. Quant aux "6 tonnes" et "10 tonnes" ils serviront éventuellement le réseau Alger-Est où la trafic routier ne constitue pas une contrainte. Il est question également que l'unité de Boudouaou affecte certains distributeurs privés qu'elle a agréés à l'unité de Birkhadem. Cette dernière préférerait, à priori, se contenter de sa flotte propre.

### 1.3.2 Position du problème

Ayant pris connaissance de la situation et des perspectives du système de distribution de l'unité U.P.L.O1 de l'O.R.L.A.C, nous nous sommes proposées, dans le présent travail, d'organiser les tournées devant desservir le réseau Alger-Est.

Le critère que nous avons adopté est purement économique. Il s'agit, en d'autres termes pour nous, d'élaborer un programme de livraisons qui minimiserait et le nombre de véhicules nécessaires et la distance totale parcourue.

Notre procédure d'optimisation devra tenir compte, d'une part, de la localisation géographique de l'ensemble des clients ainsi que de la liste de leurs commandes, d'autre part, des types de véhicules disponibles dans la flotte de distribution et des coûts fixes et variables qui leur sont associés.

Nous tenterons, par la suite, de faire une étude de sensibilité de cette dernière en rapport avec le phénomène de saisonnalité de la demande.

## CHAPITRE 2 - RETROSPECTIVE DES TRAVAUX DE RECHERCHE

### 2.1 Introduction

Un grand nombre de chercheurs se sont penchés sur les problèmes de gestion de la flotte pour tenter de réduire le coût de distribution. Ce dernier peut être ventilé en une partie variable, proportionnelle au kilométrage parcouru, et une partie fixe, coût lié à la possession d'un véhicule, indépendante du niveau d'activité. Il en découle 3 aspects fondamentaux du problème qui constituent, aujourd'hui, chacun un domaine d'intérêt propre. Ces trois aspects sont:

- L'élaboration d'un programme optimal de tournées de livraison et/ou de collecte, en l'occurrence "the Vehicle Routing Problem", noté V.R.P.
- La détermination de la composition optimale de la flotte, problème communément appelé "the Fleet Size Problem".

et enfin,

- Le problème combinant les deux aspects précédents soit "the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem".

### 2.2 The Vehicle Routing Problem (V.R.P)

#### 2.2.1 Définition du problème

Soit un ensemble de clients dont on connaît la localisation ainsi que la demande pour un certain produit. La livraison de ce produit se fait à partir d'un seul dépôt moyennant des véhicules de même capacité connue. Il s'agit alors de fixer une tournée pour chacun des véhicules tout en répondant aux contraintes suivantes:

- a- La demande de tous les clients doit être satisfaite.
- b- La capacité maximale de chacun des véhicules (poids, volume,...) ne doit pas être violée.
- c- Chaque client ne doit être servi que par un seul véhicule.
- d- Chaque véhicule ne peut être utilisé au delà d'un certain temps ou kilométrage.

Parmi les nombreuses formulations mathématiques du V.R.P, nous avons retenu celle due à Fisher et Jaikumar [12]:

$$\text{Fonction objectif} \quad \text{Min} \quad \sum_{ijk} c_{ij} x_{ijk}$$

Sujet à

$$\sum_t a_t y_{tk} \leq b_k, \quad k=1, \dots, K \quad (1)$$

$$\sum_k y_{tk} = \begin{cases} k & , i=0 \\ 1 & , i=1, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

$$y_{tk} = 0 \text{ ou } 1, \quad \begin{matrix} i=0, \dots, n \\ k=1, \dots, K \end{matrix} \quad (3)$$

$$\sum_t x_{tjk} = y_{jk}, \quad j=0, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_j x_{tjk} = y_{tk}, \quad t=0, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} = |S|-1, \quad S \subset \{0, \dots, n\} \quad (6)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ ou } 1, \quad \begin{matrix} i=0, \dots, n \\ j=0, \dots, n \end{matrix} \quad (7)$$

} k=1, \dots, K

notations:

K = nombre de véhicules.

n = nombre de clients. Les indices de 1 à n sont relatifs aux clients et l'indice 0 au dépôt central.

$b_k$  = capacité du véhicule k.

$a_i$  = demande du client i

$c_{ij}$  = coût du trajet du client i au client j.

$$y_{tk} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule k arrive du client i} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule k effectue le trajet direct du client i} \\ & \text{vers le client j.} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'objectif est de minimiser le coût lié au kilométrage parcouru.

Deux célèbres problèmes combinatoires sont traduits par cette formulation:

- Les contraintes (1) à (3) sont les contraintes d'un problème d'affectation et assurent que chaque tournée démarre et finit au

dépôt (client 0).

- Si les  $Y_{ik}$  satisfont (1) à (3), alors pour chaque  $k$  les contraintes (4) à (7) définissent ce que l'on nomme le "Problème du Voyageur de Commerce" (P.V.C), servant à ordonnancer les clients affectés au véhicule  $k$ .

A ce niveau, nous pouvons rappeler que lorsque la flotte est réduite à un seul véhicule de capacité infinie et n'ayant aucune contrainte sur la durée maximale d'une tournée, on retombe sur le problème du voyageur de commerce. Ce dernier cherche à établir la séquence à suivre pour visiter tous les clients, en passant une seule fois par chacun et en minimisant la distance totale parcourue. C'est un problème classique dont les applications, mises à part celles dans le domaine de la distribution, sont variées: ordonnancement de tâches, câblage de circuits électroniques, etc... [18]. Le livre publié en 1985, par Lawler, Lenstra, Rimmooy Kan et Shmoys [17], renferme un ensemble d'informations détaillées sur le P.V.C. Le lecteur intéressé est invité à s'y référer.

### 2.2.2 Approches de résolution

Le V.R.P est un problème combinatoire aisé à comprendre mais très délicat à résoudre. En effet, ce problème est facilement modélisable en un programme mathématique. Cependant toutes les procédures exactes de résolution établies jusqu'à ce jour requièrent un temps machine et un espace mémoire tels qu'il est impossible, vu leur taille, de les utiliser pour des problèmes réels. Le recours à des approches heuristiques s'est par conséquent imposé. Ce sont des approches intuitives, simples, rapides qui tout en ne garantissant pas l'optimum aboutissent à des solutions satisfaisantes. Un aperçu général sur les méthodes heuristiques est présenté en annexe 3.

Pour la résolution du V.R.P, plusieurs méthodes ont été élaborées.

Nous les illustrerons par les travaux de certains auteurs.

En général, ces méthodes s'insèrent dans la classification en 7 approches suivante; voir [4] et [12]:

- Approche basée sur la formulation en programmation mathématique :

Cette approche inclut les algorithmes découlant directement d'une formulation mathématique du problème sus-mentionné.

On peut citer en exemple les travaux se basant sur une formulation en un programme 0-1, tels ceux de Balinski et Quandt qui énumèrent toutes les tournées réalisables, ou ceux de Foster et Ryan qui eux ne considèrent que les tournées ayant une configuration spatiale particulière, en pétales. Les références des travaux des auteurs sus-cités figurent dans l'article de Watson-Gaudy et Foulds [28]. Stewart et Golden, quant à eux, ont abordé le problème différemment: Ils ont traité la contrainte de capacité en l'introduisant dans la fonction objectif et ont utilisé la technique du Lagrangien (voir référence dans l'article de Bodin et al [4]).

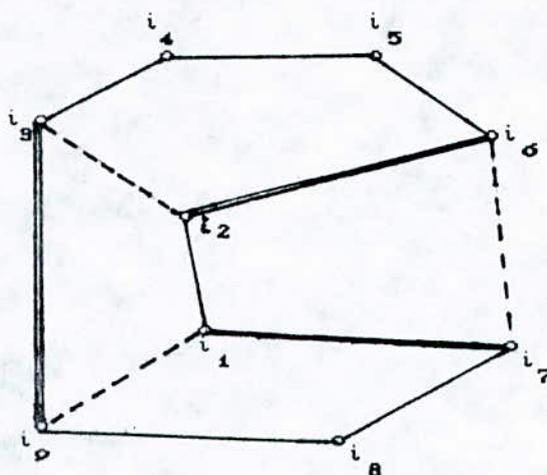
- Approche basée sur le raffinement d'une solution initiale, "tour improvement heuristics ":

Le principe de cette procédure est d'améliorer une solution préalable en réduisant son coût.

Dans ce cas, on ne peut que citer la célèbre procédure  $r$ -optimale, introduite par Lin [19] pour la résolution du P.V.C, puis adaptée au V.R.P par Christofides [7] (l'annexe 4 donne un aperçu sur les travaux de Christofides concernant la modélisation du V.R.P en un P.V.C).

L'amélioration s'obtient en substituant à  $r$  jonctions  $r$  autres de coût moindre, jusqu'à aboutir à une solution que l'on ne peut plus raffiner, dite  $r$ -optimale. La figure 2.1 illustre ce principe pour  $r=3$  (3-optimale).

La difficulté de cette approche est justement d'identifier la valeur de  $r$  la plus appropriée, c'est à dire celle qui concilie au mieux la qualité de la solution et le temps nécessaire de traitement. En effet, plus  $r$  est grand, plus la solution se rapproche de l'optimum, mais le temps de traitement devient trop important. En général, les approches 2-optimale et 3-optimale ont prouvé d'être les plus efficaces et les plus utilisées.



— anciennes jonctions  
 ..... nouvelles jonctions

Fig 2.1- Représentation de la procédure 3-optimale

Il existe par ailleurs, une heuristique de raffinement qui a été récemment proposée par Salhi et Rand [24]. Cette heuristique se base sur une solution initiale et sur les possibilités d'interchanger, de combiner et d'éliminer des jonctions ou de tournées.

- Approche basée sur la construction progressive de tournées, "tour building heuristics":

Cette approche est constituée essentiellement par des algorithmes basés sur le concept de "saving", dans lequel il s'agit de construire des tournées progressivement en réalisant une économie maximale. Cette économie est calculée sur la base d'une certaine fonction. On citera par exemple les travaux de Clarke et Wright [6], Gaskell [13], Tillman et Cochran (voir référence dans l'article de Watson-Gaudy et Foulds [28]).

Une autre méthode de construction des tournées a été proposée par Williams [29] qui consiste d'abord à choisir des points périphériques, auxquels il affecte au fur et à mesure les clients les plus proches.

- Les méthodes à deux phases , "Two phases methods":

Comme son nom l'indique, cette approche se propose de construire des tournées de distribution en deux étapes.

Deux variantes possibles existent alors:

a- "Cluster first - Route second approach":

On partitionne d'abord l'ensemble des clients en se référant à leur répartition géographique. Il s'agit par la suite d'appliquer le concept du voyageur de commerce à chacun de ces sous ensembles en vue d'établir la meilleure séquence à suivre .

Les travaux des auteurs adeptes de cette approche se différencient généralement par la procédure de partitionnement des clients. Tyagi (voir référence dans l'article de Fisher et Jaikumar [12]) a, par exemple, proposé la règle du "plus proche voisin". Gillet et Miller et Gillet et Johnson, ont opté pour une procédure de balayage (les références sont relevées dans l'article de Watson, Gaudy et Foulds [28]). Quant à Fisher et Jaikumar [12], ils se réfèrent, pour le partitionnement à un problème d'affectation.

b- Route first - Cluster second approach

Dans ce cas, il s'agit d'abord de rassembler les clients dans une tournée géante (une seule tournée comprenant tous les clients) en utilisant les algorithmes de résolution du P.V.C, laquelle tournée est généralement irréalisable. La seconde phase consiste à partitionner cette tournée en vue de respecter les contraintes du V.R.P. Les travaux de Beasley [2] illustrent cette approche. En annexe 5 est présentée une brève évaluation de l'approche "route first-cluster second".

- Approche interactive, "interactive optimization":

Dans ces procédures les tournées sont construites sous le contrôle du planificateur qui n'utilise l'outil informatique que pour évaluer les conséquences de ses décisions en termes de longueur de tournée, temps de service, utilisation du véhicule, etc...

L'avantage principal de cette approche est de tirer profit de l'expérience antérieure du preneur de décision.

Parmi les auteurs qui ont adapté une telle approche au V.R.P , nous pouvons citer Waters [27].

Un certain nombre d'éclaircissements concernant l'approche interactive sont données en annexe 6.

- Procédures exactes, "exact procedures":

Il serait évidemment intéressant d'obtenir des solutions exactes ou optimales du V.R.P. Cependant, vu la difficulté d'implantation de ces méthodes (Cf Chap 2.2.2 ) elles restent peu utilisées .

On peut citer en exemple la méthode "Branch and Bound". Initialement adaptée au P.V.C par Little et al [20] , elle a été étendue au V.R.P grâce aux travaux de Christofides, Mignozini et Toth [8]. L'extension consistait en fait à tenir compte des contraintes spécifiques au V.R.P

- Approche d'optimisation relaxée, "relaxed optimization":

Dans le cadre de cette approche, des chercheurs ont tenté de tirer profit d'un des grands avantages de la méthode "Branch and Bound", à savoir que cette méthode donne une solution jugée satisfaisante avant l'exploration complète de l'arbre. Se rapporter à l'article de Fisher et Jaikumar pour les références [12].

### 2.2.3 Conclusion

Il est impossible d'établir une hiérarchie parmi toute les méthodes de résolution du V.R.P sus mentionnées. Après différentes applications concrètes aucune d'elles n'a prouvé d'être uniformément plus performante qu'une autre. Néanmoins, l'approche 2 ou 3-optimale fournit de bons résultats et est d'ailleurs très utilisée. Pour plus d'informations sur le V.R.P, le lecteur intéressé peut consulter l'article des auteurs Bodin, Golden, Assad, et Ball [4].

## 2.3 The fleet size problem

### 2.3.1 Définition du problème

Soit une entreprise ayant à répondre à une certaine demande qui peut subir des fluctuations à court terme (variations journalières) et/ou à long terme (variations saisonnières).

Il s'agira donc pour elle, lors de la fixation de sa politique de distribution, de déterminer la part de la flotte qu'elle devra acquérir et celle qu'elle devra louer. En d'autres termes, il lui faudra éviter d'une part, d'acquérir un nombre élevé de camions qui, bien que fort utiles lors des périodes de pointe, demeurent le reste de l'année insuffisamment exploités, d'autre part d'exiger un plein emploi de ses ressources, ce qui l'amènerait aux moments de forte demande à supporter des frais importants de location. Il lui faudra en fait veiller à assurer un juste équilibre entre ces deux alternatives [15]

La recherche de la taille optimale de la flotte est une décision stratégique qui engage l'avenir car les coûts fixes représentent une grande proportion du coût de distribution, allant jusqu'à 80% du coût total [11].

### 2.3.2 Approches de résolution

Plusieurs approches ont tenté d'apporter une solution à ce problème. Kirby [16] a développé un modèle dans le cadre du transport ferroviaire. Il a supposé, d'une part, qu'un seul type de véhicules était disponible, d'autre part, que le modèle de la demande était stationnaire. Moyennant ces hypothèses, il a montré que l'on devait recourir à la location de véhicules uniquement pendant  $Y \frac{f}{h}$  jours de l'année.

Y: Nombre de jours d'activité dans l'année.

f: Coût fixe journalier lié à la possession d'un véhicule.

h: Coût journalier de location d'un véhicule.

Le but recherché était d'équilibrer les coûts d'acquisition de véhicules et ceux de location.

Wyatt [31] a étendu, par la suite, l'analyse de Kirby en introduisant les coûts variables de distribution.

Plus tard, Gould [15] s'est attaqué au problème des flottes hétérogènes. Il a considéré le fait que certains produits ne peuvent être chargés sur certains véhicules. Il était question de savoir combien de camions de chaque type étaient nécessaires sachant que chaque véhicule ne dessert qu'un seul client. Gould a résolu le problème en le formulant en un programme linéaire.

Alsbury [1] s'est placé, quant à lui, dans la situation particulière où les clients étaient très peu dispersés d'où la possibilité de négliger l'effet de leur affectation sur les frais variables de transport. Ceci lui a permis de se servir d'une méthode graphique pour déterminer la taille optimale de la flotte propre et par la même occasion le nombre de véhicules que la compagnie devra acquérir de l'extérieur aux moments de pointe.

Les trois approches sus-mentionnées présentent l'inconvénient de se limiter à un horizon d'un année. Mole [21], par contre, s'est proposé dans son approche de planifier la taille de la flotte sur plusieurs périodes. Il a cherché à travers son analyse à identifier les périodes pour lesquelles des décisions d'achat de véhicules doivent être prises. Il a suggéré une formulation en programmation dynamique où la variable de décision pour chaque période du planning n'est autre que la taille de la flotte propre à la compagnie.

On peut également citer les travaux de New [22] qui s'est penché sur un problème de planification de la flotte au profit d'une compagnie aérienne. Il a élaboré, dans ce contexte, un modèle linéaire dont le mérite est de tenir compte tout aussi bien de la contrainte budgétaire que du phénomène d'obsolescence technologique de l'équipement. D'autre part, l'auteur à la différence de ses semblables, n'a pas fait abstraction de l'influence de l'âge sur le coût de la maintenance et d'amortissement ainsi que sur le prix de revente du véhicule.

### 2.3.3 Conclusion

Si l'on se réfère au poids relatif des coûts fixes dans les frais de distribution, l'on serait tenté d'attacher plus d'importance au problème de la détermination de la composition de la flotte plutôt qu'au problème de l'élaboration des tournées de

livraison. On remarque pourtant que jusqu'à ce jour les chercheurs ont plutôt concentré leurs efforts sur le V.R.P, d'ailleurs la pauvreté de la littérature concernant le premier problème en est la preuve.

## 2.4 The Fleet size and mix vehicle routing problem

### 2.4.1 Définition du problème

Les deux aspects du problème de distribution relatés dans les deux sections précédentes faisaient intervenir en priorité, soit la composante variable, soit la composante fixe du coût total de distribution. Or, il est évident que ces deux aspects s'influencent mutuellement. Il serait, par conséquent opportun de les incorporer dans un même problème. C'est le but que l'on s'assigne dans le cadre du "Fleet Size and Mix problem" dans lequel on se propose d'optimiser et la composition, en nombre et en type, de la flotte et la distance totale parcourue.

Il s'agit, en d'autres termes, de minimiser simultanément les coûts fixes et les coûts variables de distribution, tout en respectant les contraintes classiques du V.R.P.

### 2.4.2 Approches de résolution

Aucune méthode efficace de résolution optimale du problème n'a été mise au point jusqu'à présent. On se rabat parfois sur des techniques de simulation pour évaluer les différentes options. Les approches heuristiques sont aussi très utilisées en pratique.

Golden, Assad, Levy, Gheysens [14] ont transposé ainsi l'approche des "savings" au problème ci présent. Ils ont intégré dans ce contexte les coûts fixes dans l'expression de l'économie  $s_{ij}$  réalisée en incorporant les clients  $i$  et  $j$  dans la même tournée. Ce qui a été à l'origine d'une nouvelle approche dite "The Combined Savings", de laquelle ont dérivé trois autres variantes. Ces mêmes auteurs ont appliqué l'approche "Route First Cluster Second" pour la résolution du "Fleet Size And Mix Problem". Leur extension tient compte des coûts fixes pour l'évaluation d'une

ournée. Il ont apporté par la suite une amélioration à cette approche. Elle consiste à supprimer le dépôt central de la tournée géante dans le but de considérer plusieurs éventuels partitionnement de cette même tournée géante et ce en démarrant à chaque fois à partir d'un nouveau point initial. La meilleure solution est sélectionnée. Celle ci peut en outre être raffinée en utilisant pour chaque tournée la procédure r-optimale. Testée sur 20 problèmes standards, cette approche s'est montrée plus performante que celle des "savings".

Gheysens, Golden et Assad (pour référence, voir l'article de Salhi et Rand [25]) ont développé une autre approche qui part de la configuration de la flotte donnée par une procédure dite "Lower Bound" de Golden et al. Le nombre de véhicules ainsi estimé constitue le nombre de points périphériques auxquels on affectera les véhicules et ce de la manière suivante: Au plus éloigné d'entre eux le plus gros tonnage ; Au suivant, le second, etc... L'affectation des clients aux véhicules est alors effectuée en résolvant le problème d'affectation dû à Fisher et Jaikumar. Finalement chaque tournée est réordonnée par le biais d'une procédure relative au problème du voyageur de commerce.

Salhi et Rand [25] ont conçu, quant à eux, une approche dans laquelle ils cherchent à explorer quelques possibilités d'amélioration d'une bonne solution initiale. Cette solution, correspondant à une flotte homogène, est générée par leur heuristique citée précédemment [24] (Cf 2.2.2). Dans cette approche, il s'agit de provoquer des perturbations qui peuvent éventuellement alourdir les coûts variables mais les gains en coûts fixes rapportés compensent largement ces surcoûts.

#### 2.4.3 Conclusion

Bien que ce soit le problème qui se rapproche le plus de la réalité, le "Fleet Size And Mix Vehicle Routing Problem" n'a pas reçu, tout comme le problème de la détermination de la composition de la flotte, l'attention requise de la part des chercheurs. Golden et al ont d'ailleurs relevé cette insuffisance [14].

## CHAPITRE 3- FORMULATION ET METHODOLOGIE

### 3.1 Introduction

Ayant exposé brièvement certains travaux relatifs aux différents problèmes de distribution, il est question à présent d'identifier la nature du problème que nous nous sommes proposées de traiter, soit l'organisation de la distribution de lait dans le réseau Est de l'O.R.L.A.C Birkhadem.

Le problème de livraison du lait, a souvent été considéré comme un problème de tournées où les clients sont les arcs d'un graphe (Arc routing problem), communément dénomé "The chinese postman problem". En fait, ceci est valable lorsque le produit est livré à domicile, donc les clients sont des habitations l'une à côté de l'autre. Dans notre cas, le produit doit être livré à des locaux biens distincts, les clients sont donc les sommets d'un graphe et par conséquent, nous sommes devant un "node routing problem".

D'autre part, tel qu'il a été posé au chapitre I, ce problème n'est visiblement autre qu'un "Fleet Size and Mix Problem".

Dans le présent chapitre, il s'agira en premier lieu de donner une formulation mathématique du problème, puis de choisir l'approche la plus appropriée pour sa résolution. Cette dernière sera enfin testée sur des problèmes standards tirés de la littérature [14].

### 3.2 Formulation du problème

Le problème a été formulé par Golden et al [14] comme suit:

Fonction objectif:

$$\sum_{k=1}^T f_k \sum_{j=1}^n x_{0j}^k + \sum_{k=1}^T \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij} x_{ij}^k$$

Sujet à :

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

$$\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0 \quad \begin{matrix} (k = 1, \dots, T) \\ (p = 1, \dots, T) \end{matrix} \quad (2)$$

$$r_0 = 0 \quad (3)$$

$$r_j - r_i \geq (d_j + a_T) \cdot \sum_{k=1}^T x_{ij}^k - a_T \quad \begin{matrix} (i=0, \dots, n) \\ (j=1, \dots, n) \end{matrix} \quad (4)$$

$$r_j \leq \sum_{k=1}^T \sum_{i=0}^n a_k x_{ij}^k \quad (j=1, \dots, n) \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in [0, 1] \quad \text{pour tout } i, j, k \quad (6)$$

Notations:

$n$  : Nombre de clients.

$T$  : Nombre de types de véhicules.

$a_k$  : Capacité du véhicule de type  $k$  ( $a_1 < a_2 < \dots < a_T$ ).

$f_k$  : Coût fixe d'acquisition du véhicule de type  $k$   
( $f_1 < f_2 < \dots < f_T$ ).

$d_j$  : Demande du client  $j$ .

$c_{ij}$  : coût du trajet du client  $i$  au client  $j$  ( $c_{ij}$  est supposé indépendant du type de véhicule et du sens du trajet)

$r_i$  : quantité cumulée desservie jusqu'au client  $i$ .

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k \text{ se déplace du client } i \text{ au client } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'indice "0" dénote le dépôt central.

Il est supposé qu'un nombre infini de véhicules de chaque type

est disponible.

$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k$  désigne le nombre de véhicules de type  $k$  utilisés. Donc le premier terme de la fonction objectif est équivalent à l'ensemble des coûts fixes. Le second terme par contre, représente l'ensemble des coûts variables.

Les contraintes (1) et (2) garantissent que chaque client est desservi une fois exactement et que chaque véhicule arrivant à un client quitte ce dernier (contrainte de continuité).

Les contraintes (3) et (4) d'une part définissent la variable  $r_i$  et d'autre part empêchent la formation de cycles dans la solution.

La contrainte (5) est une contrainte de capacité.

Cette formulation engendre  $n^2 \times T$  variables de décision et un système de  $n^2 + n(T+2)$  contraintes. Il est visiblement impossible, même pour des problèmes de petite taille de l'exploiter informatiquement, d'où la nécessité de recourir à une méthode heuristique.

### 3.3 Méthodologie

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi d'adopter l'extension de l'approche des "savings" due à Golden et al (Cf chap 2.2). Ce choix est motivé, en grande partie, par la simplicité, la flexibilité ainsi que par l'efficacité de cette approche.

A l'origine, l'approche des "savings" a été introduite par Clarke et Wright [6]:

#### Principe de base de l'approche des "savings"

Cette approche part de l'hypothèse à priori que la flotte est homogène et que chaque véhicule ne dessert qu'un seul client. Le coût variable total de distribution sera proportionnel, dans ce cas, à  $\sum 2 d_{0j}$ ;  $d_{0j}$  dénotant la distance du client  $j$  au dépôt. Supposons que les clients  $i$  et  $j$  fassent, par la suite, partie de

la même tournée, ceci impliquerait une économie potentielle  $S_{ij}$ :

$$S_{ij} = 2 d_{oi} + 2 d_{oj} - (d_{oi} + d_{oj} + d_{ij}) = d_{oi} + d_{oj} - d_{ij}$$

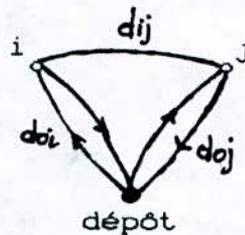


fig 3.1.- Illustration du "saving"

Le principe est d'établir progressivement des liaisons entre différents clients suivant l'ordre décroissant de leur "saving". Lors de la construction des tournées, la combinaison de deux tournées, par l'intermédiaire d'une liaison entre les clients  $i$  et  $j$  peut avoir lieu sous les conditions suivantes:

- Les clients  $i$  et  $j$  figurent aux extrémités de leurs tournées respectives.
- La tournée résultant de cette combinaison n'enfreint pas la contrainte de capacité des véhicules.

Finalement, l'algorithme de Clarke et Wright peut se résumer comme suit:

#### Algorithme de Clarke ET Wright (C.W)

- a- Calculer l'économie  $S_{ij}$  pour toute éventuelle liaison entre deux clients quelconques  $i$  et  $j$ .
- b- Classer les  $S_{ij}$  positifs par ordre décroissant.
- c- En commençant par la première liaison de la liste,
  - (i) Si en réalisant la liaison considérée qui peut soit:
    - avoir une extrémité commune avec une tournée préexistante;
    - constituer le début d'une nouvelle tournée ;
    - joindre deux tournées pour n'en former qu'une ;
 il en résulte une tournée réalisable, ajouter cette liaison à la solution.
  - Sinon la rejeter.

(ii) Passer à la liaison suivante et répéter (i) et ce jusqu'à l'achèvement de la liste.

d- Les liaisons retenues forment la solution finale.

#### remarque

L'algorithme ci-dessus génère simultanément plusieurs tournées. C'est l'approche dite concurrentielle. Dans une autre variante de l'approche des "savings" dite séquentielle, une tournée n'est entamée que si la précédente est complétée, c'est à dire lorsqu'on ne peut plus adjoindre à cette dernière un client sans violer les contraintes du problème.

Quoiqu'il en soit, la procédure de Clarke et Wright, notée dorénavant C.W, est jugée déficiente pour le "fleet size and mix problem" car elle ignore les coûts fixes de distribution. Elle a tendance, de par son principe de minimiser la distance totale parcourue, à combiner des tournées jusqu'à saturer les plus gros tonnages. Malheureusement, une flotte composée presque entièrement des véhicules de plus grande capacité, n'est sûrement pas la moins coûteuse [14].

Il est donc nécessaire d'étendre le concept classique des "savings" pour qu'il puisse inclure les coûts fixes. C'est dans ce but qu'une approche dite "The Combined Savings" a été développée.

#### "The Combined Savings approach (C.S)"

La nouvelle expression du "saving",  $\bar{S}_{ij}$ , devra tenir compte du fait que le coût total de chaque tournée est égal à la somme du coût lié au kilométrage parcouru et du coût fixe du véhicule consacré à cette tournée.

Pour établir l'expression de  $\bar{S}_{ij}$  on définit une fonction F par:  
 $F(z)$  = Coût fixe du plus petit véhicule qui peut servir une demande de taille z.

Considérons à présent deux tournées I et J ayant comme une de leurs extrémités respectives i et j et desservant respectivement les quantités  $z_1$  et  $z_j$ . Si ces deux tournées sont combinées, il s'ensuivra une économie  $\bar{S}_{ij}$  :

$$\bar{S}_{ij} = S_{ij} + F(z_1) + F(z_j) - F(z_1 + z_j)$$

L'algorithme C.S est similaire à l'algorithme C.W à la différence que les "savings" doivent, cette fois, être recalculés à chaque itération.

Telle qu'elle a été exposée, cette approche présente un inconvénient grave en ce sens qu'elle ne considère que l'économie immédiate réalisée en joignant deux clients  $i$  et  $j$ .

Pour mieux expliciter cet inconvénient, examinons l'exemple ci dessous:

Soient 3 tournées I, J et K. Supposons que chacune d'elles dessert une quantité 100 par un véhicule de capacité 100 (T100). Supposons par ailleurs que la capacité suivante des véhicules disponible soit 300 (T300). Il va de soi qu'un véhicule T300 coûte beaucoup plus cher qu'un T100. Il se pourrait cependant qu'il soit plus économique de disposer d'un véhicule T300 qui combine les 3 tournées I, J et K plutôt que de les faire desservir individuellement par 3 véhicules T100. Or, cette combinaison n'aura pas forcément lieu dans le cadre de l'approche C.S. En effet, étant donné qu'on ne peut combiner que deux tournées à la fois, il est fort possible que l'économie de toute éventuelle liaison entre deux extrémités quelconques des tournées soit négative et ce à cause du coût important des véhicules T300. Dans ce cas, l'approche C.S ignore le fait qu'en combinant deux tournées par un véhicule T300, il reste une capacité inutilisée du véhicule, de taille 100, qui pourrait plus tard, absorber des tournées additionnelles.

En réponse à des situations telles que celle décrite ci dessus, est apparue l'approche dite "The Opportunity Savings" dans laquelle on tente de tenir compte des capacités potentielles des véhicules non entièrement utilisés.

#### "The opportunity savings algorithms"

Ces algorithmes partent du principe que l'économie totale réalisée en joignant deux clients se décompose en:

- économie en coûts variables
- économie en coûts fixes
- opportunités de "saving"

Les opportunités de "saving" sont fonction de la capacité inutilisée du véhicule desservant les deux tournées combinées.

Il existe deux variantes de ces algorithmes:

- a- "Optimistic opportunity saving" (O.O.S)
- b- "Realistic opportunity savings" (R.O.S)

#### a " the optimistic opportunity savings" (O.O.S)

Dans ce cas L'opportunité des "savings" est arbitrairement définie comme étant le coût du plus petit véhicule pouvant contenir entièrement la capacité inutilisée du véhicule combinant deux tournées données, en une tournée, disons R.

En fait, cet algorithme a une démarche optimiste puisqu'il suppose qu'une tournée S, de demande totale égale à la capacité inutilisée du véhicule desservant la tournée R, existe toujours et serait, à une itération future, combinée à R. L'occasion de réaliser ce "saving" se matérialisera lorsque la dite combinaison aura lieu, et ce sous forme d'une économie en coûts fixes. Quant à l'opportunité des "savings" en coûts variables, elle n'est pas considérée car difficilement estimable à priori.

Pour une description plus formelle de l'algorithme, définissons la fonction P par:

$P(z)$  capacité du plus petit véhicule pouvant charger la quantité z desservie par une tournée donnée.

L'algorithme O.O.S se déroule comme le C.S, excepté que l'expression du "saving" devient dans ce cas:

$$S_{ij}^* = S_{ij} + F(z_i) + F(z_j) - F(z_i + z_j) + F(P(z_i + z_j) - z_i - z_j)$$

F étant définie comme précédemment

L'approche O.O.S a été conçue pour répondre au fait que l'approche C.S sous combinait les tournées. Mais il est apparu qu'elle avait tendance à les surcombiner, sans que cela soit toujours opportun. Pour trouver un juste équilibre entre ces deux situations, l'approche "Realistic Opportunity Saving" (R.O.S) a été développée.

b "the realistic opportunity saving" (R.O.S)

Cette approche renferme deux principes fondamentaux qui sont:

- La finalité de la considération de l'opportunité des "savings" est d'encourager l'emploi des gros tonnages lorsque cela paraît profitable. La règle serait donc d'introduire cette opportunité dans l'expression du "saving" uniquement dans le cas où la combinaison de deux tournées requiert un plus grand véhicule que celui consacré aux deux tournées préalables.

- L'expérimentation informatique a prouvé que la demande totale d'une tournée était généralement proche de la capacité du véhicule de la tournée en question. Par conséquent, au lieu d'affirmer que le véhicule qui pourrait être éventuellement éliminé en combinant deux tournées est le plus petit véhicule qui puisse contenir la capacité inutilisée, il serait peut être plus approprié de lui préférer le plus grand véhicule dont le tonnage est inclus dans la dite capacité inutilisée.

Introduisons alors une fonction  $F'(z)$  analogue à  $F(z)$ .

$F'(z)$  = Coût fixe du plus grand véhicule de capacité inférieure ou égale à  $z$ .

Considérons à présent deux tournées I et J de demandes totales respectives  $z_1$  et  $z_j$  et ayant à l'une de leurs extrémités respectivement les clients i et j. Supposons, à titre d'exemple, que  $z_1 \geq z_j$

De part les fondements de cette approche, deux cas peuvent se présenter :

- Si  $F(z_1+z_j) = F(z_1)$  alors le "saving" n'est autre que  $\bar{S}_{1j}$ , identique à celui de l'approche C.S.

- Si  $F(z_1+z_j) > F(z_1)$  alors l'opportunité de "saving" devra être comptabilisée dans le saving total dont l'expression est:

$$S'_{1j} = \bar{S}_{1j} + F'(F(z_1+z_j) - z_1 - z_j)$$

Le déroulement de tous les algorithmes de l'approche des "savings" mentionnés jusqu'à présent, montre que l'introduction d'une certaine liaison est systématique et définitive, alors que la prise en compte d'une liaison moins économique pourrait permettre ultérieurement l'obtention d'une meilleure solution.

En d'autres termes, l'approche des "savings" ignore l'impact futur de la concrétisation d'une liaison donnée.

C'est pour remédier à cette limite que Golden et al ont exploité la formule des "savings" modifiée qui a été élaborée par Gaskell [13]. Un paramètre variable,  $\gamma$ , est alors incorporé dans la formule du "saving". Ce paramètre sert à donner plus ou moins de poids à la distance entre clients ou entre client et dépôt, ce qui générera des tournées soit radiales soit circonférentielles (voir annexe 7).

La formule des "savings" de Clarke et Wright devient alors :

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - \gamma C_{ij}$$

Appliquée à l'approche R.O.S, la formule du "saving" devient :

$$S''_{ij} = S'_{ij} + (1-\gamma)C_{ij} \quad ; \quad S'_{ij} : \text{Saving dans le cas de la R.O.S}$$

d'où le nom de cette nouvelle approche : R.O.S  $\gamma$ .

R.O.S  $\gamma$  a été testée pour  $\gamma$  variant de 0.0 à 3.0 avec des pas de 0.25, soit un total de 13 essais.

Il est clair que pour  $\gamma=1$  on retombe sur l'algorithme R.O.S.

Le tableau 3.1 ci après résume les expressions des "savings" relatives aux 5 algorithmes de l'approche qui a été décrite.

Table 3.1 - Résumé des algorithmes de "saving"

Algorithme	Savings	Formule des "Savings"
C.W	$S_{ij}$	$C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$
C.S	$\bar{S}_{ij}$	$S_{ij} + F(z_i) + F(z_j) - F(z_i + z_j)$
O.O.S	$S_{ij}^*$	$\bar{S}_{ij} + F\left[ P(z_i + z_j) - z_i - z_j \right]$
R.O.S	$S'_{ij}$	$\bar{S}_{ij} + \delta(w) F\left[ P(z_i + z_j) - z_i - z_j \right]$
R.O.S $\gamma$	$S''_{ij}$	$S'_{ij} + (1-\gamma) C_{ij}$

où:

$F(z)$  = coût fixe du plus petit véhicule qui peut servir une demande de taille  $z$

$P(z)$  = Capacité du plus petit véhicule qui peut servir une demande de taille  $z$

$F'(z)$  = Coût fixe du plus grand véhicule ayant une capacité inférieur ou égale à  $z$

$$w = P(z_1 + z_j) - P(\max(z_1, z_j))$$

$$\delta(w) = \begin{cases} 0 & \text{si } w = 0 \\ 1 & \text{si } w > 0 \end{cases}$$

Un organigramme résumant l'approche de résolution pour les algorithmes C.S, O.O.S et R.O.S  $\gamma$  est présenté en figure 3.2.

### 3.4 Problèmes tests

Ayant opté pour l'approche des "savings" de Golden et al, il s'agissait pour nous de programmer les 4 algorithmes C.W, C.S, O.O.S, R.O.S  $\gamma$ . Ceux ci ont été par la suite testés sur les mêmes 20 problèmes tests que ceux avec lesquels Golden et al ont prouvé l'efficacité de leurs approches.

Les problèmes tests sont des problèmes de différentes tailles (le nombre de clients varie de 12 à 100) et correspondent à des configurations diverses de la flotte.(voir annexe 8).

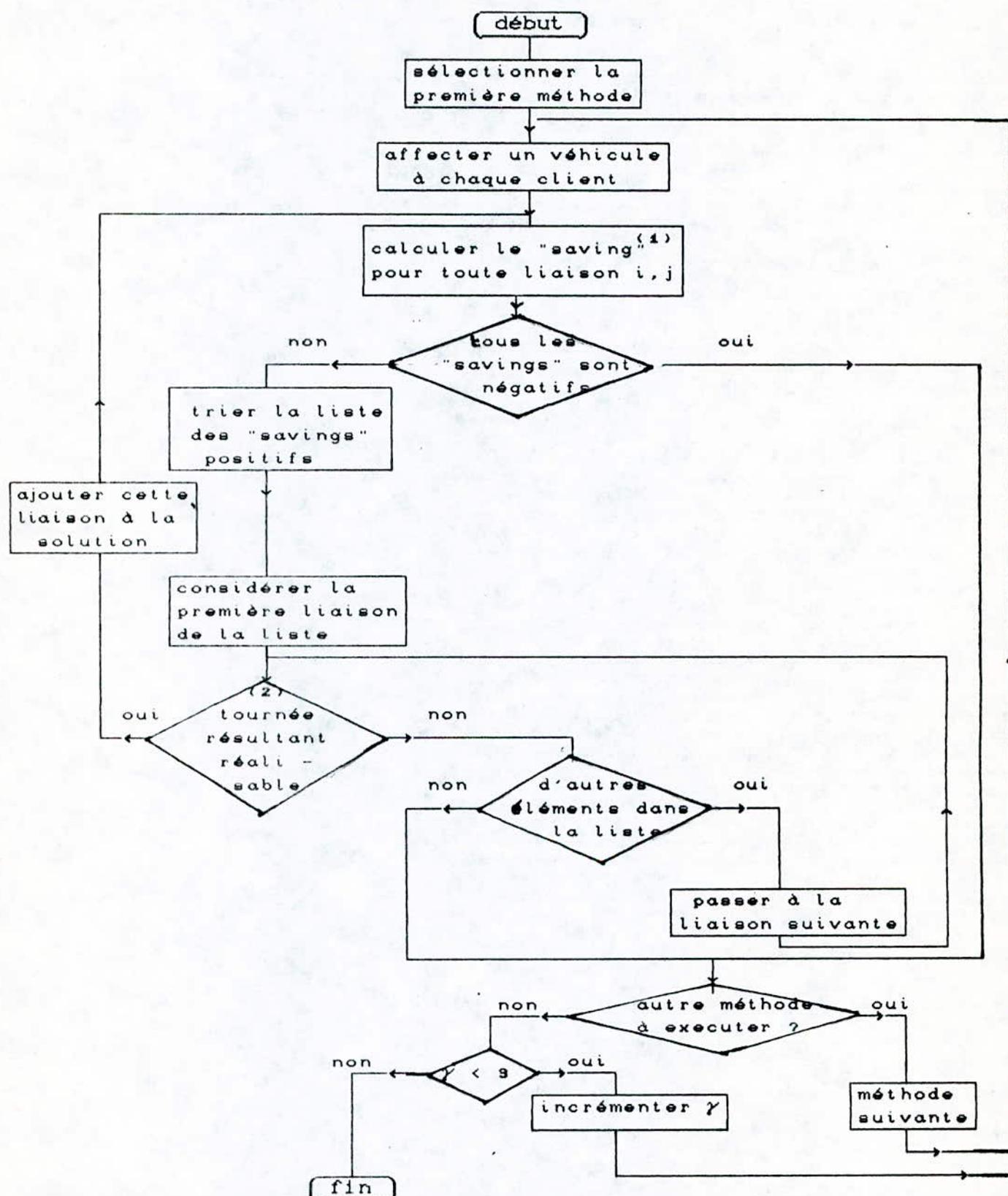
Les solutions auxquelles nous avons abouti sont relevées dans le tableau 3.2. Seuls les coûts  $\gamma$  sont inscrits, ceci pour deux raisons:

- La clarté de la présentation du tableau.
- Ce sont généralement les coûts qui caractérisent à priori la qualité d'une solution.

En annexe 9 est présenté un exemple de solution telle que générée par le programme.

Du tableau 3.2, il ressort que l'approche R.O.S  $\gamma$  domine les autres variantes.

Fig 3.2 Organigramme des différents algorithmes de "savings"



(1) les expressions des "savings" sont consignées dans le tableau 3.1.

(2) nous rappelons que les conditions de réalisabilité sont:

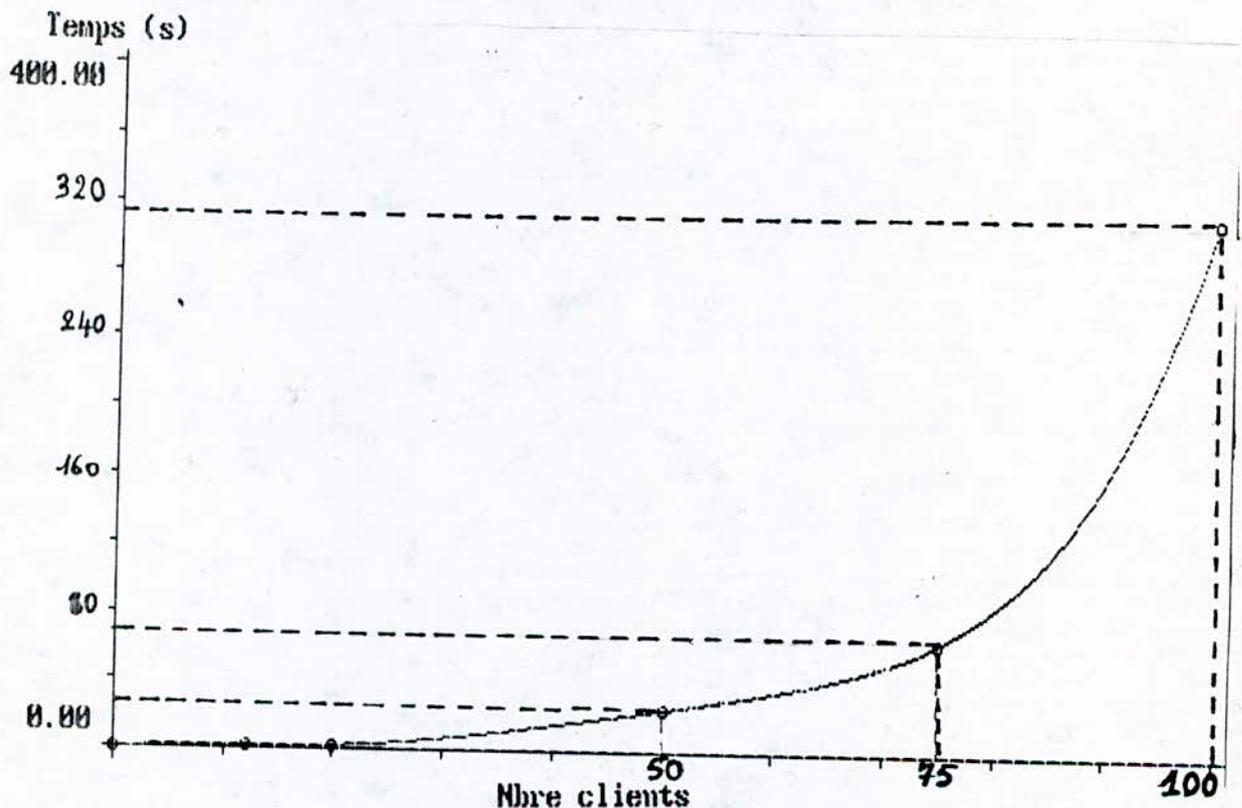
- non violation de la contrainte de capacité.
- non formation de cycles dans la solution.

Tableau 3.2 : Coûts associés aux solutions de l'approche de Golden et al.

N° du Problème	Nombre clients	C. W	C. S	O. O. S	R. O. S $\gamma$ $\gamma \in [0,3]$
1	12	640	640	666	630
2	12	790	834	810	768
3	20	1119	1050	1110	1027
4	20	7822	7880	9324	7470
5	20	1061	1108	1196	1068
6	20	9343	7951	7909	7413
7	30	7988	8193	8344	7653
8	30	2430	2945	2744	2482
9	30	2228	2426	2500	2320
10	30	2520	2478	2694	2479
11	30	5428	5396	5357	5137
12	30	4447	4349	4572	4270
13	50	2550	2660	2742	2622
14	50	12000	11067	12516	10571
15	50	2885	2812	2991	2907
16	50	3037	3182	3150	3068
17	75	1968	2134	2268	1982
18	75	3449	3363	3746	2713
19	100	11322	11625	11332	10992
20	100	4695	4608	5177	4686

### Temps de traitement

Un autre facteur important d'efficacité d'une approche de résolution étant son temps de traitement notamment pour la prise de décisions tactiques, il serait par conséquent intéressant d'examiner, dans notre cas, l'évolution de ce dernier facteur en fonction de la taille du problème. L'expérimentation s'est déroulée sur un HP vectra RS 116. D'après l'allure de la courbe présentée en fig 3.3, il semblerait que celle ci soit exponentielle: Dès que la taille des problèmes dépasse 75 clients, l'accroissement du temps d'exécution devient considérable.



*fig 3.3 Evolution du temps de traitement en fonction de la taille du problème.*

Il est important de mentionner que la durée d'exécution dépend presque exclusivement de la procédure de tri. Ayant programmé en premier lieu une procédure de tri normal (voir organigramme en annexe 10), le traitement d'une seule méthode (C.S, O.O.S, ROS) durait alors en moyenne 40 minutes, sur IBM PS/2, pour un problème à 30 clients. Ayant jugé cela excessif, nous avons songé à

utiliser une procédure de tri rapide [30] dont le principe est donné en annexe 10. Les résultats ont été très concluants: Les 40 minutes ont ainsi été réduits à 1 ou 2 minutes.

Durant nos essais, nous avons relevé qu'en modifiant la procédure de tri, les résultats changeaient. Pour découvrir les raisons de cette "anomalie" nous avons fait l'expérience de suivre pas à pas le déroulement du programme. C'est alors que nous avons découvert que ce problème survenait lorsque différentes liaisons réalisaient le même "saving". Les deux procédures de tri classaient alors différemment ces paires de clients. Il en découle que suivant la variante dans laquelle on se trouve (tri simple ou tri rapide), ce n'était pas la même combinaison qui était introduite dans la solution. Ceci se répercute évidemment sur la structure de la solution finale.

Cette situation suggère de développer des critères de sélection lorsque plusieurs liaisons sont concurrentes c'est à dire lorsqu'elles présentent le même "saving". Nous avons songé par exemple à favoriser la combinaison de tournées qui parmi toutes les possibilités:

- Maximise le taux d'occupation d'un véhicule, afin d'arriver très vite à la solution finale tout en minimisant le nombre de véhicules.

ou au contraire,

- Minimise le taux d'occupation d'un véhicule, afin d'augmenter le nombre de clients desservis par ce même véhicule.

Aucun des deux critères n'est, à priori, plus valable que l'autre. Il reste toutefois à valider statistiquement leur efficacité, chose sur laquelle nous ne nous sommes pas penchées, car ceci nous aurait déviées de l'objet de notre travail.

### 3.5 Conclusion

Après avoir identifié, dans le cadre de ce chapitre, la nature du problème qui nous a été soumis, soit l'élaboration d'un programme de tournées pour le compte de l'unité O.R.L.A.C de Birkhadem, comme étant un "Fleet size and Mix vehicle routing problem", nous en avons présenté une formulation mathématique dûe à Golden et al. Cette dernière s'est révélée inexploitable

informatiquement en raison du nombre élevé de variables et de contraintes d'où la nécessité de recourir à une approche heuristique. Nous avons alors, retenu l'approche développée par ces mêmes auteurs qui, en s'inspirant du concept du "saving", ont conçu 4 variantes intégrant l'économie en coûts fixes et en distance parcourue. Après les tests, qui s'imposent, sur différents problèmes standards la méthode R.O.S  $\gamma$  a prouvé d'être la plus performante en termes de qualité de la solution.

## CHAPITRE 4 - EXTENSIONS

### 4.1. Introduction

Tel qu'il a été formulé, puis résolu par Golden et al, le problème d'élaboration des tournées de livraison, tout en tenant compte des coûts fixes liés aux différents types de véhicules est parti de l'hypothèse que tous les camions, quelque soit leur tonnage, sont caractérisés par les mêmes coûts variables unitaires. Or, en pratique, ce dernier croit avec l'accroissement de la capacité du véhicule (la consommation spécifique en carburant, par exemple, est d'autant plus importante que le tonnage est élevé).

Dans le présent chapitre, nous suggérerons une extension du concept des "savings" de l'approche de Golden et al (Cf chap 3). Cette extension permettra de prendre en considération également l'impact de l'affectation d'un véhicule de type donné à une tournée sur les coûts variables de distribution. A cela s'ajoutera l'introduction d'une contrainte supplémentaire au problème. Elle consistera à imposer une limite sur la distance parcourue tolérée par un véhicule .

### 4.2 Extension de l'approche de Golden et al

Afin d'incorporer l'influence du tonnage sur le coût variable unitaire, nous avons élaboré une extension de l'approche des "savings", originellement proposée par Salhi [26], dans laquelle nous avons développé 2 variantes.

La première variante est directement basée sur le principe des "savings" tel que formulé par Clarke et Wright [6]. Elle a été par la suite ajustée dans le cadre de la deuxième variante.

Dans ce qui suit, nous expliciterons ces deux variantes. Rappelons, à cet effet, les notations suivantes:

$d_{oi}$  : distance du dépôt au client  $i$

$d_{ij}$  : distance entre les clients  $i$  et  $j$

## 4.2.1 Première variante

## 4.2.1.1 Principe de base

Soient à l'origine 2 clients  $i$  et  $j$  desservis individuellement par 2 véhicules  $I$  et  $J$ . A ces derniers correspondent respectivement les coûts variables unitaires  $\alpha_i$  et  $\alpha_j$ . Le coût variable de distribution s'élève donc à :

$$\alpha_i(2 d_{oi}) + \alpha_j(2 d_{oj}).$$

En envisageant que les clients  $i$  et  $j$  soient affectés à un même véhicule,  $K$ , auquel on associe un coût variable unitaire  $\alpha_k$ , il en découlera une économie en coûts variables :

$$S_{ij}^{(n)} = \alpha_i(2 d_{oi}) + \alpha_j(2 d_{oj}) - \alpha_k(d_{oi} + d_{oj} + d_{ij})$$

Après calcul,

$$S_{ij}^{(n)} = (2 \alpha_i - \alpha_k) d_{oi} + (2 \alpha_j - \alpha_k) d_{oj} - \alpha_k d_{ij}$$

avec  $\alpha_k \geq \text{Max}(\alpha_i, \alpha_j)$

Pour inclure, une fois de plus, l'effet de la structure des tournées (circonférentielles ou radiales) nous introduirons dans l'expression ci dessus, un paramètre  $\gamma$  (the saving multiplier). L'expression de  $S_{ij}^{(n)}$  devient alors:

$$S_{ij}^{(n')} = (2 \alpha_i - \alpha_k) d_{oi} + (2 \alpha_j - \alpha_k) d_{oj} - \alpha_k \gamma d_{ij}$$

avec  $\gamma \in [0, 3]$

$$\text{d'où } S_{ij}^{(n')} = S_{ij}^{(n)} + \alpha_k (1-\gamma) d_{ij}$$

La finalité étant de réévaluer les formules des "savings" relatives aux approches C.S, O.O.S, R.O.S, nous substituerons  $S_{ij}^{(n)}$  à  $S_{ij}$  dans les expressions de  $\bar{S}_{ij}$ ,  $S_{ij}^*$  et  $\bar{S}'_{ij}$  (Cf tableau 3.1). En ce qui concerne l'algorithme R.O.S  $\gamma$ , l'expression du "saving" sera modifiée en remplaçant dans  $S'_{ij}$  (Cf tableau 3.1) le terme  $S_{ij} + (1-\gamma)C_{ij}$  par  $S_{ij}^{(n')}$ .

Le tableau 4.1 résume les nouvelles expressions des "savings".

Tableau 4.1 . Résumé des algorithmes de "Savings" après extension (variante 1)

Algorithme	Savings	Formule des "Savings"
C.W	$S_{ij}^{(n)}$	$(2\alpha_i - \alpha_k) d_{oi} + (2\alpha_j - \alpha_k) d_{oj} - \alpha_k d_{ij}$
C.S	$\bar{S}_{ij}^{(n)}$	$S_{ij}^{(n)} + F(z_i) + F(z_j) - F(z_i + z_j)$
O.O.S	$S_{ij}^{*(n)}$	$\bar{S}_{ij}^{(n)} + F\left[ P(z_i + z_j) - z_i - z_j \right]$
R.O.S	$S_{ij}'^{(n)}$	$\bar{S}_{ij}^{(n)} + \delta(w) F\left[ P(z_i + z_j) - z_i - z_j \right]$
R.O.S $\gamma$	$S_{ij}''^{(n)}$	$S_{ij}'^{(n)} + (1-\gamma)\alpha_k d_{ij}$

Les fonctions F, P et  $\delta(w)$  étant définies comme au chapitre 3.

#### 4.2.1.2 Problèmes tests

Ayant programmé cette première variante de l'extension de l'approche de Golden et al, nous l'avons appliquée de nouveau pour la résolution des 20 problèmes tests déjà mentionnés. Pour la génération des coûts variables, nous nous sommes référées à la liste établie par Salhi [26]. Un taux d'accroissement du coût variable unitaire de 15% entre 2 tonnages successifs a été choisi arbitrairement. Il est à noter que si ce pas était augmenté, on avantagerait cette première variante, en défaveur de l'approche développée originellement par Golden et al. Les valeurs des coûts variables que nous avons utilisées figurent en annexe 11. Ces hypothèses étant fixées, les résultats de l'expérimentation du programme sur les 20 problèmes tests sont donnés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 Coûts associés aux solutions dans le cas de la première variante

N° du Problème	Nombre clients	CW	CS	OOS	ROS $\gamma$
1	12	659	687	675	667
2	12	843	792	820	792
3	20	1028	1079	1098	1003
4	20	8343	7874	9376	7484
5	20	1146	1203	1259	1110
6	20	8394	7962	7956	7435
7	30	9119	7614	8522	7442
8	30	2708	3080	3172	2735
9	30	2719	2593	2885	2533
10	30	2755	2875	2842	2779
11	30	5442	5611	5835	5267
12	30	4866	4585	4146	4573
13	50	2940	2654	3051	2654
14	50	12551	11068	12592	10575
15	50	2933	2891	3063	2844
16	50	3128	3333	3308	3034
17	75	2186	2583	2446	2200
18	75	3704	2716	2740	2626
19	100	11694	11723	10818	11427
20	100	4918	4925	4988	4817

L'examen de ce tableau montre qu'une fois de plus l'approche R.O.S  $\gamma$  est plus performante que les approches C.W, C.S et O.O.S. Cependant pour évaluer l'apport de cette première extension, il est nécessaire de comparer les solutions qu'elle fournit avec

celles fournies par l'approche de Golden et al. Pour ce faire, nous avons confronté, dans le tableau 4.3, les résultats des deux versions, relatifs à la R.O.S. $\gamma$ , confrontation que nous avons illustrée par le calcul des déviations.

Avant d'effectuer cette comparaison un ajustement préalable des solutions originelles (Cf tableau 3.2) s'impose: Il faudra rétablir le coût total en considérant les nouveaux coûts variables unitaires associés à chaque type de véhicule. De plus, nous relèverons dans ce tableau les configurations de la flotte pour déceler ses éventuels changements.

De la lecture du tableau 4.3, il apparaît immédiatement que l'incorporation des coûts variables unitaires par type de véhicule dans l'approche de résolution, modifie les solutions.

Il ressort que sur 15 problèmes parmi les 20 les flottes ont emprunté des structures différentes ce qui justifie l'impact des coûts variables et la validité de cette première extension .

#### 4.2.2 Deuxième variante

##### 4.2.2.1 Principe de base

Afin d'explicitier le principe de base de cette nouvelle variante, nous avons besoin de reconsidérer l'expression du "saving" adoptée précédemment, à savoir :

$$S_{ij}^{(n)} = \alpha_i(2 d_{oi}) + \alpha_j(2 d_{oj}) - \alpha_k(d_{oi} + d_{oj} + d_{ij})$$

Visiblement, cette formule ne tient pas compte du fait que les liaisons qui se forment au fur et à mesure du déroulement des algorithmes C.W, C.S, O.O.S et R.O.S  $\gamma$  ( $\gamma \in [0,3]$ ), sont des liaisons entre tournées et que les clients  $i$  et  $j$  à joindre ne sont plus, à une étape donnée, les seuls à figurer dans leurs tournées respectives. De ce fait les longueurs de tournées individuelles  $I$  et  $J$ , sont différentes respectivement de  $2 d_{oi}$  et  $2 d_{oj}$  et celle de la tournée combinée,  $K$ , de  $d_{oi} + d_{oj} + d_{ij}$ . Cette simplification fausse la valeur de l'économie en coûts variables.

Tableau 4.3 Tableau comparatif de la version originale  
et de la variante 1

N° du Pb	Nombre clients	solution originale ajustée	Flotte	solution variante 1	Flotte	Deviation(%)
1	12	689	$B^2C^2$	667	$B^2C^2$ *	-3.30
2	12	761	$A^3C^1$	792	$A^4B^2$	+3.91
3	20	1087	$B^1C^2D^2E^1$	1003	$A^4B^5C^1D^1$	-8.37
4	20	7484	$A^1B^2C^1$	7484	$A^1B^2C^1$ *	0.00
5	20	1012	$A^1B^2C^1D^2E^1$	1110	$A^4B^5C^2D^1$	+8.83
6	20	7444	$A^1C^2$	7435	$A^4B^2$	-0.12
7	30	7814	$B^1C^2D^2E^1$	7442	$A^4B^4C^1D^2$	-5.00
8	30	2696	$C^2D^2$	2735	$C^2D^2$ *	+1.43
9	30	2563	$D^1E^3$	2533	$A^1C^1D^3E^1$	-1.18
10	30	2799	$C^2D^4$	2779	$B^1D^5$	-0.72
11	30	5315	$A^1B^1C^3D^1$	5267	$A^1B^1C^3D^1$ *	-0.91
12	30	4739	$B^2D^1E^2F^2$	4573	$A^1B^3C^1D^1E^4$	-3.63
13	50	2732	$A^3B^5C^5D^2E^1F^1$	2654	$A^7B^13C^9D^2$	-2.94
14	50	10570	$A^2B^3C^1$	10575	$A^2B^3C^1$ *	+0.05
15	50	2959	$A^3B^2C^3$	2844	$A^8B^1C^2$	-4.04
16	50	3144	$B^2C^5$	3034	$A^1B^1C^5$	-3.62
17	75	2074	$A^5B^4C^2D^1$	2200	$A^5B^1C^4D^1$	+5.73
18	75	2658	$A^4B^{12}C^4D^3$	2626	$A^9B^{17}C^3D^1$	-1.22
19	100	11085	$A^1B^1C^4$	11427	$A^1B^3C^3$	+2.99
20	100	5000	$A^3B^1C^5$	4817	$A^4B^4C^4$	-3.80

(\*) Les deux configurations sont identiques

Pour être plus réalistes et plus rationnelles, nous avons préféré, dans cette seconde variante de l'extension de l'approche de Golden et al, ajuster le "saving" par:

$$S_{ij}^L = \alpha_i L_I + \alpha_j L_J - \alpha_k L_K$$

où  $L_I$ : Longueur de la tournée I.

$L_J$ : Longueur de la tournée J.

$L_K$ : Longueur de la tournée combinée K.

Notons que cette façon de formuler le "saving" conserve à ce dernier la même valeur, si les coûts variables étaient de nouveau considérés comme indépendants du type de véhicule. En effet, dans ce cas, sachant que:

$$L_K = L_I + L_J - d_{oi} - d_{oj} + d_{ij} \quad (\text{voir figure 4.1})$$

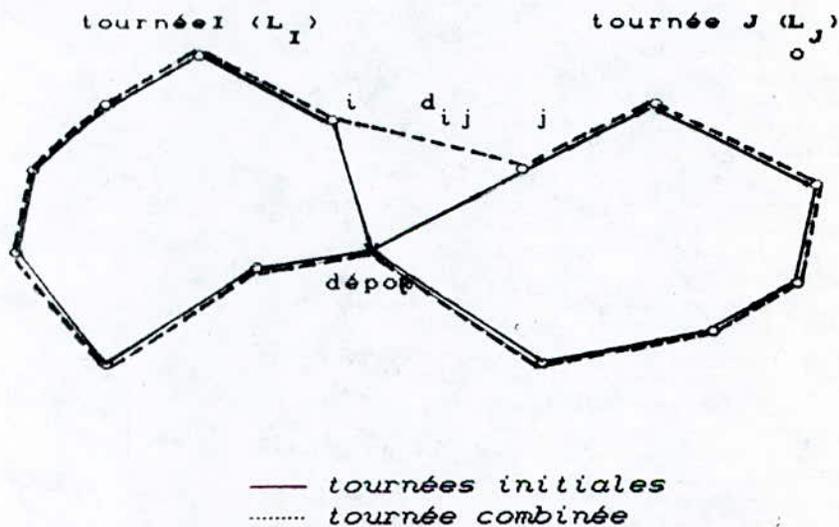


Fig 4.1 figure illustrant la combinaison de deux tournées

$S_{ij}^L$  peut s'écrire:

$$S_{ij}^L = \alpha L_I + \alpha L_J - \alpha (L_I + L_J - d_{oi} - d_{oj} + d_{ij})$$

avec  $\alpha$  = coût variable unitaire.

d'où  $S_{ij}^L = \alpha (d_{oi} + d_{oj} - d_{ij})$

$$S_{ij}^L = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$$

Une fois ceci établi il nous reste à adapter cette extension aux

algorithmes C.S, O.O.S et R.O.S. Cette adaptation est aisée puisqu'il suffit de remplacer  $S_{ij}$  par  $S_{ij}^L$  dans les expressions de  $\bar{S}_{ij}$ ,  $S_{ij}^*$  et  $S_{ij}'$ .

Finalement, nous avons tenté d'introduire le paramètre  $\gamma$  ("route shape parameter") qui, comme déjà expliqué, sert à donner plus ou moins de poids à la distance entre clients pour configurer des tournées circonférentielles ou radiales. Nous avons opté pour la procédure suivante :

Définissons  $S_{ij}^{L'}$  comme

$$S_{ij}^{L'} = \alpha_i L_I + \alpha_j L_J - \alpha_k (L_I + L_J - d_{oi} - d_{oj} + \gamma d_{ij})$$

soit

$$S_{ij}^{L'} = \alpha_i L_I + \alpha_j L_J - \alpha_k (L_I + L_J - d_{oi} - d_{oj} + d_{ij} - (1-\gamma) d_{ij})$$

sachant que

$$L_I + L_J - d_{oi} - d_{oj} + d_{ij} = L_k$$

alors

$$S_{ij}^{L'} = \alpha_i L_I + \alpha_j L_J - \alpha_k L_k + (1-\gamma) \alpha_k d_{ij}$$

finalement

$$S_{ij}^{L'} = S_{ij}^L + (1-\gamma) \alpha_k d_{ij}$$

A ce niveau il faut spécifier que cette expression reste discutable dans le sens où le poids accordé à la distance entre clients relativement à leurs distance au dépôt n'est pas évident. Cela est d'autant plus vrai si les coûts variables unitaires varient sensiblement selon le type de véhicules.

Néanmoins, nous n'approfondirons pas ce point qui peut constituer l'objet d'investigations plus poussées.

Pour ce qui est de la formule du "saving" relative à l'approche R.O.S  $\gamma$ , il s'agit de remplacer dans l'expression de  $S_{ij}''$  (Cf tableau 3.1), le terme  $S_{ij} + (1-\gamma)d_{ij}$  par  $S_{ij}^{L'}$ .

Le tableau 4.4 présente les nouvelles expressions des "savings".

#### 4.2.2.2 Problèmes tests

Nous avons programmé la variante 2 et l'avons appliquée pour la résolution des 20 problèmes tests tirés de l'article de Golden et al [13]. Pour cela, nous avons utilisé les mêmes valeurs des coûts variables que pour la variante 1.

Nous y constatons que la R.O.S  $\gamma$  ( $\gamma \in [1,3]$ ) reste l'approche dominante.

Tableau 4.4 Résumé des expressions des "saving" après extension (variante 2)

Algorithme	Savings	Formule des "Savings"
C.W	$S_{ij}^L$	$\alpha_i L_i + \alpha_j L_j - \alpha_k L_k$
C.S	$\bar{S}_{ij}^L$	$S_{ij}^L + F(z_i) + F(z_j) - F(z_i + z_j)$
O.O.S	$S_{ij}^{*L}$	$\bar{S}_{ij}^L + F\left[P(z_i + z_j) - z_i - z_j\right]$
R.O.S	$S_{ij}^{\cdot L}$	$\bar{S}_{ij}^L + \delta(w) F\left[P(z_i + z_j) - z_i - z_j\right]$
R.O.S $\gamma$	$S_{ij}^{\prime\prime L}$	$S_{ij}^{\cdot L} + (1-\gamma) \alpha_k d_{ij}$

Désireuses d'estimer l'efficacité de cette variante de l'extension, nous avons comparé les résultats de la R.O.S  $\gamma$  (approche dominante) avec les résultats ajustés de la R.O.S  $\gamma$  de la version originale de Golden et al (tableau 4.6).

Tableau 4.5 Coûts associés aux solutions dans le cas de la variante 2

N° du Problème	Nombre clients	CW	CS	OOS	Ros $\gamma$
1	12	659	687	675	667
2	12	843	792	857	875
3	20	1032	990	1043	990
4	20	8343	7870	8371	7484
5	20	1245	1203	1200	1110
6	20	8378	7955	7955	7435
7	30	8316	7614	8522	7442
8	30	2707	3086	3172	2736
9	30	2556	2698	2604	2533
10	30	2702	2783	2842	2796
11	30	5494	5627	5810	5267
12	30	4865	4585	5146	4573
13	50	2944	2662	3072	2652
14	50	12066	11068	12591	10576
15	50	2892	2891	3085	2827
16	50	2359	3333	3297	3010
17	75	1969	2434	2621	2257
18	75	3569	2633	2713	2609
19	100	12922	12226	11751	10890
20	100	4797	4764	5161	4870

Tableau 4.6 Tableau comparatif de la version originale et de la variante 2

N° du Pb	Nombre clients	solution originale ajustée	Flotte	variante 2	Flotte	Deviation(%)
1	12	689	$B^2C^2$	667	$B^2C^2$ *	-3.30
2	12	761	$A^3C^1$	792	$A^4B^2$	+3.91
3	20	1087	$B^1C^2D^2E^1$	990	$A^4B^5C^2D^1$	-9.80
4	20	7484	$A^1B^2C^1$	7484	$A^1B^2C^1$ *	0.00
5	20	1012	$A^1B^2C^1D^2E^1$	1110	$A^3B^3C^1D^1E^1$	+8.83
6	20	7444	$A^1C^2$	7435	$A^4B^2$	-0.12
7	30	7815	$B^1C^2D^2E^1$	7442	$A^4B^4C^1D^2$	-5.00
8	30	2696	$C^2D^2$	2736	$C^2D^2$ *	+1.46
9	30	2563	$D^1E^3$	2533	$A^1C^1D^3E^1$	-1.18
10	30	2799	$C^2D^4$	2796	$B^1D^5$	-0.11
11	30	5315	$A^1B^1C^3D^1$	5267	$A^1B^1C^3D^1$ *	-0.91
12	30	4739	$B^2D^1E^2F^2$	4573	$A^1B^3C^1D^1E^4$	-3.63
13	50	2732	$A^3B^6C^5D^2E^1F^1$	2652	$A^3B^16C^8D^1$	-3.02
14	50	10570	$A^2B^3C^1$	10576	$A^2B^3C^1$ *	+0.06
15	50	2959	$A^3B^2C^3$	2827	$A^{12}B^1C^1$	-4.67
16	50	3144	$B^2C^5$	3010	$B^7C^2$	-4.45
17	75	2074	$A^5B^4C^2D^1$	2254	$A^{10}B^1C^1D^2$	+8.00
18	75	2658	$A^4B^{12}C^4D^3$	2609	$A^8B^{11}C^6D^1$	-1.89
19	100	11085	$A^1B^1C^4$	10890	$A^2B^4C^2$	-1.79
20	100	5000	$A^3B^1C^6$	4899	$A^3B^2C^5$	-2.06

L'analyse du tableau 4.6 met, de nouveau, en évidence l'effet de l'incorporation des coûts variables dans l'approche de résolution, sur la structure de la flotte: Sur 15 problèmes, les configurations se sont vues modifiées. Une amélioration du coût allant jusqu'à 10% a été observée, voir problème 3.

Enfin, il serait très intéressant de procéder à une comparaison des variantes 1 et 2, non seulement par rapport à la configuration de la flotte mais également par rapport au coût de leurs solutions respectives et au temps de computing.

(voir tableau 4.7)

Tableau 4.7 Tableau comparatif des variantes 1 et 2

N° du Pb	Nombre clients	variante 1	Flotte	variante 2	Flotte	Deviation(%)
1	12	667	$B^2C^2$	667	$B^2C^2$ *	0.00
2	12	792	$A^4B^2$	792	$A^4B^2$ *	0.00
3	20	1003	$A^4B^6C^1D^1$	990	$A^4B^5C^2D^1$	-1.31
4	20	7484	$A^1B^2C^1$	7484	$A^1B^2C^1$ *	0.00
5	20	1110	$A^9B^9C^1D^1E^1$	1110	$A^9B^9C^1D^1E^1$ *	0.00
6	20	7435	$A^4B^2$	7435	$A^4B^2$ *	0.00
7	30	7442	$A^4B^4C^1D^2$	7442	$A^4B^4C^1D^2$ *	0.00
8	30	2735	$C^2D^2$	2736	$C^2D^2$ *	+0.04
9	30	2533	$A^1C^1D^9E^1$	2533	$A^1C^1D^9E^1$ *	0.00
10	30	2779	$B^1D^5$	2796	$B^1D^5$ **	+0.61
11	30	5267	$A^1B^1C^9D^1$	5267	$A^1B^1C^9D^1$ *	0.00
12	30	4573	$A^1B^9C^1D^1E^4$	4573	$A^1B^9C^1D^1E^4$ *	0.00
13	50	2654	$A^7B^19C^9D^2$	2652	$A^9B^16C^8D^1$	-0.07
14	50	10575	$A^2B^9C^1$	10576	$A^2B^9C^1$ *	+0.01
15	50	2844	$A^8B^1C^2$	2827	$A^{12}B^1C^1$	-0.60
16	50	3034	$A^1B^1C^5$	3010	$B^7C^2$	-0.80
17	75	2200	$A^5B^1C^4D^1$	2254	$A^{10}B^1C^1D^2$	+2.39
18	75	2626	$A^9B^{17}C^9D^1$	2609	$A^8B^{11}C^6D^1$	-0.65
19	100	11427	$A^1B^9C^9$	10890	$A^2B^4C^2$	-4.94
20	100	4817	$A^4B^4C^4$	4899	$A^9B^2C^5$	+1.67

Ainsi, nous notons, d'une part, que les solutions des 6 derniers problèmes sont caractérisées par des structures différentes de la flotte, d'autre part, que la variante 2 est sensiblement meilleure que la variante 1 et ce avec un pourcentage moyen de 1.4% .

Sur le plan de la rapidité d'exécution, l'observation des temps de traitement montre qu'il y a une différence appréciable entre les deux variantes. En effet, en ce qui concerne la première variante, le temps de traitement, sur un HP Vectra RS 16, varie en moyenne de 3 s à 4 min 50 s. Sur la même machine, la deuxième variante dure en moyenne de 1 s à 11 min 34 s. En résumé donc, la deuxième variante de l'extension détient l'atout de la qualité au détriment de la rapidité.

#### 4.3 Contrainte supplémentaire

##### 4.3.1 Principe de base

Si l'on se rapporte de nouveau à la définition standard du problème des tournées "vehicle routing problem" (Cf chap 2), on constate que, outre la contrainte de capacité, les véhicules peuvent être soumis à une contrainte sur la distance ou la durée totales d'une tournée. En effet, sans cela, on pourrait éventuellement se contenter d'un seul véhicule dans la flotte de distribution puisqu'il suffirait de faire accomplir à ce dernier plusieurs voyages pour qu'il desserve la totalité des clients: Chose tout à fait invraisemblable vues les conséquences qui s'ensuivront sur l'état physique de la flotte. Le programme des tournées de livraison devra donc éviter d'user d'un véhicule au delà d'un certain kilométrage..

Mis à part ces facteurs purement matériels, interviennent également des contraintes humaines. En effet, la direction chargée de la distribution du produit en question ne peut disposer de son personnel que pendant des horaires réglementaires. Autrement dit, tout véhicule a une durée de service limitée. Ce temps est comptabilisé suivant le parcours prévu mais il devra également inclure les temps perdus pendant le déchargement de la marchandise

au niveau des clients. On s'accorde généralement à modéliser cette perte temporelle par une fonction linéaire définie comme suit:

$$t_i = a + b d(i)$$

$t_i$  : temps perdu au niveau d'un client  $i$

$a, b$  : constantes à estimer

$d(i)$ : demande du client  $i$

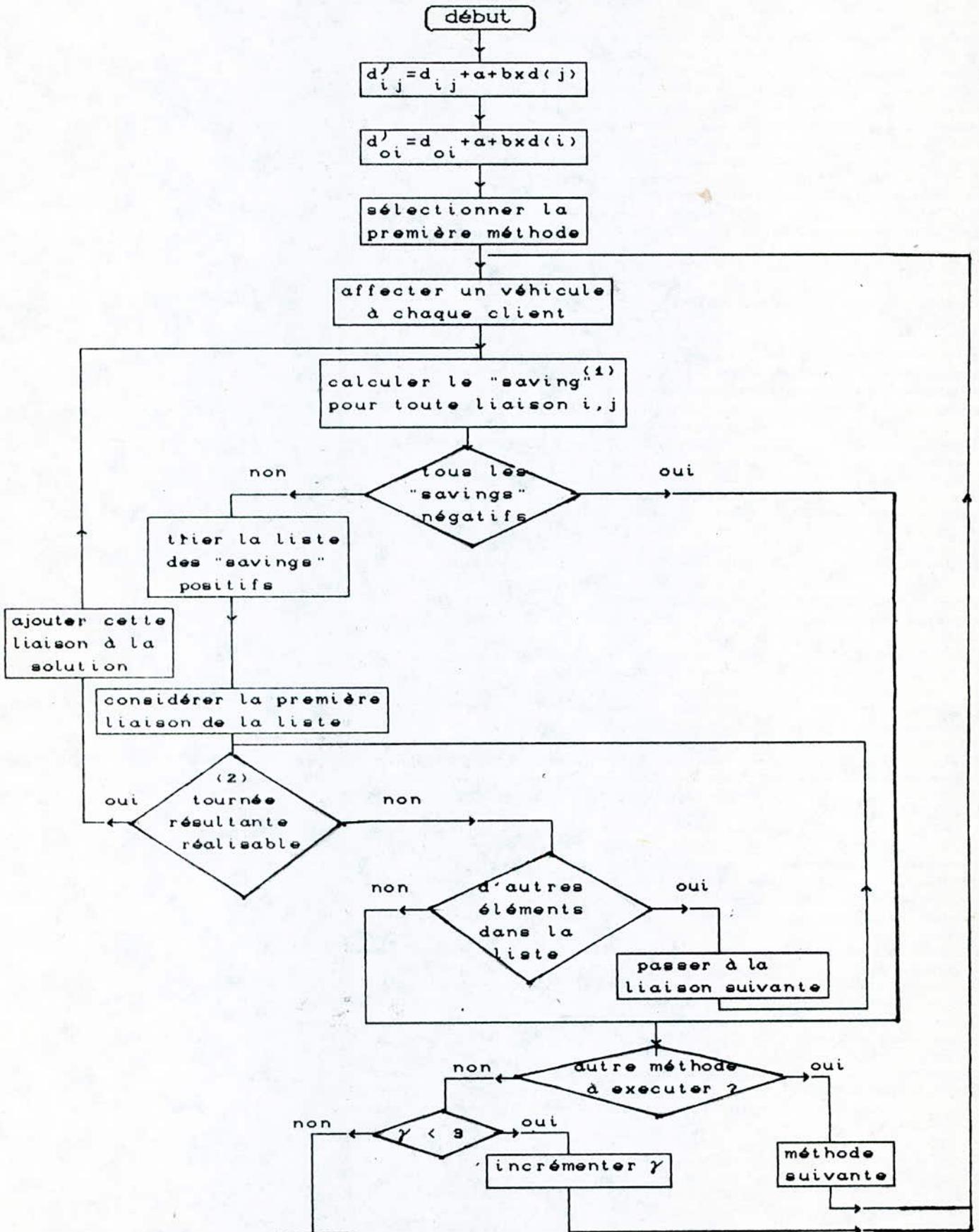
Pour poursuivre notre raisonnement en termes de distances, il est nécessaire de réduire  $t_i$  à une distance équivalente. Pour ce faire, il faudra avoir une idée à priori sur la vitesse moyenne à laquelle roulent les véhicules.

En définitive, l'organisateur des tournées de distribution devra veiller à ce que les véhicules employés ne parcourent pas, journalièrement, plus qu'un certain kilométrage auquel il faudra additionner l'équivalent en distance des temps perdus.

Cette contrainte n'étant pas prise en considération dans l'approche de Golden et al, nous avons donc pensé l'introduire dans le problème.

Ceci étant, il sera en fait aisé de l'intégrer dans l'approche de résolution. Celle ci se verra maintenir globalement la même structure, à l'exception du fait que lors de la construction progressive des tournées, une limite sera imposée sur leur longueur.

L'organigramme ci après est une description sommaire de l'approche (méthodes CW, C.S, O.O.S, R.O.S  $\gamma$ ):



(1) Les formules des "savings" sont dans les tableaux 4.1 et 4.2

(2) Une tournée est réalisable si elle n'enfreint pas les contraintes de capacité, de distance (ou durée), et si elle ne contient pas de cycle.

#### 4.3.2 Problèmes tests

Il s'agit à présent de tester le comportement des deux variantes de l'extension de l'approche de Golden et al vis à vis de la nouvelle contrainte. Les mêmes problèmes tests constitueront la base de cette expérimentation. Il faudra toutefois engendrer pour chaque problème, la contrainte en question. Cette tâche ne faisant pas partie de nos prérogatives, nous avons directement consulté les travaux de Salhi [21], qui nous ont indiqué les données qui nous manquaient (limites sur la distance à parcourir pour chaque problème). Ces données sont consignées dans l'annexe 11.

Les résultats relatifs aux variantes 1 et 2 sont relevés dans les tableaux 4.8 et 4.9 respectivement.

L'observation de ces tableaux, montre que les approches C.W, C.S, O.O.S et R.O.S  $\gamma$  gardent la même hiérarchie et que l'approche R.O.S  $\gamma$  reste dominante.

Nous avons procédé également à une comparaison des résultats de l'approche R.O.S  $\gamma$  des deux variantes. Le tableau 4.10 illustre cette comparaison.

L'examen de ce tableau montre que:

- Les configurations de flotte diffèrent généralement entre les deux variantes (13 problèmes parmi 20).
- La variante 2 aboutit à de meilleurs résultats que la variante 1, puisque mis à part les cas où on observe des déviations nulles (problèmes 1, 2, 3, 5, 12, 13, 15), domine 11 fois sur 13. Les déviations relatives se sont accentuées par rapport au problème sans contrainte (Cf tableau 4.7) et vont jusqu'à 8.10 % (voir problème 4).

Remarque:

En ayant imposé dans le problème cette nouvelle contrainte relative à la distance parcourue, l'on s'attend à ce que les solutions s'évaluent à des coûts plus élevés. Or ceci n'est pas toujours le cas. En effet, en comparant les tableaux 4.7 et 4.10, on constate que pour certains problèmes, le coût a diminué après introduction de la contrainte. On citera parmi eux les problèmes

13, 14 et 13, 14, 17 pour les variantes 1 et 2 respectivement. Ceci confirme le fait qu'on ne puisse prévoir à priori le comportement d'une heuristique.

Tableau 4.8

*Coûts associés aux solutions de la variante 1 dans le cas où le problème est contraint sur la distance parcourue par véhicule*

N° du Problème	Nombre clients	C. W	C. S	O. O. S	R. O. S $\gamma$
1	12	725	766	748	753
2	12	1250	881	1243	881
3	20	1095	1033	1067	1033
4	20	8383	8400	8399	7897
5	20	1306	1203	1245	1202
6	20	10097	9588	10611	9588
7	30	9873	9136	9143	9251
8	30	3652	3831	3920	3274
9	30	2781	2838	3078	2762
10	30	3283	3366	3474	3325
11	30	7074	6165	7314	5990
12	30	5737	5694	5816	5694
13	50	2717	2557	2511	2464
14	50	9607	10122	9607	9615
15	50	4079	3389	3714	3389
16	50	4258	4338	4217	4001
17	75	2445	2370	2417	2033
18	75	3315	3036	3165	2972
19	100	12498	12498	12504	11599
20	100	6117	6092	6492	4987

Tableau 4.9

*Coûts associés aux solutions de la variante 2  
dans le cas où le problème est contraint sur la  
distance parcourue par véhicule*

N° du Problème	Nombre clients	C. W	C. S	O. O. S	R. O. S $\gamma$
1	12	711	766	748	753
2	12	1218	881	1124	881
3	20	1095	1033	1067	1033
4	20	8843	7870	8868	7403
5	20	1203	1203	1286	1202
6	20	9574	9574	10578	9073
7	30	9453	8917	9795	9031
8	30	3214	3601	4006	3121
9	30	2731	2754	2706	2555
10	30	3274	3263	3445	3222
11	30	6316	5940	6262	5940
12	30	5740	5694	5874	5694
13	50	2670	2555	2510	2464
14	50	9002	9002	9002	8990
15	50	3953	3389	3733	3389
16	50	4113	4327	4237	3959
17	75	1831	2254	2076	2070
18	75	3294	3018	3132	2971
19	100	12686	12686	12675	11864
20	100	5537	5550	6109	4945

Tableau 4.10

Tableau Comparatif entre les variantes 1 et 2 dans le cas où le problème est contraint sur la distance parcourue par véhicule.

N° du Pb	Nombre clients	Variante I	Flotte	Variante II	Flotte	Deviation(%)
1	12	753	$A^9 B^3 C^{1*}$	753	$A^9 B^3 C^{1*}$	0.00
2	12	881	$A^6 B^1 *$	881	$A^6 B^1 *$	0.00
3	20	1033	$A^6 B^7 D^{1*}$	1033	$A^6 B^7 D^{1*}$	0.00
4	20	7897	$A^6 B^1$	7403	$A^7$	-6.66
5	20	1202	$A^4 B^5 C^2 D^{1*}$	1202	$A^4 B^5 C^2 D^{1*}$	0.00
6	20	9588	$A^9$	9073	$A^7 B^1$	-5.68
7	30	9251	$A^{11} B^4 C^2 D^1$	9031	$A^{10} B^4 C^1 D^2$	-2.44
8	30	3274	$B^1 C^5 D^1$	3121	$B^2 C^2 D^2$	-4.90
9	30	2762	$A^2 B^1 C^2 D^2 E^1$	2555	$A^2 C^2 D^2 E^1$	-8.10
10	30	3325	$A^9 B^1 C^3 D^3$	3222	$A^2 B^2 C^1 D^4$	-3.20
11	30	5990	$A^2 B^5 C^2 D^{1*}$	5940	$A^2 B^5 C^2 D^{1*}$	-0.84
12	30	5694	$A^7 B^5 D^4 E^{2*}$	5694	$A^7 B^5 D^4 E^{2*}$	0.00
13	50	2464	$A^{14} B^{11} C^5 D^{1*}$	2464	$A^{14} B^{11} C^5 D^{1*}$	0.00
14	50	9615	$A^9$	8990	$A^7 B^1$	-6.95
15	50	3389	$A^{29*}$	3389	$A^{29*}$	0.00
16	50	4001	$A^1 B^9 C^3$	3959	$A^1 B^5 C^5$	-1.06
17	75	2033	$A^9 B^2 C^3 D^1$	2070	$A^{12} B^6 C^2$	+1.78
18	75	2972	$A^{21} B^{24}$	2971	$A^{17} B^{24} C^1$	-0.03
19	100	11599	$A^{16} B^2$	11864	$A^{10} B^5$	+2.23
20	100	4987	$A^{17} B^6$	4945	$A^{15} B^7$	-0.85

#### 4.4 Conclusion

En résumé, ce chapitre décrit comment nous avons étendu l'approche des "savings" de Golden et al pour y inclure explicitement l'impact des coûts variables. Deux variantes, initialement proposées par Salhi [26], ont été dérivées et testées sur un ensemble de problèmes tests. Une contrainte supplémentaire sur la distance parcourue par tournée a été par la suite introduite dans l'approche de résolution.

Vu l'ensemble des résultats auxquels nous avons abouti, nous concluons qu'il est intéressant d'introduire la variabilité des coûts unitaires lors de la détermination de la composition de la flotte.

D'autre part, une comparaison des deux variantes a été présentée. La variante 2 des extensions en question semble être la plus efficace en termes de qualité de la solution. Cependant, vu le caractère stratégique de la décision relative à la configuration de la flotte, nous préfererons éviter de nous en tenir à une seule variante.

Pour la résolution du problème qui nous a été soumis, nous appliquerons les deux variantes pour finalement sélectionner la meilleure solution.

## CHAPITRE 5- APPLICATION

### 5.1 Introduction

La méthode de résolution étant mise au point, nous entamons maintenant la phase de concrétisation de notre travail qui, comme déjà mentionné, portera sur l'élaboration d'un programme de tournées de livraison du lait devant desservir le réseau d'Ager-Est.

En vue d'atteindre cet objectif, nous avons, dans une première étape, collecté puis traité les données pour les mettre sous la même forme que celle des problèmes standards.

Dans une seconde étape, nous avons déroulé les programmes relatifs aux deux variantes pré-citées (C.f chap4). Comme la configuration de la flotte recherchée se doit d'être stable, nous avons procédé à une étude de sensibilité de cette dernière aux variations saisonnières.

Finalement, partant du fait qu'une solution prescrite par la théorie ne correspond pas toujours à la flotte disponible, une analyse pour un réajustement ultérieur sera nécessaire.

### 5.2 Collecte des données

En référence aux problèmes standards, les données seront classées en deux groupes principaux selon qu'elles concernent les clients ou la flotte.

#### 5.2.1 Collecte des données relatives aux clients

La source principale sur laquelle nous avons recueilli les données est l'ensemble des "états récapitulatifs des livraisons" qui ont été mis à notre disposition à l'U.P.L 02 de Boudouaou.

Un état est un document établi par client. On y relève l'adresse exacte du client ainsi que l'ensemble de ses commandes journalières, tout au long de l'année. En annexe 12 figure, à titre d'exemple, un état correspondant à un client quelconque.

En ce qui nous concerne nous nous sommes référées aux états de

l'année 1988, car nous avons jugé que 1989 n'était pas une année représentative vu le phénomène conjoncturel de pénurie en lait en poudre (substituant du lait pasteurisé) qui a provoqué une hausse importante de la demande.

Une fois la liste des clients et leurs adresses à notre disposition, il s'agira par la suite pour nous de les localiser. Nous avons donc besoin du plan d'Alger-Est. Pour l'obtenir, nous nous sommes adressées à différents organismes. Le bureau d'étude de la Sûreté de Wilaya d'Alger a finalement consenti à nous céder momentanément les planimètres d'une partie de la région à étudier: Les communes d'Hussein dey, El-harrach, Mohammadia, Bab-ezzouar et Bordj-El-Kiffan.

L'impossibilité d'obtenir le reste des planimètres nous astreint à limiter l'étendue de notre application pratique.

En outre, comme l'analyse des résultats exige de connaître la durée de chaque tournée, il faudra par conséquent évaluer le temps perdu au niveau d'un client (déchargement et facturation), ce dernier étant considéré de la forme

$$t_i = a + b \times d(i) \quad (\text{C.f chap 4})$$

Pour estimer les paramètres a et b il aurait fallu régresser, pour un ensemble de clients, le temps perdu sur la demande du client. Malheureusement, cela ne nous a pas été possible, faute de données. Nous avons dû nous contenter des valeurs que quelques distributeurs expérimentés ont bien voulu nous indiquer. Nous retiendrons donc:

Tableau 5.1 Valeurs estimées de a et b

a	3 mn
b	20 mn pour 1600l

La conversion des distances en durées se fera évidemment en rapport avec la vitesse moyenne à laquelle roulent les véhicules. Celle ci ne saurait être la même sur une autoroute, sur une route à grande circulation, dans une agglomération, ou dans une zone à très forte densité de trafic (à El harrach par exemple). A ce propos, à l'unité U.P.L 02 de Boudouaou, il nous a été indiqué 4

valeurs:

Tableau 5.2: Différentes vitesses de circulation

Autoroute	70 Km/h
route à grande circulation	50 Km/h
Agglomération	40 Km/h
Zone à forte densité de trafic	20 Km/h

### 5.2.2 Collecte des données relatives à la flotte

Dans notre cas, nous nous intéresserons uniquement aux données relatives aux véhicules de 6 tonnes et 10 tonnes de capacités respectives 6000 litres et 11000 litres.

L'ensemble des frais ayant trait à la flotte peuvent être résumés en:

#### a. Frais du personnel

Chaque véhicule a un équipage constitué d'un chauffeur et d'un livreur; nous avons dépouillé l'ensemble des fiches de paye (février 1989) au niveau du service du personnel pour en tirer les données devant aboutir au calcul du salaire moyen d'un chauffeur et d'un livreur, voir annexe 13.

#### b. Frais d'amortissement et d'assurance

Au niveau du service "comptabilité analytique" de l'unité, l'amortissement pratiqué est linéaire.

L'ensemble des frais d'amortissement et d'assurances sont inscrits dans le tableau figurant en annexe 14.

#### c. Consommation en Gas-oil

C'est le service maintenance technique qui se charge d'enregistrer cette information. Pour chaque véhicule on relève périodiquement le kilométrage parcouru et la consommation en carburant induite. Nous avons réussi à obtenir les données relatives aux mois de Janvier et Février 1989 et le cumul de l'année 1988, données que nous avons consignées dans un tableau en annexe 15.

#### d. Frais de maintenance

La maintenance au sein de l'unité est essentiellement curative. Les frais lui afférant vont par conséquent se limiter aux dépenses de réparation.

Le document de base retraçant l'historique des pannes d'un véhicule est la "fiche technique" (Voir annexe 16)

La fréquence des pannes étant déterminante pour le calcul des coûts, à ce propos nous avons rassemblé un certain nombre de données du service de maintenance technique. Notre attention s'est portée principalement sur les pièces ayant des coûts significatifs (voir tableau 5.3)

*Tableau 5.3 Fréquence de renouvellement des pièces les plus coûteuses.*

désignation	fréquence de renouvellement
plateau + disque d'embrayage	30000 Km
pneux	80000 Km
Batterie	2 ans
Alternateur	4 ans
Jeu de garnitures	2 ans
Régulateur	2 ans
Moteur	450000 Km

### 5.3 Traitement des données

#### 5.3.1 Traitement des données relatives aux clients

##### a. Localisation des clients

Cette partie du traitement des données s'est révélée fastidieuse. En effet, nous avons eu à localiser un ensemble d'environ 300 clients sur le planimètre pour cela nous avons dû nous référer au guide d'Alger. Malheureusement cela n'était pas toujours possible, nous avons alors été aidés par le service programmation de l'U.P.L 02 de Boudouaou. Malgré cela nous n'avons réussi à

localiser que 252 clients (les adresses des manquants ne figurant pas sur les documents disponibles).

b. Evaluation de la demande journalière de chaque client

Pour chacun des clients, nous disposons d'un état récapitulatif des livraisons. De l'observation de ces états nous avons noté que la quantité desservie à chaque client fluctuait d'un jour à l'autre d'où la nécessité de calculer une demande journalière moyenne par client.

Pour une analyse plus poussée de la structure de la demande globale de la région Alger-Est, nous avons calculé, en sommant les demandes journalières moyennes de tous les clients, la demande journalière moyenne pour chaque mois de l'année. De là, nous avons déduit le graphe suivant (figure 5.1):

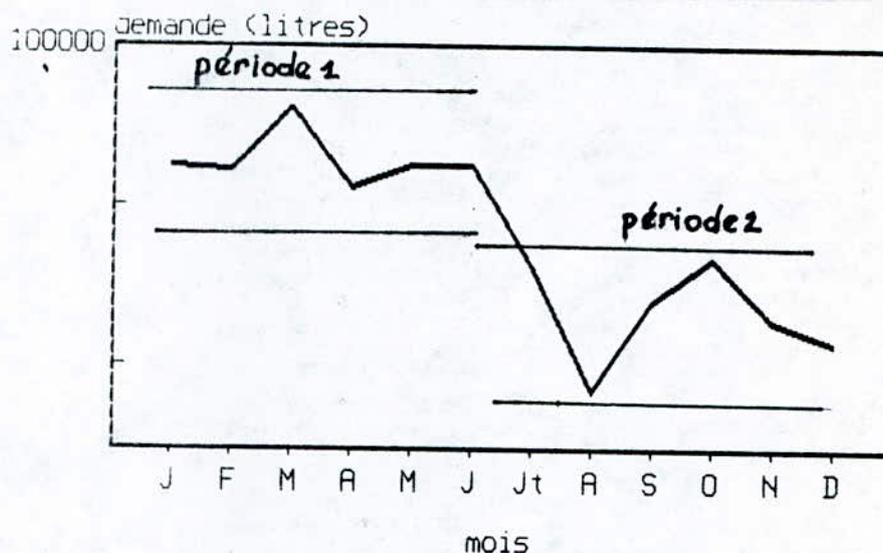


Fig 5.1 Variation de la demande globale d'Alger-Est tout au long de l'année.

c. Groupement des clients en zones

Le nombre de clients étant trop important, la seule façon de résoudre le problème est de les grouper en zones.

Comme il est très probable que les clients se trouvant dans un même voisinage soient desservis par le même véhicule, il constitueront donc une zone.

L'ensemble des clients que nous avons localisés a été partitionné en 67 zones, (voir annexe 17).

Toutefois, il est évident qu'il existe plusieurs partitionnements possibles et que plus les zones sont de petite taille, meilleure sera la solution finale, au détriment cependant du temps de traitement.

S'il survient qu'une certaine zone soit à forte demande, elle se verra certainement affecter un véhicule à elle seule. Pour prévenir une éventuelle mauvaise utilisation d'un véhicule desservant une zone individuelle, il serait judicieux de lui réserver à priori le véhicule qui serait entièrement exploité ce qui éliminerait d'office une partie de cette zone du traitement. Ce dernier ne prendra plus en considération que la partie résiduelle de la zone en question.

Cette façon de procéder n'est pas sans inconvénients. Ceux ci apparaissent lorsqu'on est en présence de plusieurs zones à forte demande et par conséquent de plusieurs "zones résiduelles". Dans de pareils cas l'efficacité d'une approche tentant de minimiser la distance parcourue pourrait être amoindrie puisqu'on serait éventuellement amené à livrer plusieurs zones résiduelles, même éloignées, par un même véhicule.

Le partitionnement pour lequel nous avons opté ne contenait que 3 zones importantes (toutes trois sont des cités d'habitations).

Nous n'avons donc pas jugé nécessaire de leur réserver un traitement particulier.

#### d. Restructuration des données relatives au zones

Comme dans l'approche de résolution une zone est équivalente à un client, il faudra à présent restructurer les données relativement aux zones.

##### 1. Reconstitution des demandes

Les zones étant définies, nous avons calculé la demande journalière moyenne pour chaque mois de l'année de chacune d'elles en sommant les demandes individuelles des clients qui s'y trouvent (voir annexe 18)

## 2. Détermination des coordonnées des zones

Nous nous sommes fixées un repère par rapport auquel nous avons déterminé les abscisses et les ordonnées des centres des zones et du dépôt (voir annexe 19)

## 3. Détermination du temps perdu dans une zone

Comme dans notre cas un client est représenté par une zone, nous ne pouvons négliger la distance parcourue à l'intérieur de celle-ci. Il était donc nécessaire de connaître pour chacune des zones la distance moyenne séparant 2 clients individuels, distances que nous avons estimées directement sur le planimètre (voir annexe 20).

Le trajet à l'intérieur d'une zone sera comptabilisée d'une part dans la longueur de la tournée à laquelle appartient cette zone, d'autre part, il s'ajoutera aux temps de déchargement au niveau des différents clients pour constituer le temps total perdu au niveau de la zone.

En définitive, celui-ci s'exprimera par:

$$t_i = n_i \times a + b \times q_i + (n_i - 1) \Delta_i$$

où:

$n_i$  : nombre de clients dans la zone  $i$ .

$a$  : temps fixe perdu au niveau d'un client individuel.

$b$  : temps perdu par unité distribuée.

$q_i$  : demande journalière moyenne de la zone  $i$ .

$\Delta_i$  : durée moyenne du trajet entre 2 clients individuels de la zone  $i$ .

## 4. Estimation de la matrice distance

Comme il serait pénible d'obtenir les distances réelles entre zones et de celles-ci à l'unité, nous avons préféré nous baser sur les distances à vol d'oiseau (euclidiennes) à partir desquelles seraient estimées les distances réelles par:

$$d_{ij}^r = \alpha d_{ij}^e \quad (5.1)$$

$d_{ij}^r$  : distance réelle de  $i$  à  $j$ .

$d_{ij}^e$  : distance euclidienne de  $i$  à  $j$ .

$\alpha$  : coefficient de correction.

### Estimation du paramètre $\alpha$ :

De l'ensemble des points, nous avons sélectionné 2 sous ensembles A et B de 10 zones chacun. L'un servira à estimer le coefficient  $\alpha$  en question et l'autre à valider la valeur obtenue.

Pour chacun des 2 sous ensembles A et B, nous avons calculé la matrice des distances euclidiennes et mesuré à partir du planimètre les distances réelles. Ces distances sont consignées dans les annexes 21 et 22, respectivement.

En référence à la formule (5.1), le paramètre  $\alpha$  a été estimé en régressant la distance réelle sur la distance à vol d'oiseau:

$$d_{ij}^r = 1.38 \times d_{ij}^e, \quad \sigma_\alpha = 0.04$$

La consistance de ce coefficient pour toute la région Alger-Est doit être testée en observant, à l'intérieur du sous ensemble B, les erreurs entre la distance réelle et la distance estimée. S'il s'avère que les erreurs relatives sont significatives, un réajustement s'imposera. Dans notre cas, le graphe 5.2 montre que les erreurs relatives commises, en estimant la distance réelle s'échelonnent entre -41% et 51%. Nous jugeons que cela est excessif et suggérons d'ajuster cette estimation ou de rectifier le modèle (formule 5.1). Cela n'est, cependant, pas évident à cause de l'hétérogénéité du réseau étudié. Vu le temps limité qui nous a été imparti pour terminer ce travail, nous préférons nous contenter de cette valeur.

Cela étant, il est à présent possible de déduire la matrice distance, que nous supposons encore une fois symétrique.

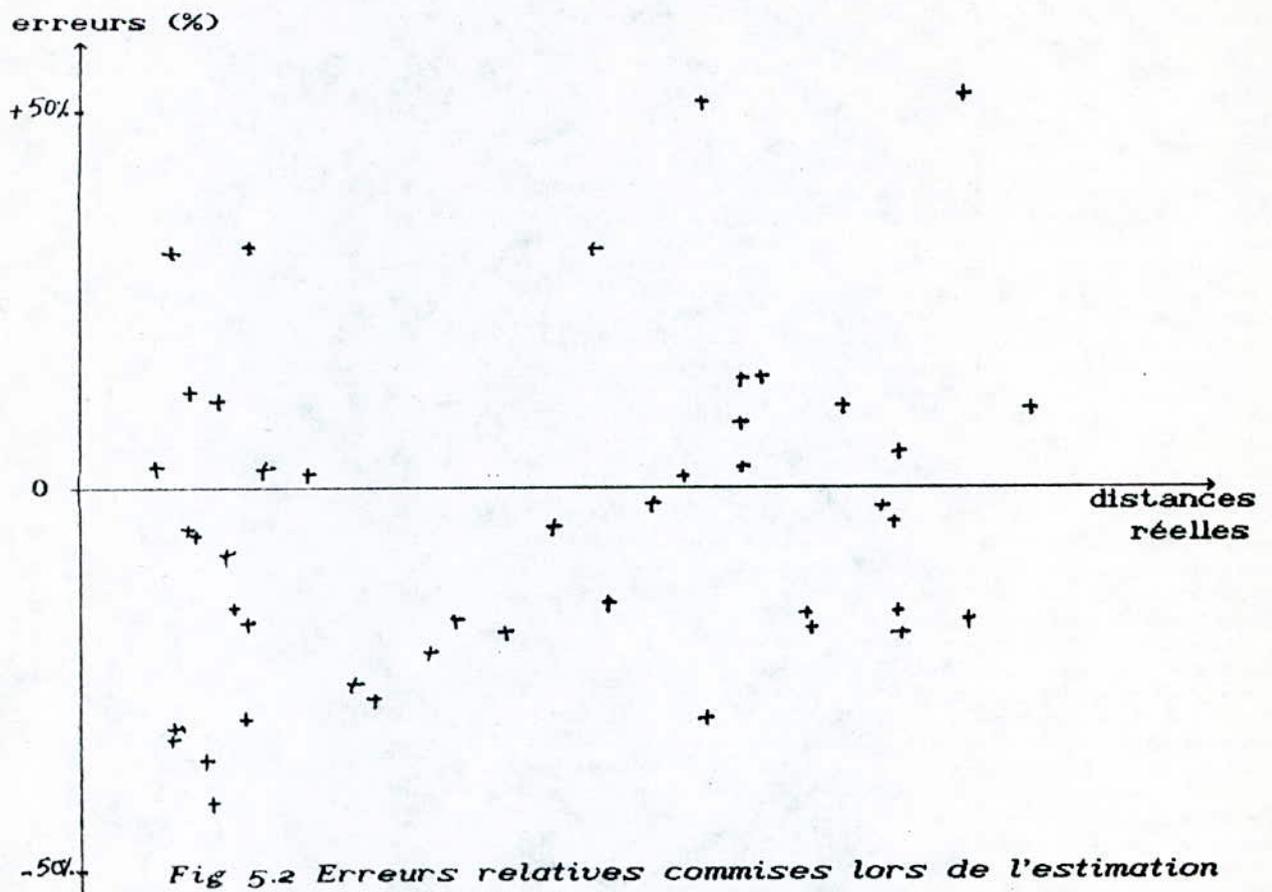


Fig 5.2 Erreurs relatives commises lors de l'estimation du paramètre  $\alpha$

### 5.3.2 Traitement des données relatives à la flotte

Ce traitement consistera à scinder l'ensemble des coûts de distribution en une partie fixe et une partie variable. Le critère de départage déjà énoncé auparavant est que l'on considère comme coût variable tous les coûts proportionnels au kilométrage parcouru et comme coût fixe tous les coûts liés uniquement à la possession de la flotte.

#### 5.3.2.1 Coûts fixes de distribution

On établit l'équation suivante:

$$\text{coûts fixes} = \text{coût du personnel} + \text{coût d'amortissement} + \text{coût d'assurance} + \text{partie des coûts de maintenance (maintenance régulière)}$$

Pour mesurer ces coûts fixes, il nous reste à traiter les données relatives au personnel et à la maintenance.

## a. Frais de personnel

Les salaires relevés sur les fiches de paye, aussi bien des chauffeurs que des livreurs, n'étaient pas homogènes et dépendaient par exemple du fait que l'employé ait effectué ou pas des heures supplémentaires, des missions, etc.... Pour éviter de prendre en compte ces conditions particulières, nous avons dû décomposer le salaire en ses différentes rubriques. Nous avons eu alors recours à des formules de comptabilité utilisées pour le calcul du salaire net à verser. Les expressions de calcul en question sont les suivantes:

salaire posté= salaire de base+ prime d'ancienneté+ indemnité de service permanent+ prime de rendement individuel. (1)

Brut imposable= salaire posté- cotisation S.S + Prime Panier  
+ Indemnité de transport+complément Panier + prime  
de rendement collectif (2)

Net à payer = Brut imposable - Retenue I.T.S + Allocation  
familliale + salaire unique. (3)

Avant de nous engager plus avant dans les calculs, rappelons que l'indemnité de service permanent est une somme payée aux membres du personnel qui parcourent journalièrement de grandes distances (supérieures à 260 Km). Cette indemnité ne devra donc pas être comptabilisée dans notre cas. Ne devront pas également être considérées les retenues conséquentes aux absences. Mentionnons par ailleurs, que les montants perçus sont indépendants, dans notre cas, du tonnage transporté.

En somme, en passant à l'évaluation du salaire moyen d'un livreur et celui d'un chauffeur, nous devons calculer une valeur moyenne de chacune des rubriques les composant, en nous basant sur les échantillons disponibles.

Finalement, dans le tableau 5.4, figurent les résultats de ces différents calculs:

Tableau 5.4: Frais du personnel (DA)

Rubrique	Chauffeurs	Livreurs
Salaire de base moyen	2332	1741
Prime d'ancienneté moyenne	341	288
Prime de rendement individuel moyenne	209	140
Salaire posté moyen	2883	2176
Prime panier moyenne	164	160
Complément de panier moyen	70	68
Indemnité de transport moyenne	81	52
Brut imposable moyen	3287	2520
Retenue I. T. S moyenne	239	140
Allocation familiale moyenne	181	174
Salairé unique moyen	40	40
Net à payer moyen	3267	2876

#### b. Frais de maintenance

Les opérations de maintenance se répétant à des intervalles réguliers seront considérées comme faisant partie des coûts fixes. D'après le tableau 5.3 il s'agira du renouvellement des batteries, de l'alternateur, du régulateur et du jeu de garniture des freins.

A partir des données extraites des fiches techniques des années 1987 et 1988, nous avons calculé pour chacun des 2 types de véhicules (6 et 10 tonnes), le prix moyen d'acquisition de chacune des pièces mentionnées, prix que nous avons par la suite majorés de 40%, taux d'inflation exceptionnel observé au cours de l'année 1989. Nous avons divisé le résultat obtenu par la fréquence de renouvellement, pour évaluer le coût annuel moyen de maintenance. (voir tableau 5.5).

Tableau 5.5: coûts fixes de maintenance (DA/an)

Désignation	coût de la maintenance ( DA/an)	
	6 tonnes	10 tonnes
Batterie	503	473
jeu de garniture de frein	644	603
régulateur	603	392
alternateur	249	864

L'ensemble des coûts fixes sont à présent disponibles. Il ne nous reste plus qu'à les sommer pour aboutir aux coûts fixes annuels que nous devons par la suite diviser par 365 (nombre de jours d'activité de l'unité) pour obtenir le coût fixe journalier de distribution, (voir tableau 5.6).

Tableau 5.6: Coûts fixes journaliers de distribution

Type	coût fixe (DA/jour)
6 tonnes	386
10 tonnes	501

### 5.3.2.2 Coûts variables de distribution

#### a. Consommation en gas-oil

A partir des données disponibles (Cf § 5.2.2.c), nous avons régressé pour chacun des 2 types 6 tonnes et 10 tonnes, la consommation en carburant sur le kilométrage parcouru correspondant. Les coefficients des 2 régressions s'étant révélés significatifs, la fonction consommation en gas-oil est bien linéaire et les deux coefficients en question représentent les consommations spécifiques relatives aux véhicules 6 tonnes et 10 tonnes respectivement, voir tableau 5.7.

Tableau 5.7: Consommation spécifique en carburant par type de véhicules

Type	consommation spécifique (litre/Km)	consommation spécifique (DA/Km)
6 tonnes	0.28	0.22 <sup>(*)</sup>
10 tonnes	0.36	0.31 <sup>(*)</sup>

(\*) le litre de gas-oil coûte 0.85 DA

Remarque:

Pour la regression, nous avons supprimé de la liste des données le point correspondant au mois de Février 1989 car visiblement anormal.

#### b. Coûts de maintenance

Dans ce cas, ce sont les pièces dont l'usure est liée directement à l'utilisation du véhicule, qui interviennent. Ce sont donc le moteur, le disque et le plateau d'embrayage et les pneus.

De nouveau, nous nous sommes référées aux fiches techniques pour obtenir, pour chacun des éléments mentionnés, le coût moyen de leur acquisition. Comme nous devons ramener celui ci à un coût unitaire, par kilomètre, nous le diviserons par la fréquence de renouvellement exprimée en nombre de kilomètres parcourus. En définitive, les coûts variables unitaires de maintenance sont estimés à:

Tableau 5.8: Coûts variables de maintenances (DA/Km)

Désignation	coût de maintenance (DA/Km)	
	6 tonnes	10 tonnes
pneux	0.17	0.27
disque d'embrayage	0.07	0.06
plateau d'embrayage	0.03	0.08
moteur	0.05	0.10

Après sommation (coût de maintenance + consommation spécifique), le coût variable unitaire par type de véhicule devient:

Tableau 5.9: Coût variable unitaire par type de véhicules

Type	coût variable (CDA/Km)
6 tonnes	0.54
10 tonnes	0.82

**Remarque:**

Jusqu'à présent, l'ensemble des coûts servant à l'élaboration des tournées et à la détermination de la flotte, ont été estimés par leurs valeurs moyennes. En vérité, la consommation en carburant et les frais de maintenance, par exemple, dépendent non seulement du type du véhicule, mais également de son âge. Il est difficile d'intégrer ce fait explicitement dans l'approche de résolution. Nous en tiendrons néanmoins compte ultérieurement pour l'affectation des véhicules et pour l'évaluation exacte du coût de distribution.

#### 5.4 Application

##### 5.4.1 Analyse du cas pratique

Le cas pratique auquel nous sommes confrontées dans le cadre de ce travail étant particulier à cause des fluctuations prononcées de la demande journalière tout au long de l'année, l'application exige en premier lieu de fixer les périodes à considérer pour l'établissement du programme des tournées et surtout pour la décision stratégique relative à la structure de la flotte.

En analysant le graphe en figure 5.1 illustrant la structure de la demande de l'année 1988 pour la région Alger-Est, il apparaît que 2 périodes se distinguent clairement:

- la période 1, allant du mois de Janvier au mois de Juin ou période pleine.
- la période 2, allant du mois de juillet au mois de décembre ou période creuse.

En fait, cela ne peut se confirmer qu'après étude du comportement

de la demande étalée sur plusieurs années. Malheureusement, nous ne disposons pas de données pour ce faire.

Nous avons donc décidé de baser notre travail sur les données disponibles et de concevoir deux programmes de tournées de distribution relatifs aux périodes 1 et 2. Les programmes ainsi établis couvriront les demandes de pointe de ces périodes. Nous avons, en résumé, retenu pour notre application, les mois de Mars et d'Octobre.

**Remarque:**

Pour certains clients, qui au cours de l'année 1988, ne reçurent pas de lait aux mois de Mars et d'Octobre, nous avons considéré la plus forte demande de la période 1 et 2 respectivement.

Nous obtiendrons ainsi deux configurations de flotte et considérons que l'entreprise devra acquérir la flotte relative à la période 2 et louer éventuellement la partie manquante pour couvrir la demande de pointe de la période pleine. Il est important de mentionner que, logiquement, le choix du niveau de la demande, que l'unité doit pouvoir desservir par ses véhicules propres, doit répondre au compromis entre le coût de location des véhicules en période pleine et le coût de sous utilisation de la flotte en période creuse. Ainsi, au lieu de se contenter de couvrir par sa propre flotte, la demande de pointe de la période creuse, il pourrait s'avérer plus économique pour l'unité de satisfaire une demande additionnelle, même si cela devait occasionner une sous exploitation des véhicules pendant la période estivale. Une analyse minutieuse devrait aboutir à la détermination d'un niveau raisonnable de la demande en question.

Ces hypothèses posées, rappelons que nous avons opté, pour la résolution du problème, d'appliquer les deux variantes développées de l'extention de l'approche de Golden et al. Il reste à savoir s'il est nécessaire d'introduire dès le premier abord la contrainte relative à la durée d'une tournée. Vue l'étendue du réseau Alger-Est, il paraît impossible qu'une tournée puisse durer au delà de 8 heures. Autrement dit, la contrainte en question sera redondante. Nous avons donc pris l'initiative de l'éliminer.

Cependant, comme nous le verrons ultérieurement, celle ci jouera un rôle important pour le raffinement des solutions.

**Remarque:**

Dans le cas où l'entreprise désirerait étendre l'étude sur un réseau plus large, la prise en compte de la contrainte dans l'approche de résolution s'imposerait.

Ayant ainsi fait abstraction, dans notre cas, de la contrainte relative à la durée d'une tournée, il sera par conséquent inutile de comptabiliser le temps de déchargement perdu au niveau des clients. Dans chaque longueur de tournée devra, par contre, être incluse la distance parcourue à l'intérieur des zones et ce pour évaluer correctement les coûts variables et ajuster les formules des "savings".

**5.4.2 Première solution proposée**

Finalement, après exécution des programmes, nous avons obtenu les résultats consignés, dans l'ordre croissant, dans les tableaux 5.10 relatifs aux périodes pleine et creuse.

*Tableau 5.10: Solutions proposées pour les période 1 et 2*

Periode 1			Periode 2		
n°	coût	flotte	n°	coût	flotte
1	4179	$B^8$	1	4051	$A^1B^7$
2	4565	$A^1B^8$	2	4157	$B^8$
3	4659	$B^9$	3	4445	$A^2B^7$
4	4957	$A^2B^8$	4	4550	$A^1B^8$
5	5068	$A^1B^9$	5	4692	$B^9$
6	5191	$B^{10}$	6	4948	$A^2B^8$

Type A : Véhicules à 6000 litres

Type B : Véhicules à 11000 litres

D'une première analyse de ce tableau, il apparaît qu'une flotte propre de l'unité constituée de 8 véhicules de 10 tonnes, est appropriée. En effet, si cette solution proposée pour la période pleine était appliquée pour la période creuse, elle n'engendrerait qu'une perte de 128 DA, soit 3%

Indépendamment de cette remarque, nous pouvons, après observation du tableau déduire les solutions les plus consistantes pour chacune des deux périodes.

Tableau 5.11: Solutions les plus consistantes pour les périodes 1 et 2

période	flotte	coût
1	B <sup>8</sup>	4179
2	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	4051

Les tournées relatives à la première période sont:

tournee n° 1 est:

0-->38-->22-->25-->59-->61-->60-->53-->27-->43-->21-->0

quantité =10857

nombre de clients = 10

véhicule utilisé = 11000

distance parcourue= 33

tournee n° 2 est:

0-->28-->51-->52-->55-->57-->58-->56-->62-->24-->48-->47-->23-->  
42-->0

quantité =10989

nombre de clients =13

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=34

tournee n° 3 est:

0-->10-->34-->8-->9-->7-->0

quantité =10490  
 nombre de clients =5  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=18

tournée n° 4 est:

0-->15-->37-->45-->29-->35-->31-->0

quantité =10884  
 nombre de clients =6  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=23

tournée n° 5 est:

0-->33-->36-->19-->30-->18-->39-->17--> 0

quantité =10609  
 nombre de clients =7  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=21

tournée n° 6 est:

0-->3-->5-->4-->16-->32-->14-->8--> 0

quantité =10892  
 nombre de clients =7  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=18

tournée n° 7 est:

0-->2-->12-->13-->11-->0

quantité =10403  
 nombre de clients =4  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=19

tournée n° 8 est:

0-->1-->41-->44-->50-->54-->64-->65-->67-->66-->63-->49-->26-->46  
 -->40-->20-->0

quantité =10757  
 nombre de clients =15  
 véhicule utilisé =11000  
 distance parcourue=40

distance totale parcourue =208  
 nombre de tournées =8  
 configuration : B<sup>8</sup>  
 coût total de distribution =4179

Les tournées relatives à la deuxième période sont consignées dans l'annexe 23.

#### 5.4.3 Raffinement des solutions:

Les solutions telles que générées par le programme ne sont pas finales, et peuvent être éventuellement raffinées.

##### a. Premier raffinement:

L'utilisateur doit corriger les séquences qu'il juge perfectibles. Il pourra par exemple intervertir 2 clients pour un meilleur agencement de la tournée. Après de légères corrections, les tournées relatives à la période 1 deviennent:

tournée n° 1 est:

0-->38-->21-->-->22-->25-->-->53-->59-->60-->61-->27-->43-->0

quantité =10857  
 nombre de clients = 10  
 véhicule utilisé = 11000  
 distance parcourue= 27

tournée n° 2 est:

0-->28-->51-->52-->55-->57-->58-->56-->62-->24-->48-->47-->23-->  
 42-->0

quantité =10989

nombre de clients =13

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=34

tournée n° 3 est:

0-->10-->34-->8-->9-->7-->0

quantité =10490

nombre de clients =5

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=18

tournée n° 4 est:

0-->15-->37-->45-->29-->35-->31-->0

quantité =10684

nombre de clients =6

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=23

tournée n° 5 est:

0-->33-->36-->39-->30-->19-->18-->17--> 0

quantité =10609

nombre de clients =7

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=18

tournée n° 6 est:

0-->3-->5-->6-->4-->16-->32-->14--> 0

quantité =10892

nombre de clients =7

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=16

tournée n° 7 est:

0-->2-->12-->13-->11-->0

quantité =10403

nombre de clients =4

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=19

tournée n° 8 est:

0-->1-->41-->44-->50-->54-->64-->65-->67-->66-->63-->49-->26-->46  
-->40-->20-->0

quantité =10757

nombre de clients =15

véhicule utilisé =11000

distance parcourue=40

distance totale parcourue =208

nombre de tournées =8

configuration :B<sup>8</sup>

coût total de distribution =4169

Nous avons procédé de même pour la période 2 et avons mentionné les modifications dans la même annexe 23.

#### b. Deuxième raffinement:

En observant les longueurs des tournées qui sont vraisemblablement assez courtes, on entrevoit la possibilité d'effectuer plusieurs voyages avec le même véhicule, sans toutefois enfreindre le nombre d'heures de travail réglementaire et ce pour économiser une partie des coûts fixes.

Nous avons donc évalué pour chacune des solutions, les durées des tournées leur correspondant en tenant compte, cette fois ci aussi bien des distances inter zones que des temps perdus dans chaque zone (trajets entre clients de la zone + temps de déchargement au niveau des clients).

Nous avons ainsi abouti aux durées figurant au tableau 5.12.

Tableau 5.12: Durées des tournées correspondant à la première solution possible (utilisant des véhicules de 11000 litres)

tournée	Période 1	Période 2
1	2h 40mn	2h 55mn
2	3h 25mn	2h 20mn
3	2h 35mn	2h 55mn
4	2h 55mn	2h 35mn
5	2h 15mn	2h 50mn
6	3h 15mn	2h 35mn
7	2h 30mn	3h 40mn
8	3h 10mn	1h 50mn

En cherchant à allouer à chaque chauffeur 2 tournées tel que, d'une part, les temps de service soient approximativement les mêmes pour l'ensemble des employés, et que d'autre part, les deux trajets ne durent pas au delà de 6h 30mn (on prévoit une marge substantielle de 1h 30 mn pour le chargement entre les deux voyages), on pourrait se suffire de:

- Période 1:

4 véhicules de 10 tonnes effectuant 2 voyages chacun.

- Période 2:

3 véhicules de 10 tonnes effectuant 2 voyages chacun,

1 véhicule de 10 tonnes pour une seule tournée,

1 véhicule de 6 tonnes pour une seule tournée.

Pour profiter pleinement pendant la période creuse du véhicule de 10 tonnes qui est insuffisamment exploité, il serait plus économique de lui adjoindre également la tournée effectuée initialement par le véhicule de 6 tonnes même si cela revient à utiliser partiellement sa capacité totale.

En imposant 2 tournées par véhicule, on aura épargné journalièrement, pendant les périodes pleine et creuse, (4x501) DA et (3x501+386)DA respectivement.

Pour de plus amples informations sur les procédures permettant de combiner plusieurs tournées individuelles en vue de les affecter à un nombre plus réduit de véhicules effectuant 2 voyages chacun, ou à l'inverse, de subdiviser une grande tournée de manière utiliser de plus petits véhicules faisant plusieurs voyages, le lecteur est invité à consulter l'article de Rand et Salhi [29].

En résumé, donc, l'U.P.L 01 a besoin, pour assurer l'alimentation du réseau Alger-Est, du moins la partie étudiée, de 4 véhicules de 10 tonnes.

Tableau 5.13: 1<sup>ère</sup> solution possible (utilisant des véhicules de 11000 litres)

1 <sup>ère</sup> periode	2 <sup>ème</sup> periode
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 1 et 6	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 1 et 2
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 2 et 5	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 3 et 4
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 3 et 4	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 5 et 6
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 7 et 8	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 7 et 8
Coût journalier: 2165 DA	Coût journalier: 2152 DA

#### 5.4.4 Solutions adaptées à la flotte disponible

Il s'avère malheureusement que cette configuration n'est pas conforme à la flotte possédée par l'unité. En fait, il manque un véhicule de 10 tonnes. La sous direction distribution peut toujours décider de l'acquérir sur le marché. S'il se trouve qu'elle est réticente à cet investissement supplémentaire nous lui proposons de tirer profit des véhicules de 6 tonnes beaucoup plus disponibles.

a. Première adaptation:

Une première adaptation possible serait éventuellement de substituer à un véhicule de 11000 litres deux véhicules de 6000 litres effectuant chacun 2 tournées.

La question qui se pose est de savoir lequel des véhicules de 11000 litres choisir. Pour des raisons de simplification, nous avons décidé de reconsidérer les tournées "1" et "6" pour la période 1 et "1" et "2" pour la période 2. Nous départagerons chacune de ces tournées en deux.

Pour la période 1:

-La tournée 1 se décomposera en:

tournée (1)<sup>(1)</sup>: 0-->38-->21-->2-->25-->53-->59-->60-->27-->0

tournée (1)<sup>(2)</sup>: 0-->61-->43-->0

-La tournée 6 se décomposera en:

tournée (6)<sup>(1)</sup>: 0-->3-->5-->6-->0

tournée (6)<sup>(2)</sup>: 0-->4-->16-->32-->14-->0

Pour la période 2:

-La tournée 1 se décomposera en:

tournée (1)<sup>(1)</sup>: 0-->26-->27-->25-->24-->54-->63-->66-->0

tournée (1)<sup>(2)</sup>: 0-->65-->67-->64-->62-->0

-La tournée 2 se décomposera en:

tournée (2)<sup>(1)</sup>: 0-->53-->55-->57-->58-->56-->59-->60-->0

tournée (2)<sup>(2)</sup>: 0-->61-->0

La solution ainsi proposée constituera une borne supérieure.

La deuxième solution possible est résumée dans le tableau 5.14.

Tableau 5.14: 2<sup>ème</sup> solution possible (A<sup>2</sup>B<sup>3</sup>)

1 <sup>ère</sup> période	2 <sup>ème</sup> période
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 1 et 6	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 1 et 2
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 2 et 5	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 3 et 4
-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 3 et 4	-Véhicule de 10 tonnes: Tournées 5 et 6
-Véhicule de 6 tonnes: Tournées 1 <sup>(1)</sup> 6 <sup>(1)</sup>	-Véhicule de 6 tonnes; Tournées 1 <sup>(1)</sup> et 1 <sup>(2)</sup>
-Véhicules de 6 tonnes: Tournées 1 <sup>(2)</sup> et 6 <sup>(2)</sup>	-Véhicules de 6 tonnes; Tournées 2 <sup>(1)</sup> et 2 <sup>(2)</sup>
Coût journalier: 2469 DA	Coût journalier: 2443 DA

#### b., Deuxième adaptation:

Une troisième solution possible serait de considérer une flotte complètement homogène. Pour déterminer le nombre requis de véhicules de 6000 litres, pour les deux périodes, nous devons prévoir le nombre nécessaire de tournées pour desservir la région dont il est question.

Nous nous refererons de nouveau à l'approche de Clarke et Wright appliquée à une flotte homogène.

#### Remarque:

Comme les zones 9 et 13 sont caractérisées par une demande journalière supérieure à 6000 litres, nous devons, pour mettre en pratique l'approche de Clarke et Wright, réduire ces zones à 2 zones résiduelles 9' et 13'. et ce après avoir réservé préalablement 2 véhicules de 6 tonnes pour les zones 9 et 13. Nous obtenons après exécution:

Tableau 5.15: 3<sup>ème</sup> solution possible (Flotte homogène de véhicules de 6000 litres)

Période	Flotte (nombre de véhicules)	Coût
Période 1	15	5955
Période 2	14	5557

Dans les annexes 24 et 25, on trouvera les tournées correspondants à ces flottes homogènes, elles seront de nouveau rectifiées, lorsque cela s'avèrera nécessaire.

Tableau 5.16: Durées des tournées relatives à la troisième solution (Flotte homogène)

tournée	Période 1	Période 2
1	1h 50mn	1h 25mn
2	2h 50mn	1h 50mn
3	1h 45mn	1h 35mn
4	1h 35mn	2h 55mn
5	1h 35mn	1h 35mn
6	1h 50mn	0h 50mn
7	1h 15mn	2h 30mn
8	2h 35mn	1h 25mn
9	2h	1h 55mn
10	1h 15mn	1h 50mn
11	1h 45mn	1h 35mn
12	1h 20mn	1h 25mn
13	1h 15mn	1h 15mn
14	1h 15mn	1h 25mn
15	1h 25mn	

En examinant les tournées relatives à ces deux périodes, nous avons noté que vue la durée des tournées l'on peut se permettre également d'affecter à chaque équipage 2 tournées.

En somme, la troisième solution possible peut s'énoncer comme:

Tableau 5.17 : 3<sup>ème</sup> solution possible raffinée

1 <sup>ère</sup> periode	2 <sup>ème</sup> periode
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 1 et 10	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 1 et 4
-Vehicule de 6 tonnes: Tournée 2	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 2 et 8
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 3 et 4	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 3 et 11
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 5 et 11	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 5 et 10
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 6 et 7	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 6 et 9
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 8 et 13	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 7 et 12
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 9 et 12	-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 13 et 14
-Vehicule de 6 tonnes: Tournées 14 et 15	
Coût journalier: 3245 DA	Coût journalier: 2855 DA

Jusqu'à présent, il n'y a eu aucune nécessité de faire appel à des distributeurs privés pendant la période pleine. Si la politique d'avoir recours à eux doit néanmoins se maintenir, comme l'affirme l'unité de Boudouaou, cela coûtera journalièrement à l'U.P.L 01 12333 DA en moyenne (82222 litres à desservir à raison de 0.15 DA par litre).

Il reste à la sous direction Distribution de décider de la solution à retenir après examen de ces différentes éventualités.

**Remarque:**

Il serait intéressant de tenir compte de l'influence de l'âge sur les coûts variables et partant sur l'affectation des véhicules. Pour cela, au moment de concrétiser cette organisation, le service inspection de la sous direction distribution (qui se charge d'organiser les tournées), devra réserver les plus courts parcours aux plus anciens véhicules. Il serait alors intéressant de réévaluer le coût de distribution en conséquence.

**5.5 Etude de sensibilité:**

Une phase importante à accomplir avant le choix définitif de la flotte est d'analyser sa sensibilité aux variations de la demande au cours de l'année.

Pour ce faire, nous avons déterminé pour chaque mois un ensemble de solutions. Notre attention se portera uniquement sur les configurations des flottes. Nous avons retenu les 4 meilleures solutions, auxquelles s'ajoutera également une solution composée uniquement de véhicules de 6000 litres. Elles seront toutes consignées dans les tableaux 5.18 et 5.19 ci-dessous.

Une appréciation sur la consistance d'une solution pour les périodes 1 et 2 sera prononcée en fonction de la fréquence d'occurrence de ladite configuration dans les solutions obtenues pour les mois de la période considérée.

**Remarque:**

Comme il est très probable qu'une opportunité d'effectuer deux tournées par véhicule puisse s'offrir nous avons également assumé cette hypothèse.

Après observation des résultats, nous pouvons confirmer la validité des deux premières solutions ( $A^{(4)}$  ou  $A^{(2)}B^{(3)}$ ): Elles demeurent valables pour tous les mois de l'année.

La flotte homogène constituée de véhicules de 6000 litres s'est révélée être suffisante pour un total de 7 camions. Pourtant, il a été montré antérieurement qu'il était nécessaire d'acquérir,

Tableau 5.18: Solutions proposées pour les mois de la période 1

JANVIER			FEVRIER			MARS		
n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte
1	4051	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	1	3365	B <sup>7</sup>	1	4037	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>
2	4171	B <sup>8</sup>	2	4029	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	2	4147	B <sup>8</sup>
3	4433	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>	3	4135	B <sup>8</sup>	3	4320	A <sup>3</sup> B <sup>6</sup>
4	4549	A <sup>1</sup> B <sup>8</sup>	4	4380	A <sup>13</sup>	4	4438	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>
5	4782	A <sup>14</sup>	5	4427	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>	5	4773	A <sup>14</sup>

AVRIL			MAI			JUIN		
n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte
1	3361	B <sup>7</sup>	1	3921	A <sup>2</sup> B <sup>6</sup>	1	4044	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>
2	4019	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	2	4033	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	2	4153	B <sup>8</sup>
3	4148	B <sup>8</sup>	3	4141	B <sup>8</sup>	3	4430	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>
4	4381	A <sup>13</sup>	4	4295	A <sup>3</sup> B <sup>6</sup>	4	4535	A <sup>1</sup> B <sup>8</sup>
5	4430	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>	5	4380	A <sup>13</sup>	5	4774	A <sup>14</sup>

Tableau 5.19: Solutions proposées pour les mois de la période 2

JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE		
n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte
1	3648	B <sup>7</sup>	1	3528	A <sup>1</sup> B <sup>6</sup>	1	3922	A <sup>2</sup> B <sup>6</sup>
2	3904	A <sup>2</sup> B <sup>6</sup>	2	3635	B <sup>7</sup>	2	4017	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>
3	4020	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	3	3901	A <sup>2</sup> B <sup>6</sup>	3	4147	B <sup>8</sup>
4	4152	B <sup>8</sup>	4	3985	A <sup>12</sup>	4	4289	A <sup>3</sup> B <sup>6</sup>
5	4379	A <sup>13</sup>	5	4014	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	5	4380	A <sup>13</sup>

OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE		
n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte	n°	Coût	Flotte
1	4061	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	1	4042	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>	1	4036	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>
2	4155	B <sup>8</sup>	2	4162	B <sup>8</sup>	2	4150	B <sup>8</sup>
3	4451	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>	3	4541	A <sup>1</sup> B <sup>8</sup>	3	4381	A <sup>13</sup>
4	4550	A <sup>1</sup> B <sup>8</sup>	4	4669	B <sup>9</sup>	4	4431	A <sup>2</sup> B <sup>7</sup>
5	4782	A <sup>14</sup>	5	4782	A <sup>14</sup>	5	4547	A <sup>1</sup> B <sup>8</sup>

pendant la période 1 (rappelons que sa demande est assimilée à celle du mois de Mars, avec cependant certaines demandes supplémentaires (Cf § 5.4.1)), 8 véhicules de 6000 litres, l'un d'eux effectuant un seul voyage. Nous pensons que ce véhicule supplémentaire a absorbé les quantités manquantes des clients non desservis aux mois de Mars.

Il est préférable de retenir pour la période de pointe la configuration  $A^{(8)}$  car les demandes de ces clients ont été rectifiées et réestimées.

### 5.6 Solution relative au réseau Alger-Est dans sa totalité

Les solutions proposées jusqu'à présent et que nous avons résumées dans le tableau 5.20, sont relatives à une partie seulement du réseau que l'U.P.L 01 nous avait initialement soumis. Il reste cependant possible, par une estimation logique, de déduire une solution pour la partie résiduelle, en l'occurrence les zones de Baraki et Eucalyptus. Cette solution ne sera évidemment pas la meilleure mais le but recherché est en fait de déterminer une borne supérieure du coût et du nombre de véhicules desservant la région Alger-Est.

Tableau 5.20: Différents solutions possibles

	Solution 1		Solution 2		Solution 3	
	Coût	Flotte	Coût	Flotte	Coût	Flotte
période 1	2165	$B^4$	2469	$A^2 B^3$	3245	$A^6$
Période 2	2153	$B^4$	2443	$A^2 B^3$	2855	$A^7$

#### 5.6.1 Détermination du nombre de véhicules nécessaires

Nous utiliserons comme estimation du nombre de véhicules nécessaires à desservir les zones en question:

$$n_k^i = \frac{Q_i}{V_k} \text{ véhicules}$$

avec

$n_k^i$  : nombre de véhicules de type k desservant la zone i

$Q_i$  : demande de la zone i

$V_k$  : Capacité du véhicule de type k

Les quantités à servir pour les 2 zones de Baraki et Eucalyptus sont:

Tableau 5.21: Demandes relatives aux zones de Baraki et Eucalyptus (litres)

	Période 1	Période 2
Baraki	25458	18882
Eucalyptus	13477	15551

Si l'on considère donc les véhicules de 6000 litres les zones en question devront être livrées par:

Tableau 5.22: Flottes nécessaires pour les zones de Baraki et Eucalyptus (nombre de véhicules de 6 tonnes)

	Période 1	Période 2
Baraki	5	4
Eucalyptus	3	3

Par contre, relativement aux véhicules de 11000 litres, les flottes devront emprunter les structures suivantes:

Tableau 5.23: Flottes nécessaires pour les zones de Baraki et Eucalyptus (nombre de véhicules de 10 tonnes)

	Période 1	Période 2
Baraki	3	2
Eucalyptus	2	2

### 5.6.2 Raffinement de la solution relative aux zones de Baraki et Eucalyptus

Vérifions à présent s'il est possible de programmer deux tournées par véhicule.

En partant de l'hypothèse qu'un trajet aller retour jusqu'à Baraki et de même jusqu'à Eucalyptus dure environ 80 mn, il s'agira de s'assurer que cette durée majorée du temps perdu à l'intérieur de la zone ne dépasse pas 3 heures au maximum.

Si l'on se réfère au cas où un véhicule de 11000 litres a à desservir le  $\frac{1}{3}$  de la demande de Baraki par exemple ce qui équivaut, disons, au  $\frac{1}{3}$  du nombre des clients soit  $\frac{67}{3}$  clients, la tournée durerait 2h 45mn.

#### Remarque

- La distance entre clients, intervenant dans l'évaluation du temps perdu dans la zone (Cf § 5.3.1.d), a été intuitivement (en considérant que Baraki, tout autant que Eucalyptus, sont des cités d'habitation très denses) supposée égale à 100m.
- Les distances de l'unité jusqu'à Baraki et Eucalyptus ont été estimées à 12 km.

Par conséquent, nous pouvons confirmer la possibilité d'affecter 2 tournées à chaque véhicule.

La flotte de véhicules de 6000 litres se verrait donc réduite à 4 véhicules. Le coût journalier s'élèverait à 1648DA, pendant la période pleine, et à 1628 DA, pendant la période creuse.

Dans l'autre cas de figure, en raffinant la solution brute ( $B^5$ ), la première décision possible qui s'impose est d'affecter 4 chargements de 11000 litres à 2 véhicules de 10 tonnes puis de se contenter d'un véhicule de 6000 litres qui se chargerait d'écouler les quantités résiduelles en deux voyages.

### 5.6.3 Détermination de la flotte pour le réseau Alger-Est dans sa totalité

En joignant la solution sus mentionnée ( $A^1B^2$ ) à la flotte homogène réservée pour la partie précédemment étudiée ( $A^8$ ), le coût journalier occasionné pour l'ensemble du réseau d'Alger-Est, c'est à dire rattaché à la flotte  $A^8B^2$  s'élèverait à 4707 DA.

Cependant, comme l'unité dispose au total de 8 véhicules de 6 tonnes et de 3 véhicules de 10 tonnes, ce facteur nous oblige à abandonner la solution sus-citée au profit d'une flotte de 3 véhicules de 10 tonnes pour les zones de Baraki et Eucalyptus et de 8 véhicules pour le reste des zones. Cette alternative est évidemment moins économique, les frais de distribution induits se chiffrant à 4866 DA.

En résumé, donc, il existe 3 éventualités pour alimenter le réseau Alger Est.

Tableau 5.24: Configurations possibles pour le réseau Alger Est

	1 <sup>ère</sup> Solution		2 <sup>ème</sup> Solution		3 <sup>ème</sup> Solution	
	Flotte	coût	Flotte	Coût	Flotte	Coût
Periode 1	$B^4A^4$	3813	$A^6B^3$	4117	$A^8B^3$	4866
Periode 2	$B^4A^4$	3800	$A^6B^3$	4091	$A^7B^2$	3896

### 5.7 Implémentation

Si l'on respectait la philosophie du "vehicule routing problem" qui, en regard à une situation donnée, tente de minimiser le coût total de distribution, le programme de tournées de livraisons devrait s'adapter perpétuellement aux changements conjoncturels. La survenance de nouveaux clients, par exemple, perturbant continuellement le système de distribution devra, théoriquement, amener les preneurs de décisions à rectifier les

itinéraires des véhicules. Mais, est ce pratiquement la meilleure solution. En d'autres termes, le praticien est confronté à un dilemme:

- Faudra t-il opter pour un planning de distribution rigide au détriment de la flexibilité face aux variations du court terme?
- Ou faudra t-il plutôt établir un programme de tournées journalières au risque de perdre l'avantage de la familiarité des chauffeurs avec leurs tournées?

Le problème reste posé et il appartient au planificateur de trouver un juste équilibre.

Quoiqu'il en soit, les données relatives au système et par conséquent l'organisation de la distribution devront tôt ou tard être remises à jour. Le programme informatique "Tournées" que nous avons élaboré offre certaines possibilités résumées dans le présent paragraphe.

L'utilisateur peut sélectionner dans un menu une option parmi les 7 disponibles. Pour les décrire, nous les avons structurées, en trois classes:

- 1- Gestion des données
- 2- Elaboration d'un programme de tournées
- 3- Impression et visualisation des résultats

#### 5.7.1 Gestion des données

Mentionnons en premier lieu que toutes les données doivent être déjà stockées dans un fichier. En fait, en ce qui nous concerne, les données que nous avons collectées puis traitées sont stockées dans les fichiers dénommés "période1" et "période2" pour tout ce qui se rapporte aux clients, respectivement pour la période de pointe et pour la période creuse, et "Flottebk" pour tout ce qui se rapporte à la flotte. Rappelons également que nous avons testé la sensibilité de la flotte proposée aux variations saisonnières. Pour cela, nous avons eu besoin de rassembler les données relatives aux différents mois de l'année dans les fichiers: "Janvier", "Fevrier", ..., "Decembre".

Pour introduire de nouvelles données, par clavier, l'intéressé devra recourir au programme "Données". Celles ci seront à leur

tour stockées dans un fichier dont le nom sera indiqué par l'utilisateur.

Dans le cadre de la gestion des données, existent 4 options:

a. Visualisation des données "option 1"

Pour vérifier si les données ont été introduites correctement, celles ci peuvent être visualisées sur l'écran.

b. Modification des données "option 2"

S'étant assuré qu'une valeur donnée, après éventuellement une visualisation, est entachée d'une erreur, l'utilisateur peut la rappeler de nouveau et la corriger.

Cette option serait particulièrement intéressante pour réajuster les distances entre zones et des zones à l'unité. Cela serait d'autant plus facile que la direction peut charger ses chauffeurs, grâce à un questionnaire approprié, de relever sur les compteurs kilométriques de leurs véhicules la distance entre deux lieux. En outre, en cas d'annulation d'un contrat avec un client donné, la demande de la zone à laquelle appartenait le client devrait être modifiée par la présente option et ce en lui soustrayant la quantité manquante.

c. Introduction d'un nouveau client "option 3"

Comme il a été déjà souligné, le nombre de clients souscrits à l'unité ne cese d'augmenter. La sous-direction Distribution devra donc, périodiquement, remettre à jour les données relatives aux clients.

Deux cas de figures peuvent alors se présenter:

- Soit que le client appartient à une zone préexistante, il suffit alors d'introduire la demande de ce dernier.
- Soit que le client ne peut être inclus dans aucune zone en présence. Dans ce cas, outre l'introduction de la demande, la zone devra être caractérisée par la distance moyenne entre deux de ses clients et par sa distance aux autres zones et à l'unité.

Il serait, par exemple opportun pour l'entreprise lorsqu'elle disposera des informations requises d'introduire les zones de Baraki, d'Eucalyptus et d'une partie de Dar El Beida.

#### d. Adaptation de l'offre et de la demande "option 4"

La fonction distribution n'étant pas indépendante de celle de la production, elle devra en cas d'insuffisance de la quantité disponible, rationner équitablement l'ensemble des clients. Ceci se fera automatiquement en sélectionnant l'option 4.

L'unité devra alors éviter de conserver le même programme de tournées car, dans ce cas, les véhicules seront expédiés non complètement remplis. Il serait préférable qu'elle rétablisse pour la journée d'autres itinéraires et ce en sélectionnant après l'option 4, l'option 5. Les véhicules non utilisés seront maintenus à l'unité ce qui économiserait une partie des coûts variables.

### 5.7.2 Elaboration du programme des tournées

Le programme qui construit des tournées a été dénommé "Fleetmix". Il correspond à l'option 5. L'utilisateur du programme en question devra désigner le nom de l'exécution en cours. Il devra veiller à ne pas employer une appellation qu'il a déjà prise pour ne pas écraser les fichiers résultats des exécutions précédentes. Le nom qu'il aura retenu constituera la racine des extensions générées par le programme et qui serviront à dénommer les différents fichiers résultats.

### 5.7.3 Impression et visualisation des résultats

#### a. Impression des résultats "option 6"

La première étape est d'indiquer le nom de l'exécution dont on désire étudier les résultats. L'écran affichera alors un ensemble de noms de fichiers correspondants à différentes solutions possibles et les coûts et les configurations de la flotte caractérisants ces mêmes solutions. Le planificateur choisira alors d'imprimer le fichier résultat de la solution qui convient au mieux aux disponibilités de l'entreprise et qui soit à moindre coût. Le fichier imprimé est un plan de route pour la sous

direction Distribution,

b. Visualisation graphique des tournées "option 7"

Nous avons pensé qu'il serait approprié de visualiser graphiquement les tournées. L'utilisateur devra spécifier le nom de l'exécution puis du fichier de résultats à visualiser et enfin le nom du fichier contenant les coordonnées euclidiennes des zones et de l'unité.

Le programme "tournées" qui a été, à l'origine, conçu pour résoudre les problèmes liés à la distribution du lait, peut tout aussi bien s'appliquer au niveau de l'unité pour l'organisation de la collecte du lait auprès des fermes ou du ramassage du personnel.

5.8 Conclusion:

Il s'agissait dans notre application pratique de soumettre à l' U.P.L 01 de Birkhadem un schéma rationnel de distribution du lait dans le réseau d'Alger Est.

En vérité, dans notre expertise, pour des raisons de disponibilité de l'information, nous nous sommes penchées uniquement sur une partie du réseau. Nous avons alors traité un ensemble de données, concernant la région étudiée, disponibles à l'état brut, pour les mettre sous une forme standard. Pour permettre l'aboutissement de notre application pratique, une série d'estimations relatives aux distances, à la demande de certains clients, etc..., se sont imposées. Bien qu'elles ne soient pas toutes fondées, nous avons été obligées de les retenir, faute de temps pour une étude plus approfondie.

Cela étant, nous avons dérivé après application, un ensemble de solutions que nous avons raffinées pour les ajuster à la situation spécifique de l'unité.

Désirant, malgré tout, proposer une configuration de la flotte qui permette d'alimenter l'ensemble du réseau Alger-Est, nous avons, à partir des demandes, des zones de Baraki et d'Eucalyptus déduit le nombre de véhicules nécessaires pour assurer la distribution dans

ces zones.

Les solutions auxquelles nous aboutissons pour le réseau global constituent une borne supérieure pour l'unité. Les différentes solutions possibles sont rappelées dans le tableau ci dessous:

Tableau 5.25: Configurations possibles pour le réseau Alger Est

	1 <sup>ère</sup> Solution		2 <sup>ème</sup> Solution		3 <sup>ème</sup> Solution	
	Flotte	coût	Flotte	coût	Flotte	coût
Période 1	$B^4 A^4$	3813	$A^6 B^3$	4117	$A^8 B^3$	4866
Période 2	$B^4 A^4$	3800	$A^6 B^3$	4091	$A^7 B^2$	3896

D'autre part, nous avons mentionné, au début du présent chapitre, que nous avons fait abstraction de  $1/6$  du nombre de clients, soit  $1/6$  de la demande globale de la zone examinée. Cela ne manquera pas d'altérer la robustesse des solutions proposées. Nous n'avons, cependant, aucune possibilité pour contourner ce problème.

La première observation à relever après lecture du tableau 5.25 est que, loin d'être bouleversée pendant la période creuse, comme l'on s'y attendait, la flotte s'est vue conserver la même configuration. deux raisons peuvent être avancées:

- Les hypothèses relatives à la demande, tirées uniquement des documents datés de l'année 1988, reflètent un certain phénomène de saisonnalité. Ce phénomène est cependant fortement atténué pour cette année par les circonstances de pénurie du lait en poudre. Ce qui justifie le fait que les structures de la flotte soient quasiment identiques pour les 2 "saisons".

- Il n'existe pas au niveau de l'unité une grande variété de véhicules de distribution, ce qui limite considérablement le choix dans l'approche de résolution. L'application serait plus intéressante si l'on augmentait le nombre de types disponibles.

## CONCLUSION

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous avons traité un problème communément appelé "The fleet size and mix vehicle routing problem", dans lequel il s'agissait de déterminer en même temps la composition appropriée de la flotte et les itinéraires des véhicules de manière à minimiser le coût total de distribution.

Quoique la formulation mathématique de ce problème soit aisée, nous avons dû, pour sa résolution, utiliser une approche heuristique, vu le nombre important de variables et de contraintes. Nous avons opté pour une approche basée sur le concept des "savings" développée par Golden et al qui incorpore et l'économie en coûts fixes et l'économie en distance.

Désirant par ailleurs parfaire cette approche, nous avons pensé à l'étendre pour y inclure l'effet de la variabilité des coûts variables selon le type de véhicule. Nous avons élaboré, dans ce contexte, deux variantes dont l'efficacité a été, par la suite, testée sur 20 problèmes standards tirés de la littérature. Les résultats se sont révélés concluants puisque les configurations de la flotte se sont vues modifiées à la suite de cette extension.

Finalement, nous avons concrétisé nos travaux au niveau de l'unité U.P.L 01 de l'O.R.L.A.C de Birkhadem.

Eu égard à la difficulté d'obtenir des données, nous avons été amenés à estimer un certain nombre de paramètres. Un réexamen complet des données s'impose. Nous soulignons que notre ambition n'est pas d'imposer un schéma de distribution final, mais de soumettre aux responsables de la distribution de l'U.P.L 01 une méthodologie d'autant plus que nous mettons à leur disposition un programme informatique auquel ils devront se référer pour la prise de décision. Il suffira à l'avenir de mettre à jour les données pour déterminer un plan de route définitif.

Au terme du présent projet de fin d'études, nous sommes à même de proposer, outre celles qui ont été énoncées tout au long du travail, un certain nombre de suggestions qui peuvent constituer un point de départ pour une éventuelle poursuite de ces travaux. Nous ne manquerons pas de mentionner que ce domaine de recherche est loin d'être saturé.

Sur le plan académique, nous proposons:

- d'intégrer dans d'autres approches que celle des "savings", la dépendance du coût variable unitaire et du type de véhicule.
- d'inclure dans le "Fleet size and mix problem" une limite sur le nombre de véhicules disponibles pour chaque type.
- de concevoir une approche de résolution du "Fleet size and mix problem" qui tienne compte de l'âge du véhicule pour une évaluation plus précise des coûts.
- de déterminer un modèle d'estimation des distances réelles approprié au cas où le réseau routier est hétérogène.

Sur le plan pratique, il serait intéressant de:

- réétudier sous un aspect plus scientifique le découpage régional par lequel on a déterminé les zones à desservir par chacune des unités après l'entrée en service des unités de Blida et Aïn Defla. Il est certain que cela ne manquera pas d'affecter les coûts de distribution.
- de se pencher sur un problème de programmation des tournées dans lequel on impose une contrainte horaire pour les livraisons (cas d'Alger-Centre).
- de procéder à une réorganisation des chargements des véhicules à quai d'usine.
- d'établir une comparaison entre une solution jugée bonne obtenue en traitant les zones de Baraki et Eucalyptus indépendamment du reste du réseau Alger-Est et la solution globale obtenue lorsque ce réseau est considéré dans sa totalité.

Enfin, nous espérons que le travail fourni peut contribuer à démontrer que grâce aux méthodes de la recherche opérationnelle, il est possible, par des mesures organisationnelles appropriées, d'élever grandement la productivité du travail et du capital.

## REFERENCES

- [1] P. ALSBURY, "The vehicle fleet mix", *Int. J. Phys. Dist.* 3, 123-125, (1972)
- [2] J.E. BEASLEY, "Route first-Cluster second methods for vehicle routing", *OMEGA* 11 (4), 403-408, (1983)
- [3] L. BODIN and B. GOLDEN, "Classification in vehicle routing and scheduling", *Networks* 11, 97-108, (1971)
- [4] L. BODIN, B. GOLDEN, A. ASSAD and M. BALL, "The state of the art in routing and scheduling of vehicles and crews", *Comput and Opns Res* 10, 62-212, (1983)
- [5] K. BOTT and R.H. BALLOU, "Research perspectives in vehicle routing and scheduling", *Transp Res. part 20A*, 239-243, (1986)
- [6] G. CLARKE and J.W. WRIGHT, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Opns Res.* 12, 568-581, (1964)
- [7] N. CHRISTOFIDES and S. EILON, "An algorithm for the vehicle dispatching problem", *Opns Res.* 20, 309-318, (1969)
- [8] N. CHRISTOFIDES, A. MIGNOZINI and P. TOTH, "State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems", *Networks* 11 (2), 145-164, (1981)
- [9] R.W. EGLESE, "Heuristics in operational research", *Supplement to J. Opl Res. Soc.*, (1986)
- [10] S. EILON, C.D.T. WATSON-GANDY and N. CHRISTOFIDES, "Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis", Griffin, London, (1971)
- [11] S. EILON, C.D.T. WATSON-GANDY and A. HEILBRON, "A vehicle fleet costs more", *Int. J. Phys. Dist* 4, (June 1971)
- [12] M.L. FISHER and R. JAIKUMAR, "A generalized assignment heuristic for vehicle routing", *Networks* 11, 109-124, (1981)
- [13] T.J. GASKELL, "Bases for vehicle fleet scheduling", *Opl Res. Quart.* 18, 281-295, (1967)
- [14] B. GOLDEN, A. ASSAD, L. LEVY and F. GHEYSSENS, "The fleet size and mix vehicle routing problem", *Comput. and Opns Res* 11 (1), 49-66, (1984)
- [15] J. GOULD, "The size and composition of a road transport fleet", *Opl Res. Quart.* 20, 81-92, (1969)
- [16] D. KIRBY, "Is your fleet the right size?", *Opl Res Quart* 10, 252, (1959)
- [17] E.L. LAWLER, J.K. LENSTRA, A.H.G. RINNOOY KAN and D.B. SHMOYS, "The travelling salesman problem. A guided tour of combinatorial

optimisation", John Wiley and Son, (1985)

[18] J.K. LENSTRA and A.H.G. RINNOOY KAN, "Some simple applications of the travelling salesman problem", *Opl Res. Quart.* 26 (4), 717-733, (1975)

[19] S. LIN, "Computer solutions for the travelling salesman problem", *Bell System Technology Journal* 44, 2245-2269, (1965)

[20] J.D.C. LITTLE, K.G. MURTY, D.W. SWEENEY and C. KAREL, "An algorithm for the travelling salesman problem", *Opns Res* 11, 972-989, (1969)

[21] R.H. MOLE, "Dynamic optimization of vehicle fleet size ", *Opl Res. Quart.* 26 (1), 25-34, (1975)

[22] G.C. NEW, "Transport fleet planning for multi-period operations", *Opl Res Quart* 26, 151-166, (1975)

[23] G.K. RAND and S. SALHI, "Incorporating vehicle routing into models for fleet composition", Paper given at the OR29, Edinburgh, 8-11 september, (1987)

[24] S. SALHI and G.K. RAND , "Improvements to vehicle routing heuristics", *J. Opl Res. Soc.* 38 (3), 293-295, (1987)

[25] S. SALHI and G.K. RAND, "A route perturbation procedure for the vehicle fleet composition problem", Paper to be presented at the OR31, Southampton, 12-15 September, (1989)

[26] S. SALHI, "Private communication", (1989)

[27] G.D.J. WATERS, "Interactive vehicle routing", *J. Opl Res. Soc.* 35 (9), 821-826, (1984)

[28] G.D.T. WATSON-GAUDY and L.R. FOULDS, "The vehicle scheduling problem: A survey", *NZOR* 9 (2), 73-92, (1981)

[29] B.W. WILLIAMS, " Vehicle scheduling: Proximity Priority Searching ", *J. Opl Res. Soc.* 33, 961-966, (1982)

[30] P.WOLF et P. KOELING, "Pogrammes Basic pour ingénieurs et scientifiques sur l'IBM-PC", Inter-éditions

[31] J.K. WYATT, "Optimal fleet size", *Opl Res. Quart.* 12 (3), 187-188, (1961)

## ANNEXES

- Annexe 1: Composition en nombre et en type de la flotte de distribution au mois de Février 1989
- Annexe 2: Evolution de la demande journalière en lait au long de l'année
- Annexe 3: Aperçu sur l'application des méthodes heuristiques dans le cas d'une formulation mathématique complexe d'un problème de recherche opérationnelle
- Annexe 4: Modélisation du V.R.P en un P.V.C
- Annexe 5: Route first- cluster second approach
- Annexe 6: Approche interactive
- Annexe 7: Tournées radiales ou circonférentielles
- Annexe 8: Données pour les 20 problèmes standards
- Annexe 9: Exemple illustrant la structure des solutions telle que générée par le programme
- Annexe 10: Procédures du tri normal et du tri rapide
- Annexe 11: Coûts variables et limites sur les distances associés aux 20 problèmes tests
- Annexe 12: Exemple d'un "Etat récapitulatif des livraisons" relatif à un client quelconque
- Annexe 13: Frais du personnel
- Annexe 14: Frais d'assurances et d'amortissements liés aux véhicules
- Annexe 15: Consommation en gas-oil des véhicules de 6T et 10T
- Annexe 16: Exemple de fiche technique
- Annexe 17: Groupement des clients en zones
- Annexe 18: Demande journalière moyenne pour tous les mois de l'année pour l'ensemble des zones
- Annexe 19: Coordonnées des zones et de l'unité
- Annexe 20: Distance moyenne entre clients à l'intérieur d'une zone
- Annexe 21: Sous ensemble d'estimation du paramètre  $\alpha$
- Annexe 22: Sous ensemble de validation du paramètre  $\alpha$
- Annexe 23: Tournées relatives à la période 2
- Annexe 24: Tournées relatives à une flotte homogène (période 1)
- Annexe 25: Tournées relatives à une flotte homogène (période 2)

**ANNEXE 1:**

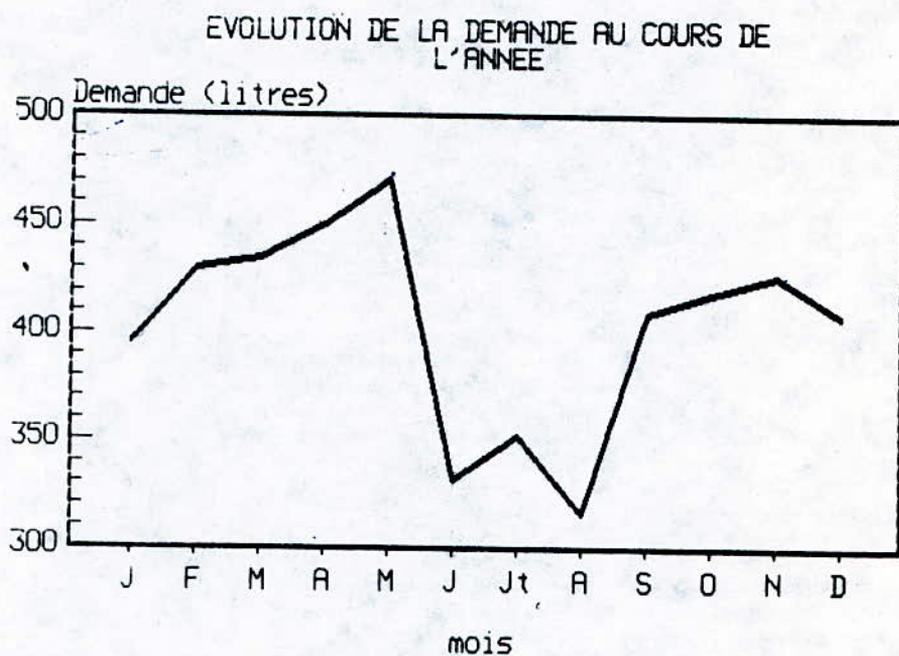
Composition en nombre et en type de la flotte de distribution au mois de Février 1989.

Type	Disponi- bilité théorique	capacité réelle	disponibilité réelle	Nombre de camions en panne
20 T	8	15000 l	4	2
10 T	3	11000 l	2	1
6 T	8	6000 l	7	1
K120	1	3.5 tonne	1	0
AVIA	12	3.5 tonne	8	8
K66	16	3.5 tonne	11	5

ANNEXE 2 :

Evolution de la demande journalière en lait  
au long de l'année

(Pour un client quelconque)



### ANNEXE 3:

Aperçu sur l'application des méthodes heuristiques dans le cas d'une formulation mathématique complexe d'un problème de recherche opérationnelle. [8]

Il existe plusieurs définitions et opinions sur ce qu'est une heuristique. Le mot "heuristique" dérive du mot grec "heuristiquein" qui veut dire "découvrir". Le sens littéraire du mot serait donc "Une aide à la découverte".

Nicholson définit une heuristique comme étant une procédure "...pour résoudre des problèmes par une approche intuitive dans laquelle la structure du problème peut être interprétée et exploitée dans le but d'obtenir une solution raisonnable...".

Deux points importants sont à souligner:

- Pourquoi une heuristique ?
- Comment évaluer la validité d'une heuristique ?

#### Pourquoi une heuristique ?

Il y'a plusieurs raisons pour lesquelles une approche heuristique peut être préférée à une approche exacte:

- 1- Impossibilité de traiter le problème informatiquement.
- 2- Existence d'objectifs secondaires qui, pour diverses raisons, n'ont pu être inclus dans la formulation .
- 3- Facilité de compréhension et d'implantation .
- 4- Coût et temps de mise au point et de traitement inférieurs à ceux d'une méthode exacte .
- 5- Données inexactes ou limitées: dans ce cas étant donné (4) il est préférable d'opter pour une heuristique .

#### Comment évaluer une heuristique ?

Dans le cas de résolution de programmes mathématiques avec fonction objectif bien définie, les critères de validité de l'heuristique sont : La qualité de la solution, limites en

### ANNEXE 3: (Suite)

programmation, simplicité et facilite d'assimilation .

#### 1- Qualité de la solution:

On attend évidemment d'une heuristique qu'elle donne des solutions proches de l'optimum. Ceci peut se traduire par une valeur moyenne des solutions proche de l'optimum ou bien par une faible probabilité d'obtention d'une mauvaise solution .

Une variétés de techniques peuvent être utilisées pour évaluer ce critère:

- Analyse du plus mauvais cas "worst case analysis": Cette analyse permet principalement d'identifier les conditions dans lesquelles l'heuristique aboutit à de mauvaises solutions .

- Analyse probabiliste: elle se base sur la détermination des paramètres de la distribution des solution de l'heuristique par rapport à l'optimum (ex: Espérance du pourcentage d'erreurs).

- Analyse empirique: c'est la technique la plus utilisée dans le cas des modèles mathématiques . Il s'agit en premier lieu de de sélectionner l'ensemble adéquat de problèmes tests qui peuvent être soit des problèmes de petites tailles que l'on résoud exactement, soit des problèmes tests relatifs à certaines heuristiques déjà existantes. Une autre alternative serait de déterminer des bornes inférieures et supérieures de la solution pour situer l'intervalle dans lequel la solution donnée par la nouvelle heuristique devra se trouver. Finalement, l'on pourrait comparer les solutions obtenues avec celles déjà en vigueur établies par le preneur de décisions .

- Analyse statistique: Des technique d'estimation de la solution optimale peuvent être exploitées lorsque l'heuristique consiste à générer plusieurs solutions. Cette technique peut également servir à déterminer la taille de l'échantillon (nombre de solutions à générer ) pour un intervalle de confiance donné.

#### 2- Limites en programmation:

Les deux critères de décision les plus importants sont dans ce cas, le temps de traitement ainsi que sa variation en fonction de

### ANNEXE 3: (Suite)

la taille du problème.

#### 3- Simplicité du problème :

Certains auteurs pensent qu'une procédure heuristique gagne à être simple pour faciliter d'une part l'analyse des solutions et d'autre part son implantation et son suivi par le preneur de décision qui pourra savoir à tout moment si les conditions actuelles de son système sont toujours valables pour l'utilisation de cette heuristique.

ANNEXE 4:

Modélisation du V.R.P en un P.V.C

La modélisation du V.R.P en un P.V.C a été introduite par Christofides et Eilon [7]. L'idée principale est que si les itinéraires individuels sont combinés en une seule tournée, celle ci devra visiter le dépôt autant de fois qu'il y'a de véhicules. Le V.R.P dans ce cas serait formulé comme un P.V.C en éliminant le dépôt central réel et en le remplaçant par N dépôts artificiels tous localisés à la même position, N étant le nombre de véhicules de la flotte. Le trajet entre deux dépôts artificiels est rendu impossible en supposant la distance entre eux infinie, comme le montre la matrice des coûts en fig 1 .

C'est ainsi que le V.R.P peut être résolu par le biais des méthodes de résolution du P.V.C.

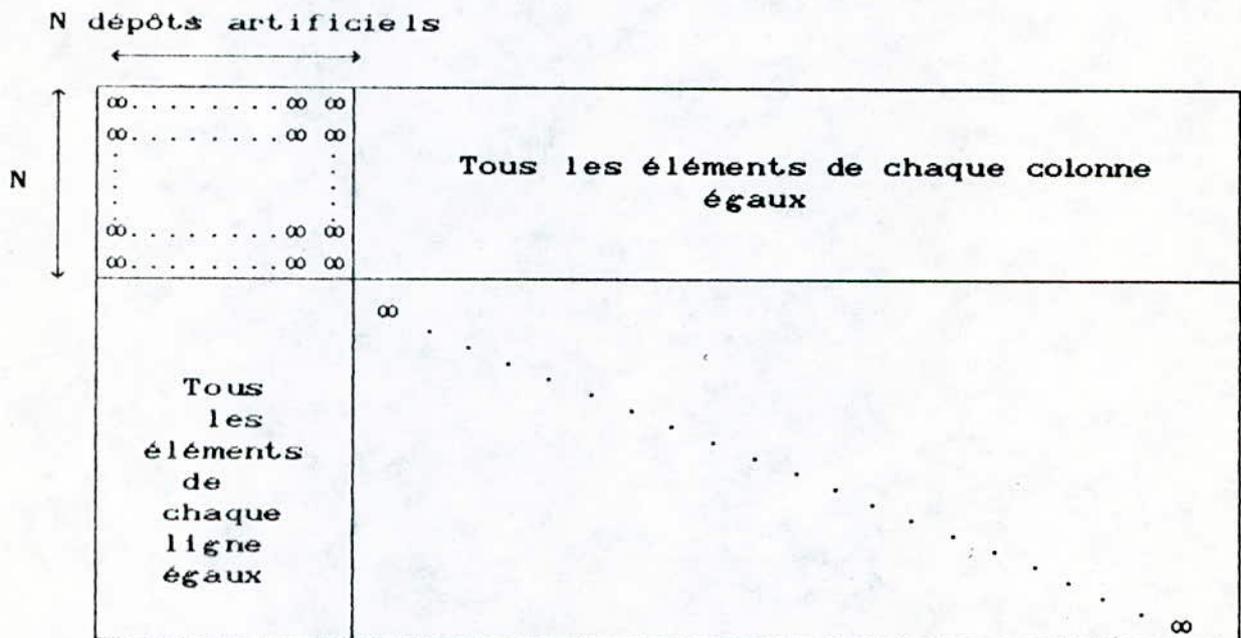


fig 1. Matrice des coûts pour un V.R.P

## ANNEXE 5:

### Route first-cluster second approach.

Cette approche consistant à construire une tournée géante, puis à la partitionner, elle laisserait supposer qu'un ordonnancement puis un partitionnement tous deux optimaux aboutiraient forcément à une solution optimale. Cependant, il n'en est rien. C'est pourquoi il a été jugé qu'une procédure heuristique valait tout autant qu'une procédure exacte pour la formation de la tournée géante. Il a été cependant conseillé de considérer plusieurs éventuels ordonnancements des clients et ce pour se rapprocher autant que possible de l'optimum, toutefois cela ne va pas sans générer des difficultés certaines à cause du champs vaste des solutions réalisables.

Nonobstant les légers inconvénients soulevés, cette approche offre certains avantages appréciables:

1- Les clients se trouvant à proximité l'un de l'autre se verront conserver cette proximité dans la tournée géante et auront ainsi toutes les chances d'être affectés dans un second temps à une même tournée.

2- Le partitionnement de cette même tournée géante, tout en opérant une sélection optimale pour un choix innombrable de cas possibles (algorithme de Dijkstra), requièrent informatiquement peu d'opérations

## ANNEXE 6:

### Approche interactive

Une illustration du processus de décision dans les approches interactives est donné par la fig 1

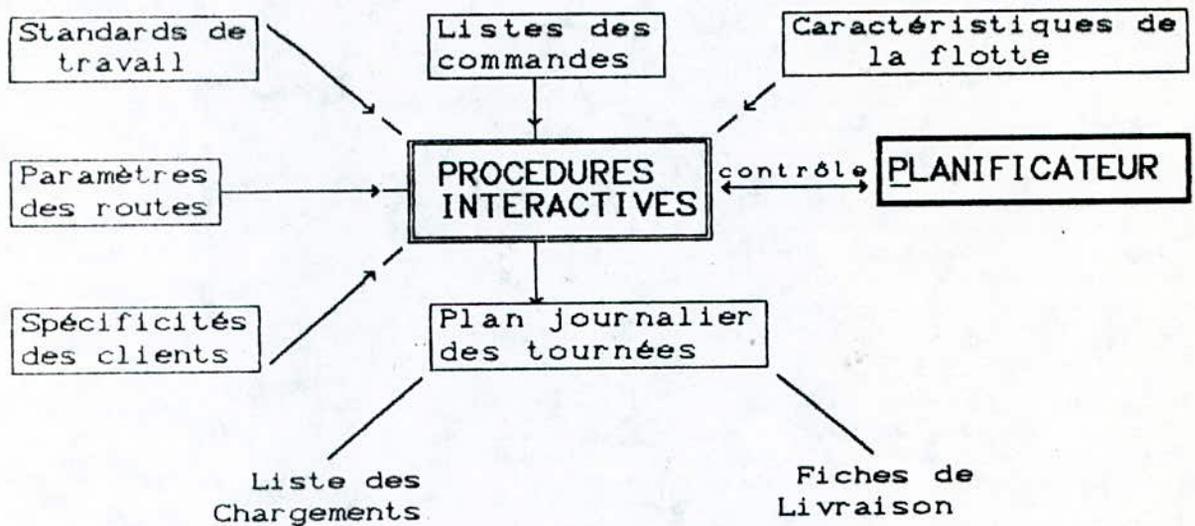


fig 1. Illustration du processus de décision dans une approche interactive.

#### Avantages de l'approche interactive:

- C'est une approche flexible qui peut être adaptée à une grande variété de problèmes .

- Elle permet de tenir compte de l'expérience antérieure du preneur de décisions ce qui facilite l'estimation ou l'ajustement de certains paramètres, la prise en compte de critères de décision subjectifs tels que les commandes prioritaires ou optionnelles, la répartition des charges de travail par véhicule, etc...

- Les méthodes interactives accroissent les chances que le modèle soit implanté et effectivement utilisé dans les firmes car l'homme même sans connaissance informatique s'y adapte aisément.

#### Désavantages de l'approche interactive

- 1- Les opérateurs doivent être initiés à utiliser et tirer profit de toutes les performances des programmes dont ils disposent
- 2- Les gestionnaires objectent parfois que les procédures interactives n'évoluent pas vers la meilleure solution forcément.
- 3- S'agissant de traiter des problèmes de grande taille ou très complexe, cette approche devient pratiquement désavantageuse.

## ANNEXE 7:

### Tournées radiales ou circonférentielles

Examinons l'expression du saving introduite originellement par Clarke et Wright:

$$S_{ij} = D_{0i} + D_{0j} - D_{ij}$$

S'il est vrai que celle ci exprime, sans aucune ambiguïté, l'économie réelle en distance parcourue réalisée en affectant les clients  $i$  et  $j$  à la même tournée, son application telle quelle dans l'approche des savings aura néanmoins tendance à favoriser la formation de tournées circonférentielles.

Pour pouvoir configurer des tournées radiales ou circonférentielles, Gaskell et Yellow ont pensé à intervenir au niveau du poids accordé à chacun des deux termes  $d_{0i} + d_{0j}$  et  $d_{ij}$ . Ils ont, par conséquent, réadapté la formule du saving par:

$$S_{ij} = \alpha (d_{0i} + d_{0j}) - \beta d_{ij}$$

ce qui équivaut à:

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - \frac{\beta}{\alpha} d_{ij}$$

ou bien

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - \gamma d_{ij}$$

Deux cas de figures peuvent découler:

- Si la valeur de  $\gamma$  met en relief la distance  $d_{ij}$ , le saving  $S_{ij}$  s'amenuisera alors d'autant plus que la distance entre clients  $i$  et  $j$  s'accroîtra ou en d'autres termes sera d'autant plus important si les clients  $i$  et  $j$  se trouvent à proximité l'un de l'autre. Cela va donc impliquer la formation de tournées circonférentielles.
- Si on envisage l'autre scénario, c'est à dire si le saving est fonction surtout de la distance entre dépôt et clients, cela va induire la formation de tournées radiales.

**ANNEXE 8:**

Données pour les 20 problèmes standards

- Données relatives à la flotte
- Données relatives aux clients

# ANNEXE 8 (Suite)

## Données relatives à la flotte

Problems #1 and 2--12 node problem from [5]

#1		
Vehicle	Capacity	Cost
A	15	20
B	95	50
C	60	150

#2		
Vehicle	Capacity	Cost
A	30	60
B	40	90
C	140	300

Problems #3 AND 4--Depot and first 20 nodes of 50 node problem from [4]

#3		
Vehicle	Capacity	Cost
A	20	20
B	30	95
C	40	50
D	70	120
E	120	225

#4		
Vehicle	Capacity	Cost
A	60	1000
B	80	1500
C	150	3000

Problems #5 and 6--Same as #'s 3 and 4 except depot is now at ZC.20

Problems #7--12---30 node problem from [5]

#7		
Vehicle	Capacity	Cost
A	40	150
B	100	500
C	140	800
D	200	1200
E	300	2000

#8		
Vehicle	Capacity	Cost
A	10	15
B	50	50
C	150	200
D	400	600

#9		
Vehicle	Capacity	Cost
A	40	30
B	100	100
C	140	160
D	200	210
E	300	400

#10		
Vehicle	Capacity	Cost
A	40	30
B	100	100
C	140	160
D	200	240

#11		
Vehicle	Capacity	Cost
A	30	60
B	80	200
C	200	700
D	350	1500

#12		
Vehicle	Capacity	Cost
A	30	40
B	50	80
C	75	150
D	120	300
E	180	500
F	250	800

Problem #13 and 14 ---depot and first 50 node problem from [4]

#13		
Vehicle	Capacity	Cost
A	20	20
B	30	95
C	40	50
D	70	120
E	120	225
F	200	400

#14		
Vehicle	Capacity	Cost
A	120	1000
B	160	1500
C	300	3500

Problems #15 and 16 --- 50 node problem from [4]

#15		
Vehicle	Capacity	Cost
A	50	100
B	100	250
C	160	450

#16		
Vehicle	Capacity	Cost
A	40	100
B	80	200
C	140	400

Problem #17 and 18---75 node problem from [4]

#17		
Vehicle	Capacity	Cost
A	50	25
B	120	80
C	200	150
D	350	320

#18		
Vehicle	Capacity	Cost
A	20	10
B	50	35
C	100	100
D	150	180
E	250	400
F	400	800

Problems #19 and 20--100 node problem from [4]

#19		
Vehicle	Capacity	Cost
A	100	500
B	200	1200
C	300	2100

#20		
Vehicle	Capacity	Cost
A	60	100
B	140	300
C	200	500



## ANNEXE 8 (Suite)

### c. Problèmes 7 à 12

n° demande	D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 2 24 25 26 27 28 29																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	2	24	25	26	27	28	29		
0																															
1	24	41																													
2	34	38	3																												
3	11	80	54	56																											
4	15	80	54	56	3																										
5	11	97	64	67	19	16																									
6	1	92	59	62	13	10	7																								
7	3	96	56	59	16	14	11	10																							
8	29	78	39	41	54	54	53	57	48																						
9	6	98	59	62	20	17	12	13	4	39																					
10	25	87	52	50	47	46	46	42	35	12	33																				
11	6	95	58	61	15	12	8	8	45	45	6	39																			
12	25	77	38	41	30	29	34	32	25	24	21	18	28																		
13	2	93	55	58	15	12	10	14	3	47	7	39	3	26																	
14	28	91	52	53	25	22	24	19	12	30	9	24	15	14	14																
15	8	98	58	61	19	16	10	10	4	42	3	36	4	24	6	12															
16	10	96	59	62	17	14	8	8	4	44	5	38	2	26	4	14	2														
17	18	40	5	5	60	61	71	65	63	40	66	49	65	40	62	54	65	66													
18	45	73	34	37	46	46	50	46	39	8	39	12	43	16	41	28	42	44	36												
19	33	82	48	46	44	44	45	42	33	9	31	4	36	18	36	21	34	35	45	9											
20	17	55	16	19	54	54	58	55	48	22	45	30	53	24	51	38	48	50	18	22	31										
21	9	52	16	17	68	68	77	72	69	36	65	46	71	44	68	57	67	69	14	36	45	21									
22	16	76	46	49	8	9	19	15	18	44	22	40	16	20	17	24	20	18	52	37	35	45	59								
23	35	76	44	46	11	11	20	15	15	42	19	36	18	18	14	18	20	18	47	35	33	39	57	6							
24	5	76	50	53	4	4	20	14	18	50	21	43	17	25	16	28	20	19	57	41	40	50	64	5	10						
25	60	72	33	34	53	54	57	55	47	6	45	15	49	22	49	34	46	48	34	6	15	16	30	47	42	50					
26	80	98	58	61	33	30	27	30	21	27	15	18	19	19	21	8	17	19	60	26	18	44	61	34	28	35	32				
27	39	98	58	61	32	29	26	29	20	28	15	20	18	19	20	7	16	18	60	26	19	44	61	34	28	34	34	3			
28	95	93	66	68	14	12	23	18	22	65	25	54	20	41	20	32	24	22	72	57	54	61	79	20	26	15	64	39	39		
29	90	89	55	58	10	9	8	5	7	48	10	39	5	29	5	18	9	7	62	44	39	51	69	15	12	11	52	24	23	15	
30	23	68	32	33	64	64	67	66	57	22	55	38	63	34	60	47	58	60	32	26	33	21	18	66	53	60	18	51	52	76	65

Vehicle capacity: 7 tons. No distance constraint on vehicle routes.

### d. Problèmes 13, 14, 17 et 18

No.	x	y	q												
1	22	22	18	20	66	14	22	39	30	60	16	58	40	60	21
2	36	26	26	21	44	13	28	40	30	50	33	59	70	64	24
3	21	45	11	22	26	13	12	41	12	17	15	60	64	4	13
4	45	35	30	23	11	28	6	42	15	14	11	61	36	6	15
5	55	20	21	24	7	43	27	43	16	19	18	62	30	20	18
6	33	34	19	25	17	64	14	44	21	48	17	63	20	30	11
7	50	50	15	26	41	46	18	45	50	30	21	64	15	5	28
8	55	45	16	27	55	34	17	46	51	42	27	65	50	70	9
9	26	59	29	28	35	16	29	47	50	15	19	66	57	72	37
10	40	66	26	29	52	26	13	48	48	21	20	67	45	42	30
11	55	65	37	30	43	26	22	49	12	38	5	68	38	33	10
12	35	51	16	31	31	76	25	50	15	56	22	69	50	4	8
13	62	35	12	32	22	53	28	51	29	39	12	70	66	8	11
14	62	57	31	33	26	29	27	52	54	38	19	71	59	5	3
15	62	74	8	34	50	40	19	53	55	57	22	72	35	60	1
16	21	36	19	35	55	50	10	54	67	41	16	73	27	24	6
17	33	44	20	36	54	10	12	55	10	70	7	74	40	20	10
18	9	56	13	37	60	15	14	56	6	25	26	75	40	37	20
19	62	48	15	38	47	66	24	57	65	27	14				

Depot co-ordinates: (40, 40). Customer demands (q) in 50-kg units (cwt).  
Vehicle capacity: 7 tons. No distance constraint on vehicle routes.

## ANNEXE 8 (Suite)

### Données relatives aux clients

#### e. Problèmes 19 et 20

No.	x	y	q	No.	x	y	q	No.	x	y	q	No.	x	y	q
1	41	49	10	26	45	30	17	51	49	58	10	76	49	42	13
2	35	17	7	27	35	40	16	52	27	43	9	77	53	43	14
3	55	45	13	28	41	37	16	53	37	31	14	(78)	61	52	3
4	55	20	19	29	64	42	9	54	57	29	18	79	57	48	23
5	15	30	26	30	40	60	21	55	63	23	2	80	56	37	6
6	25	30	3	31	31	52	27	56	53	12	6	81	55	54	26
7	20	50	5	32	35	69	23	57	32	12	7	82	15	47	16
8	10	43	9	33	53	52	11	58	36	26	18	83	14	37	11
9	55	60	16	34	65	55	14	59	21	24	28	84	11	31	7
10	30	60	16	35	63	65	8	60	17	34	3	85	16	22	41
11	20	65	12	36	2	60	5	61	12	24	13	86	4	18	35
12	50	35	19	37	20	20	8	62	24	58	19	87	28	18	26
13	30	25	23	38	5	5	16	63	27	69	10	88	26	52	9
14	15	10	20	39	60	12	31	64	15	77	9	89	26	35	15
15	30	5	8	40	40	25	9	65	62	77	20	90	31	67	3
16	10	20	19	41	42	7	5	66	49	73	25	91	15	19	1
17	5	30	2	42	24	12	5	67	67	5	25	92	22	22	2
18	20	40	12	43	23	3	7	68	56	39	36	93	18	24	22
19	15	60	17	44	11	14	18	69	37	47	6	94	26	27	27
20	45	65	9	45	6	38	16	70	37	56	5	95	25	24	20
21	45	20	11	46	2	48	1	71	57	68	15	96	22	27	11
22	45	10	18	47	8	56	27	72	47	16	25	97	25	21	12
23	55	5	29	48	13	52	36	73	44	17	9	98	19	21	10
24	65	35	3	49	6	68	30	74	46	13	8	99	20	26	9
25	65	20	6	50	47	47	13	75	49	11	18	100	18	18	17

Depot co-ordinates: (35, 35). Customer demands ( $q$ ) in 50-kg units (cwt).  
 Vehicle capacity: 10 tons. No distance constraints on vehicle routes.

ANNEXE 9 :

Exemple illustrant la structure des solutions  
telle que générée par le programme

tournee n° 1 est:

0-->19--> 0

quantité=	173	
nombre de clients =		1
véhicule utilisé =		200
distance parcourue=		164

tournee n° 2 est:

0-->24-->28-->22-->23--> 0

quantité=	151	
nombre de clients =		4
véhicule utilisé =		200
distance parcourue=		193

tournee n° 3 est:

0-->2-->30-->21-->17--> 0

quantité=	184	
nombre de clients =		4
véhicule utilisé =		200
distance parcourue=		143

tournee n° 4 est:

0-->12-->14-->27-->26-->10--> 0

quantité=	197	
nombre de clients =		5
véhicule utilisé =		200
distance parcourue=		206

tournee n° 5 est:

0-->1-->20-->25-->8-->18--> 0

quantité=	175
nombre de clients =	5
véhicule utilisé =	200
distance parcourue=	160

tournee n° 6 est:

0-->3-->29-->13-->7-->9-->15-->16-->11-->5-->6-->4--> 0

quantité=	163
nombre de clients =	11
véhicule utilisé =	200
distance parcourue=	214

distance totale parcourue= 1080

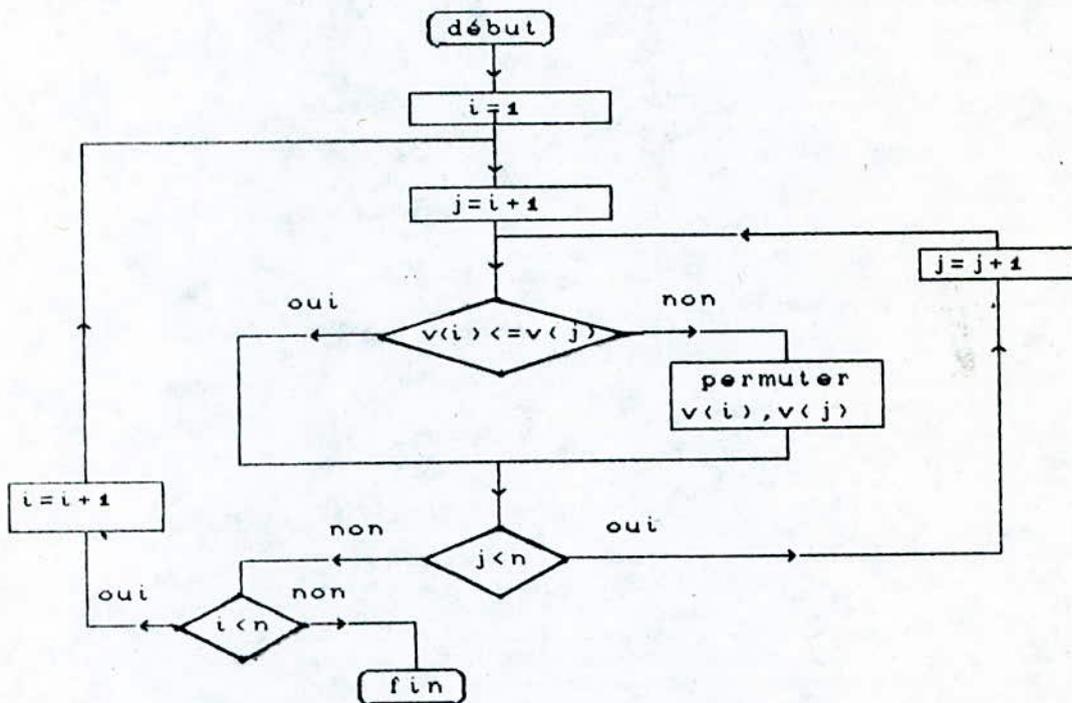
nombre de tournées= 6

coût total de distribution = 8280

## ANNEXE 10 :

### Procédures du tri normal et du tri rapide

a/ Organigramme correspondant à la procédure de tri normal des éléments d'un vecteur V de taille n



b/ Principe du tri rapide

La méthode de tri rapide met en général moins de temps que le tri simple à classer une suite non ordonnée de nombres. Néanmoins, si la liste est déjà triée ou presque, le tri simple peut être plus rapide.

L'algorithme de tri rapide consiste à séparer la liste initiale en deux listes, les nombres de l'une étant inférieures à tous les nombres de l'autre. Cette procédure est ensuite répétée pour chacune des listes obtenues, séparant chaque liste en deux nouveaux sous-ensembles, et ce jusqu'à ce que chaque sous-ensemble ne contienne plus qu'un élément. Le vecteur est alors trié.

ANNEXE 11 :

Coûts variables et limites sur les distances associées  
aux 20 problèmes tests

A/ Coût variable pour les 20 problèmes tests

Problème #1	Problème #2	Problème #3	Problème #4
véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût
A 0.85 B 1.00 C 1.15	A 0.85 B 1.00 C 1.15	A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30	A 0.85 B 1.00 C 1.15
Les problèmes #5 et #6 identiques au problèmes #3 et #4			
Problème #7	Problème #8	Problème #9	Problème #10
véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût
A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30	A 0.85 B 1.00 C 1.15 D 1.30	A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30	A 0.85 B 1.00 C 1.15 D 1.30
Problème #11	Problème #12	Problème #13	Problème #14
véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût
A 0.85 B 1.00 C 1.15 D 1.30	A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30 F 1.45	A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30 F 1.45	A 0.85 B 1.00 C 1.15
Problème #15	Problème #16	Problème #17	Problème #18
véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût	véhicule coût
A 0.85 B 1.00 C 1.15	A 0.85 B 1.00 C 1.15	A 0.85 B 1.00 C 1.15 D 1.30	A 0.70 B 0.85 C 1.00 D 1.15 E 1.30 F 1.45
Problème #19	Problème #20		
véhicule coût	véhicule coût		
A 0.85 B 1.00 C 1.15	A 0.85 B 1.00 C 1.15		

B/ Limites sur les distances pour les 20 problèmes tests

Temps perdu chez chaque client (drop time) = 10

problème	limite	problème	limite
1	120	11	240
2	120	12	210
3	80	13	90
4	110	14	150
5	130	15	100
6	120	16	130
7	210	17	210
8	270	18	100
9	270	19	150
10	230	20	140

ANNEXE 12:

Exemple d'un "état récapitulatif des livraisons" relatif  
à un client quelconque



**ANNEXE 13:**

**Frais du personnel**

**Notations:**

- (1) : Salaire de base
- (2) : Prime d'ancienneté
- (3) : Indemnité de service permanent
- (4) : Prime de rendement individuel
- (5) : Salaire posté
- (6) : Cotisation Sécurité Sociale (S.S)
- (7) : Prime panier
- (8) : Indemnité de transport
- (9) : Complément panier
- (10): Prime de rendement collectif
- (11): Brut imposable
- (12): Retenue I.T.S
- (13): Allocation familiale
- (14): Salaire unique

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	2360.00	519.20	472.00	212.40	3563.60	178.18	164.32	80.00	69.68	236.00	3935.42	311.60	40.00	40.00
2	2280.00	410.40	--	205.20	2835.60	144.78	164.32	110.00	69.68	228.00	3322.82	240.30	240.00	40.00
3	2280.00	592.80	--	205.20	3078.00	153.90	164.32	150.00	69.68	228.00	3536.10	264.70	240.00	40.00
4	2360.00	317.60	--	212.40	2950.00	147.50	164.32	110.00	69.68	236.00	3382.50	274.30	160.00	40.00
5	2280.00	342.00	--	182.40	2804.40	140.22	164.32	50.00	69.68	228.00	3176.18	222.90	80.00	40.00
6	2360.00	401.20	--	212.40	2973.60	148.68	164.32	150.00	69.68	236.00	3444.92	254.20	160.00	40.00
7	2360.00	365.80	472.00	212.40	3410.20	170.51	164.32	150.00	69.68	236.00	3859.63	302.20	200.00	40.00
8	2360.00	389.40	472.00	212.40	3433.80	171.69	164.32	50.00	69.68	236.00	3782.11	294.00	160.00	40.00
9	2360.00	283.20	472.00	212.40	3327.60	166.38	164.32	110.00	69.68	236.00	3741.22	289.30	120.00	40.00
10	2360.00	306.80	--	212.40	2879.20	143.96	164.32	110.00	69.68	236.00	3315.24	339.10	160.00	40.00
11	2360.00	542.80	472.00	212.40	3587.20	179.36	164.32	50.00	69.68	236.00	3927.84	310.50	280.00	40.00
12	2360.00	427.10	--	212.40	2999.50	149.97	164.32	110.00	69.68	236.00	3429.53	251.90	240.00	40.00
13	2360.00	354.00	--	212.40	2926.40	146.32	164.32	110.00	69.68	236.00	3360.08	244.90	120.00	40.00
14	2360.00	330.40	--	212.40	2902.80	145.14	164.32	30.00	69.68	236.00	3257.66	232.20	280.00	40.00
15	2280.00	376.20	--	205.20	2861.40	143.07	164.32	50.00	69.68	228.00	3230.33	229.80	320.00	40.00
16	2360.00	306.80	--	--	2666.80	133.34	164.32	50.00	69.68	--	2817.46	181.40	160.00	40.00
17	2360.00	306.80	--	--	2666.80	133.34	0 (*)	150.00	0 (*)	--	2683.46	166.40	--	40.00
18	2280.00	478.80	--	205.20	2964.00	148.20	164.32	30.00	69.68	228.00	3307.80	238.00	240.00	40.00
19	2360.00	236.00	--	212.40	2809.40	140.42	164.32	50.00	69.68	236.00	3187.98	224.00	160.00	40.00
20	2360.00	236.00	472.00	212.40	3280.40	164.02	164.32	50.00	69.68	236.00	3636.38	276.40	120.00	40.00
21	2360.00	212.40	--	212.40	2784.40	139.24	164.32	30.00	69.68	236.00	3145.56	219.40	240.00	40.00
22	2360.00	259.60	472.00	--	3091.60	154.58	0 (*)	150.00	0 (*)	--	3087.02	212.50	200.00	40.00
23	2280.00	347.26	--	21.04 *	2472.92	123.64	164.32	101.54	64.32	210.46	2877.28	188.30	200.00	40.00
24	2360.00	399.38	--	19.97 *	2416.27	120.81	164.32	25.38	58.96	199.69	2718.54	169.90	--	40.00
25	2280.00	328.85	--	131.53*	2652.69	132.63	164.32	105.77	67.00	219.23	3070.06	211.30	160.00	40.00
26	2280.00	350.77	--	197.30*	2740.38	137.01	164.32	144.23	67.00	219.23	3191.83	225.20	360.00	40.00
27	2360.00	249.62	--	90.77 *	2609.62	130.48	164.32	48.08	67.00	226.92	2979.13	199.80	80.00	40.00
28	2360.00	283.10	435.69	--	2897.35	144.86	164.32	27.69	64.32	217.84	3214.02	227.50	120.00	40.00
29	2280.00	197.31	--	87.69 *	2471.31	123.86	164.32	105.77	67.00	219.23	2903.45	191.70	160.00	40.00
30	2280.00	205.20	--	205.20	2690.40	134.52	164.32	30.00	69.68	228.00	3047.88	282.70	--	40.00
31	2280.00	285.00	--	91.20 *	2656.20	132.81	164.32	50.00	34.84	114.00	2804.39	180.20	200.00	40.00
32	2360.00	236.00	--	212.40	2808.40	140.42	164.32	30.00	69.68	236.00	3167.98	221.70	40.00	40.00

ANNEXE 13 (Suite)  
Données relatives aux chauffeurs

ANNEXE 13 (Suite)  
Données relatives aux livreurs

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	1720.00	258.00	--	154.80	2132.80	106.64	164.32	50.00	69.68	172.00	2482.16	143.60	160.00	40.00
2	1720.00	258.00	344.00	154.80	2476.80	123.84	164.32	30.00	69.68	172.00	2788.96	177.90	160.00	40.00
3	1720.00	258.00	--	154.80	2132.80	106.64	164.32	30.00	69.68	172.00	2462.16	141.30	120.00	40.00
4	1720.00	412.80	--	154.80	2287.60	114.38	164.32	30.00	69.68	172.00	2609.32	157.30	40.00	40.00
5	1720.00	258.00	--	154.80	2132.80	106.64	164.32	30.00	69.68	172.00	2462.16	141.30	160.00	40.00
6	1720.00	344.00	--	154.00	2218.80	110.94	164.32	30.00	69.68	172.00	2543.86	150.40	160.00	40.00
7	1720.00	275.20	--	154.80	2150.00	107.50	164.32	30.00	69.68	172.00	2478.50	142.40	80.00	40.00
8	1720.00	309.60	--	--	2029.60	101.48	--	30.00	--	--	1958.12	83.50	200.00	40.00
9	1720.00	438.60	--	154.80	2313.40	115.67	164.32	150.00	69.68	172.00	2753.73	174.50	160.00	40.00
10	1720.00	412.80	--	154.80	2287.60	114.38	164.32	50.00	69.68	172.00	2629.22	159.00	240.00	40.00
11	1720.00	240.80	--	154.80	2115.60	105.78	164.32	110.00	69.68	172.00	2525.82	148.10	360.00	40.00
12	1720.00	311.60	--	154.80	2186.40	109.32	164.32	50.00	69.68	172.00	2533.08	149.30	240.00	40.00
13	1720.00	258.00	344.00	154.80	2476.80	123.84	164.32	50.00	69.68	172.00	2808.96	180.20	200.00	40.00
14	1720.00	318.20	--	--	2038.20	101.91	--	30.00	--	--	1966.29	84.60	240.00	40.00
15	1720.00	258.00	344.00	154.80	2476.80	123.84	164.32	50.00	69.68	172.00	2808.96	158.13	280.00	40.00
16	1720.00	240.80	--	154.80	2115.60	105.78	164.32	80.00	69.68	172.00	2495.82	144.70	160.00	40.00
17	1850.00	425.50	--	148.00	2423.50	121.17	164.32	80.00	69.68	185.00	2801.33	180.20	160.00	40.00
18	1720.00	266.60	344.00	154.80	2485.40	124.27	164.32	30.00	69.68	172.00	2797.13	179.10	280.00	40.00
19	1720.00	206.40	--	154.80	2081.20	104.06	164.32	80.00	69.68	172.00	2463.14	141.30	240.00	40.00
20	1720.00	154.80	--	137.60	2012.40	100.62	158.00	30.00	67.00	172.00	2338.78	126.50	200.00	40.00
21	1720.00	240.80	--	154.80	2115.80	105.78	164.32	30.00	69.68	172.00	2445.80	139.00	280.00	40.00
22	1720.00	206.40	--	154.80	2081.20	104.06	164.32	50.00	69.68	172.00	2433.14	137.90	80.00	40.00
23	1720.00	202.43	--	47.63	1970.06	72.04	113.76	55.38	48.24	119.07	2234.28	55.40	120.00	40.00
24	1720.00	248.08	330.76	199.23	2498.07	116.59	158.00	28.85	67.00	165.38	2800.71	160.70	160.00	40.00
25	1720.00	550.00	--	150.00	3300.00	168.65	158.00	28.25	67.00	250.00	3708.27	284.60	120.00	40.00
26	1720.00	281.15	--	99.23	2100.38	101.71	158.00	28.95	67.00	165.38	2351.75	128.80	160.00	40.00
27	1720.00	320.38	--	99.28	2199.66	106.67	158.00	28.85	67.00	165.38	2446.02	139.00	80.00	40.00
28	1720.00	258.00	--	--	1978.00	89.90	--	30.00	--	--	1909.10	77.80	120.00	40.00
29	1720.00	123.54	--	99.23	2050.77	99.23	158.00	28.85	67.00	165.38	2304.61	123.10	160.00	40.00
30	1720.00	206.40	--	15.87	1942.27	90.49	151.68	46.15	64.32	158.77	2140.40	104.90	160.00	40.00

## ANNEXE 14 :

Frais d'assurances et d'amortissements liés  
aux véhicules

Véhicule	Immatriculation	frais assurances (DA)	Amortissement (DA)	remarque
10 TONNES	20756.16	13658.04		Amorti
	202245.16	22849.08	88183.00	
	202247.16	22584.08	88183.00	
6 TONNES	202254.16	16576.67	49411.20	
	202256.16	16623.45	49411.20	
	202258.16	16717.58	49411.20	
	202260.16	16623.45	49411.20	
	202262.16	18388.03	49411.20	
	202264.16	16623.45	49411.20	
	202265.16	16623.45	49411.20	
	20753.16	5522.58		Amorti

## ANNEXE 15 :

Consommation en gas-oil des véhicules 6 T et 10 T

VEHICULE		JANVIER 1989		FEVRIER 1989		CUMUL 1988	
		Gas-oil (litres)	kilomé- trage	Gas-oil (litres)	kilomé- trage	Gas-oil (litres)	kilomé- trage
10 T	20756.16	En panne	En panne	600	700	27350	58130
	202245.16	850	3200	1900	3640	26800	82070
	202247.16	En panne	En panne	En panne	En panne	30050	86580
6 T	202254.16	2250	8510	2050	6950	23200	82990
	202256.16	1650	5200	1600	4800	19350	57620
	202258.16	2150	10320	1700	8960	20750	91436
	202260.16	1950	7886	1600	6880	13550	59410
	202262.16	950	6600	800	5940	11550	62645
	202264.16	2100	8680	1800	7000	22800	82196
	202265.16	1300	5000	En panne	En panne	15700	55376
	20753.16	1900	5670	2250	5750	20000	39927

ANNEXE 16:

Exemple de fiche technique

ONALAIT

UP 04

Les Vergers - Birkhadem

Service du Matériel

S 00

FICHE TECHNIQUE

2 2258 16

Désignation : .....

Marque : .....

Type : JE 13

Référence : .....

Date	Références du Bon			Destinataire	Détail des Travaux effectués	FACTURE	
	Nature	N°	Date			Montant	N° et Date
1-78	5271	12943		1	Lampe Mavette 24X5	175	175
2-78	-	13028		1	filte à l'huile	5867	5867
					TOTAL		60,42 AA
3-78	-	15875		1	Ampoule 24 X 21	958	958
				1	rouleau de sable	980	980
					TOTAL		19,38 AA
6-78	-	19639		1	Thermostat	17447	17447
				2	Colier -	365	730
10-78	-	19665		1	Radiateur	229250	229250
				2	Colier	365	730
11-78	-	19758		2	Ammoniac JE 13	53.30	106.60
12-78	-	15308		2	FAUX 300 X 20 MCHAPIU	587.15	1174.30
					TOTAL		3062,47 AA
2-78	-	19845		1	APPAREIL JE 13 F0559854	4499.64	4499.64
					T=		4499,64
10-78	-	92387		1	échangeur	156347	156347
					TOTAL		1563,47
9-78	-	9429		1	dochette Carter	395,55	395,55
9-78	-	9279		1	Tube graissage	6060	6060
				2	base 06	077	154
					T=		457,69 AA
10-78	-	92674		4	vis	2880	11520
				1	Floche	18030	18030
10-78	-	9216		4	goujon	2757	11028

Date	Références du Bon			Destinataire	Détail des Travaux effectués	FACTURE	
	Nature	N°	Date			Montant	N° et Date
12/10/26				4	2 crans	3106	12424
11/11/89	-	11344		1	pompe	T: 2556.44 T=	535,718M 2556.44, 2556,44







## ANNEXE 20:

Distance moyenne entre clients à l'intérieur d'une zone

Zone	distance entre clients (kms)	Zone	distance entre clients (kms)
1	0.000	35	0.150
2	0.077	36	0.085
3	0.040	37	0.040
4	0.070	38	0.000
5	0.055	39	0.100
6	0.060	40	0.100
7	0.000	41	0.000
8	0.030	42	0.000
9	0.110	43	0.055
10	0.025	44	0.150
11	0.050	45	0.050
12	0.000	46	0.000
13	0.180	47	0.055
14	0.090	48	0.080
15	0.110	49	0.000
16	0.140	50	0.055
17	0.055	51	0.000
18	0.055	52	0.030
19	0.000	53	0.210
20	0.000	54	0.110
21	0.090	55	0.080
22	0.140	56	0.040
23	0.000	57	0.000
24	0.140	58	0.170
25	0.000	59	0.055
26	0.000	60	0.000
27	0.055	61	0.026
28	0.000	62	0.055
29	0.000	63	0.000
30	0.150	64	0.055
31	0.055	65	0.100
32	0.150	66	0.055
33	0.130	67	0.165
34	0.100		





## ANNEXE 23 :

### Tournées relatives à la période 2

#### a. Tournée relative à la période 2 sans raffinement

tournée n° 1 est:

0-->26-->27-->25-->24-->54-->63-->65-->66-->67-->64-->62--> 0

quantité	=	10874
nombre de clients	=	11
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	39

tournée n° 2 est:

0-->53-->55-->57-->58-->56-->59-->60-->61--> 0

quantité	=	8528
nombre de clients	=	8
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	37

tournée n° 3 est:

0-->12-->13-->36-->33--> 0

quantité	=	10556
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	18

tournée n° 4 est:

0-->10-->9-->11-->34--> 0

quantité	=	10307
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	14

tournée n° 5 est:

0-->8-->31-->30-->35-->15-->14--> 0

quantité	=	10986
nombre de clients	=	6
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	20

## ANNEXE 23 (Suite)

tournée n° 6 est:

0-->32-->38-->40-->39-->29-->41-->45-->44-->42-->37--> 0  
 quantité = 10973  
 nombre de clients = 10  
 véhicule utilisé = 11000  
 distance parcourue = 22

tournée n° 7 est:

0-->2-->16-->17-->18-->19-->20-->21-->22-->23-->28-->43-->46-->47-->48--  
 49-->50-->51-->52-->0  
 quantité = 10557  
 nombre de clients = 18  
 véhicule utilisé = 11000  
 distance parcourue = 31

tournée n° 8 est:

0-->1-->6<sup>+</sup>-->7-->4-->5-->3--> 0  
 quantité = 5982  
 nombre de clients = 6  
 véhicule utilisé = 6000  
 distance parcourue = 14

distance totale parcourue = 198  
 nombre de tournées = 8  
 configuration : A<sup>1</sup>B<sup>7</sup>  
 coût total de distribution = 4051

### b. Tournée relative à la période 2 après le 1<sup>er</sup> raffinement

tournée n° 1 est:

0-->26-->27-->25-->24-->54-->63-->66-->67-->65-->64-->62--> 0  
 quantité = 10874  
 nombre de clients = 11  
 véhicule utilisé = 11000  
 distance parcourue = 39

## ANNEXE 23 (Suite)

tournée n° 2 est:

0-->53-->55-->57-->58-->56-->59-->60-->61--> 0

quantité	=	8528
nombre de clients	=	8
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	37

tournée n° 3 est:

0-->12-->13-->35-->33--> 0

quantité	=	10556
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	18

tournée n° 4 est:

0-->9-->10-->11-->34--> 0

quantité	=	10307
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	14

tournée n° 5 est:

0-->8-->31-->30-->35-->15-->14--> 0

quantité	=	10986
nombre de clients	=	6
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	20

tournée n° 6 est:

0-->32-->38-->39-->40-->29-->41-->45-->44-->42-->37--> 0

quantité	=	10973
nombre de clients	=	10
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	19

## ANNEXE 23 (Suite)

tournée n° 7 est:

0-->2-->16-->20-->17-->18-->19-->21-->22-->23-->28-->43-->46-->47  
-->48 -->49-->50

quantité	=	10557
nombre de clients	=	18
véhicule utilisé	=	11000
distance parcourue	=	31

tournée n° 8 est:

0-->1-->6-->7-->4-->5-->3--> 0

quantité	=	5982
nombre de clients	=	6
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

distance totale parcourue	=	198
nombre de tournées	=	8
configuration	:	A <sup>1</sup> B <sup>7</sup>
coût total de distribution	=	4051

## ANNEXE 24:

Tournées relatives à une flotte homogène (Période 1)

### a. Tournée sans raffinement:

tournée n° 1 est:

0-->11-->35-->16-->4-->7--> 0  
quantité = 5830  
nombre de clients = 5  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 19

tournée n° 2 est:

0-->6-->8-->34-->9'-->10--> 0  
quantité = 5583  
nombre de clients = 5  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 15

tournée n° 3 est:

0-->21-->22-->23-->53-->24-->27-->26-->41--> 0  
quantité = 5833  
nombre de clients = 8  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 29

tournée n° 4 est:

0-->38-->45-->44-->37--> 0  
quantité = 5977  
nombre de clients = 4  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 20

tournée n° 5 est:

0-->54-->60-->59-->57-->58-->56-->55--> 0  
quantité = 5856  
nombre de clients = 7  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 34

## ANNEXE 24 (Suite)

tournée n° 6 est:

0-->42-->43-->46-->47-->48-->49-->50-->51-->52--> 0

quantité	=	5765
nombre de clients	=	9
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	27

tournée n° 7 est:

0-->61-->62--> 0

quantité	=	5978
nombre de clients	=	2
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	31

tournée n° 8 est:

0-->12-->13'-->14--> 0

quantité	=	4350
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

tournée n° 9 est:

0-->28-->65-->66-->67-->64-->63-->25--> 0

quantité	=	5997
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	37

tournée n° 10 est:

0-->17-->19-->18-->20-->29-->40-->39--> 0

quantité	=	5907
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	19

## ANNEXE 24 (Suite)

tournée n° 11 est:

0-->15-->36-->33-->32--> 0

quantité	=	5601
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	18

tournée n° 12 est:

0-->2-->5-->3--> 0

quantité	=	5194
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

tournée n° 13 est:

0-->1-->31-->30--> 0

quantité	=	5810
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	18

tournée n° 14 est:

0-->9-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

tournée n° 15 est:

0-->13-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

## ANNEXE 24 (Suite)

distance totale parcourue = 326  
nombre de tournées = 15  
configuration : A<sup>15</sup>  
coût total de distribution = 5967

### b. Tournée après le premier raffinement:

tournée n° 1 est:

0-->11-->35-->16-->4-->7--> 0  
quantité = 5830  
nombre de clients = 5  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 19

tournée n° 2 est:

0-->6-->8-->34-->9'--->10--> 0  
quantité = 5583  
nombre de clients = 5  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 15

tournée n° 3 est:

0-->21-->22-->23-->24-->53-->27-->26-->41--> 0  
quantité = 5833  
nombre de clients = 8  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 24

tournée n° 4 est:

0-->38-->45-->44-->37--> 0  
quantité = 5977  
nombre de clients = 4  
véhicule utilisé = 6000  
distance parcourue = 20

## ANNEXE 24 (Suite)

tournée n° 5 est:

0-->54-->60-->59-->57-->58-->56-->55--> 0

quantité	=	5856
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	34

tournée n° 6 est:

0-->42-->43-->46-->47-->48-->49-->50-->51-->52--> 0

quantité	=	5765
nombre de clients	=	9
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	27

tournée n° 7 est:

0-->61-->62--> 0

quantité	=	5978
nombre de clients	=	2
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	31

tournée n° 8 est:

0-->12-->13'-->14--> 0

quantité	=	4350
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

tournée n° 9 est:

0-->28-->25-->64-->65-->66-->67-->63--> 0

quantité	=	5997
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	31

## ANNEXE 24 (Suite)

tournée n° 10 est:

0-->17-->19-->18-->20-->29-->40-->39--> 0

quantité	=	5907
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	19

tournée n° 11 est:

0-->15-->36-->33-->32--> 0

quantité	=	5601
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	18

tournée n° 12 est:

0-->2-->5-->3--> 0

quantité	=	5194
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

tournée n° 13 est:

0-->1-->31-->30--> 0

quantité	=	5810
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	18

tournée n° 14 est:

0-->9-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

ANNEXE 24 (Suite)

tournée n° 15 est:

0-->13-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

distance totale parcourue	=	320
nombre de tournées	=	15
configuration	:	A <sup>15</sup>
coût total de distribution	=	5964

## ANNEXE 25:

### Tournées relatives à une flotte homogène (période 2)

#### a. Tournée sans raffinement:

tournée n° 1 est:

0-->38-->39-->40-->29-->21-->18-->19--> 0

quantité = 5877

nombre de clients = 7

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 20

tournée n° 2 est:

0-->52-->51-->50-->49-->48-->47-->27-->28-->41-->42--> 0

quantité = 5928

nombre de clients = 10

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 28

tournée n° 3 est:

0-->33-->37-->36--> 0

quantité = 5529

nombre de clients = 3

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 19

tournée n° 4 est:

0-->11-->34-->8-->6-->9'--> 0

quantité = 5911

nombre de clients = 5

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 15

tournée n° 5 est:

0-->44-->45-->43-->26-->22--> 0

quantité = 5950

nombre de clients = 5

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 22

## ANNEXE 25 (Suite)

tournée n° 6 est:

0-->10-->14--> 0

quantité	=	2773
nombre de clients	=	2
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	15

tournée n° 7 est:

0-->20-->24-->54-->60-->59-->57-->58-->56-->55-->53--> 0

quantité	=	5930
nombre de clients	=	10
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	35

tournée n° 8 est:

0-->23-->62-->64-->61--> 0

quantité	=	5844
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	31

tournée n° 9 est:

0-->12-->13'-->15-->35-->32-->16-->7--> 0

quantité	=	5943
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	19

tournée n° 10 est:

0-->46-->65-->66-->67-->63-->25--> 0

quantité	=	5905
nombre de clients	=	6
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	36

## ANNEXE 25 (Suite)

tournée n° 11 est:

0-->2-->5-->4-->3--> 0

quantité	=	5180
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	14

tournée n° 12 est:

0-->1-->31-->30-->17--> 0

quantité	=	5993
nombre de clients	=	4
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	19

tournée n° 13 est:

0-->9-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

tournée n° 14 est:

0-->13-->0

quantité	=	6000
nombre de clients	=	1
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	13

distance totale parcourue	=	308
nombre de tournées	=	14
configuration	:	A <sup>14</sup>
coût total de distribution	=	5569

## ANNEXE 25 (Suite)

### b. Tournées après le premier raffinement:

tournée n° 1 est:

0-->38-->39-->40-->29-->21-->18-->19--> 0

quantité	=	5877
nombre de clients	=	7
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	20

tournée n° 2 est:

0-->52-->51-->50-->49-->48-->47-->27-->28-->41-->42--> 0

quantité	=	5928
nombre de clients	=	10
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	28

tournée n° 3 est:

0-->33-->36-->37--> 0

quantité	=	5529
nombre de clients	=	3
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	19

tournée n° 4 est:

0-->11-->34-->8-->6-->9'--> 0

quantité	=	5911
nombre de clients	=	5
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	15

tournée n° 5 est:

0-->44-->45-->43-->26-->22--> 0

quantité	=	5950
nombre de clients	=	5
véhicule utilisé	=	6000
distance parcourue	=	22

## ANNEXE 25 (Suite)

tournée n° 6 est:

0-->10-->14--> 0

quantité = 2773

nombre de clients = 2

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 15

tournée n° 7 est:

0-->20-->24-->54-->60-->59-->57-->58-->56-->55-->53--> 0

quantité = 5930

nombre de clients = 10

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 35

tournée n° 8 est:

0-->23-->62-->64-->61--> 0

quantité = 5844

nombre de clients = 4

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 31

tournée n° 9 est:

0-->12-->13'-->15-->35-->32-->16-->7--> 0

quantité = 5943

nombre de clients = 7

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 19

tournée n° 10 est:

0-->46-->65-->66-->67-->63-->25--> 0

quantité = 5905

nombre de clients = 6

véhicule utilisé = 6000

distance parcourue = 36

## ANNEXE 25 (Suite)

tournée n° 11 est:

0-->2-->5-->4-->3--> 0

quantité = 5180  
 nombre de clients = 4  
 véhicule utilisé = 6000  
 distance parcourue = 14

tournée n° 12 est:

0-->1-->31-->30-->17--> 0

quantité = 5993  
 nombre de clients = 4  
 véhicule utilisé = 6000  
 distance parcourue = 19

tournée n° 13 est:

0-->9-->0

quantité = 6000  
 nombre de clients = 1  
 véhicule utilisé = 6000  
 distance parcourue = 13

tournée n° 14 est:

0-->13-->0

quantité = 6000  
 nombre de clients = 1  
 véhicule utilisé = 6000  
 distance parcourue = 13

distance totale parcourue = 305  
 nombre de tournées = 14  
 configuration : A<sup>14</sup>  
 coût total de distribution = 5569

