



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière du Génie Industriel



## Projet de fin d'études

Master en Génie Industriel

Intitulé :

---

### Amélioration des performances d'une entreprise de distribution

### Cas d'étude : NAFTAL

---

Soutenu le : 25 Juin 2018 par :

- ZEDDAM Besma
- MENAA Zahra

Devant le jury :

Mme SARI TRIQUI Lamia	MCA-université de Tlemcen	<b>Présidente</b>
M. BENSMINE Abderrahmane	MCB-université de Tlemcen	<b>Examineur</b>
M. MALIKI Fouad	MAA-ESSA- Tlemcen	<b>Examineur</b>
M. BENSMINE Yassir	Doctorant-université de Tlemcen	<b>Invité</b>
M. BELKAID Fayçal	MCA-université de Tlemcen	<b>Encadrant</b>
M. BENNEKROUF Mohammed	MCB-ESSA- Tlemcen	<b>Co-Encadrant</b>

Année Universitaire 2017/2018

# Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour bien mener ce travail.

En préambule à ce mémoire, il nous est agréable de remercier vivement tous ceux qui grâce à leur aide précieuse, ont permis la réalisation de ce travail et particulièrement :

Monsieur **BELKAID Fayçal** Maitre de conférence l'université de Tlemcen, pour nous avoir prodigué tous les conseils indispensables. On le remercie aussi pour avoir suivi, guidé soutenu et fait confiance à notre travail.

Monsieur **BENNEKROUF Mohammed** Maitre de conférence à l'Ecole Supérieure en Science Appliquées-Tlemcen pour son accueil et sa disponibilité à chaque fois que nous en avais besoin, pour tous ses efforts, son aide et ses conseils constructifs durant ce projet.

On exprime nos sincères gratitudees à :

Madame **SARI TRIQUI Lamia** Maitre de conférence à l'université de Tlemcen pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Monsieur **BENSMACHINE Abderrahmane** Maitre de conférence l'Université de Tlemcen pour l'honneur d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Monsieur **MALIKI Fouad** Maitre-Assistant à l'Ecole Supérieure en Science Appliquées-Tlemcen pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Monsieur **BENSMACHINE Yassir** pour grande disponibilité et ses précieux conseils et pour accepter l'invitation pour être parmi les membre de jury.

Un grand merci s'adresse à l'ensemble du personnel de L'entreprise NAFTAL-Remchi notamment :

Monsieur **KHELLOUFI Mohammed** chef du centre de distribution, pour ses efforts pour que notre stage soit accepté par la direction générale.

Monsieur **MEDJAHDI Riyad** chef service distribution, pour sa disponibilité, ses conseils, pour ses idées utiles et son esprit positif.

Monsieur **SALAH KHOUDJA Ahmed** Dispatcher pour son aide et pour les informations précieuses qu'il nous a donné.

Monsieur **LARABI Rachid** dispatcher, **BENABDELLAH Abdellah** technicien produit ainsi que tous ceux qui ne sont pas cités, nous leurs réservent les vifs remerciements pour leur sympathie, leur accueil chaleureux, et pour leur collaboration.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à ma chère mère*

*Elle est mon idéal, mon essentiel*

*Aussi tendre, aussi simple, aussi exceptionnelle,*

*Je l'aimerai comme les abeilles aiment le miel*

*Car je ne serai pas arrivé jusqu'ici sans elle.*

*A la mémoire de mon père décédé depuis 21 ans,*

*Qui est déjà loin et lointain*

*Qui me manque profondément*

*A ma seule adorable sœur **Ikram***

*Mon oncle que j'adore **Youcef***

*A mes chères tantes **Fatima** et **Drifa***

*Mes grands-parents et toute ma famille*

*Sans oublier ma fleur **Zahra** et sa famille que je  
respecte*

*A tous mes amis et mes collègues*

*Besma ZEDDAM*

# *Dédicaces*

*A la lumière de mes jours  
La source de mes efforts  
La flamme de mon cœur  
Ma vie et mon bonheur  
Maman que j'adore*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, Mon  
soutien moral et source de joie et de bonheur,  
Celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir,  
mon père.*

*A mon soutien moral et mon demi ma sœur **FATNA**,  
et son mari **DJALAL** sans oublié mon petit  
**Mohamed Baraa.***

*A mes sœurs **Nasrine, Nassima, Wahida**  
A toute ma famille, mes chères tantes et mes chers  
oncles et mes amis,*

*A ma **Besma** et toute sa famille  
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de  
loin pour que ce projet soit possible, je vous dis  
merci.*

*Zahra **MENAA***

# Table des matières

Remerciement.....	2
Table des matières .....	5
Liste des figures .....	9
Liste des tableaux .....	10
Introduction générale : .....	12
1. Chapitre 1 : La logistique.....	14
1.1. Introduction .....	14
1.2. La logistique et la chaine logistique : .....	14
1.2.1. Définition de logistique :.....	14
1.2.2. Définition de la chaine logistique :.....	16
1.2.3. Types de chaînes logistiques :.....	17
1.2.4. Les fonctions de la chaine logistique : .....	20
1.3. Conception des chaînes logistiques .....	22
1.3.1. Niveau stratégique.....	23
1.3.2. Niveau tactique.....	23
1.3.3. Niveau opérationnel .....	23
1.4. Les flux de la chaîne logistique .....	24
1.4.1. Le flux d'information : .....	24
1.4.2. Le flux physique : .....	25
1.4.3. Le flux financier : .....	25
1.5. Les méthodes de résolution de problème de transport : .....	25
1.5.1. Heuristiques.....	25
1.5.2. Méta-heuristique : .....	26
1.5.3. Les méthodes d'aide à la décision multicritère(MCDM) :.....	27
1.6. L'état de l'art : .....	27
1.7. Conclusion .....	33
2. Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise NAFTAL .....	34
2.1. Introduction .....	34
2.2. Historique de NAFTAL : .....	34
2.3. Principales tâches et responsabilités de NAFTAL : .....	35
2.4. Organisation de NAFTAL : .....	35
2.4.1. Service Informations de Gestion (ING) : .....	35
2.4.2. Département AMG (administration et moyen généraux) :.....	36

## | *Table des matières*

2.4.3.	Département finance et comptabilité : .....	36
2.4.4.	Service trésorerie : .....	36
2.4.5.	Service comptabilité générale : .....	36
2.4.6.	Service budgets et coûts : .....	36
2.4.7.	Département Transport & Technique : .....	37
2.5.	Les Moyens de l'entreprise NAFTAL : .....	37
2.5.1.	Produits commercialisés par l'entreprise : .....	38
2.6.	La politique de distribution de NAFTAL : .....	41
2.6.1.	La réception de commande : .....	41
2.6.2.	Le dispatching : .....	41
2.6.3.	La facturation : .....	41
2.7.	Problématique .....	42
3.	Chapitre 3 : Amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL : Maximisation du profit .....	44
3.1.	Introduction : .....	44
3.2.	La formulation mathématique du problème : .....	44
3.3.	Les paramètres du modèle : .....	47
3.4.	Les variables de décisions : .....	48
3.5.	Les données NAFTAL district de distribution REMCHI .....	49
3.5.1.	Les stations de la wilaya de Tlemcen : .....	49
3.5.2.	Distance entre le centre de distribution Naftal et les stations : .....	50
3.5.3.	Matrice de distance entre les stations : .....	50
3.5.4.	Coûts de transport : .....	50
3.6.	Simulation de modèle mathématique : .....	51
3.7.	Expérimentations .....	51
3.7.1.	Deux stations .....	52
3.7.2.	trois stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.7.3.	quatre stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.7.4.	cinq stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.7.5.	six stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.7.6.	sept stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.7.7.	onze stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.8.	Conclusion : .....	68
4.	Chapitre 4 : Amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL : Minimisation des émissions du CO <sub>2</sub> .....	70
4.1.	Introduction : .....	70

## | *Table des matières*

4.2.	Généralités : .....	70
4.2.1.	Définitions : .....	70
4.2.2.	L'utilité de l'information CO <sub>2</sub> : .....	71
4.3.	Etat de l'art et travaux existants : .....	71
4.4.	Méthodes de calcul de l'information CO <sub>2</sub> .....	73
4.4.1.	Méthode d'Analyse du Cycle de vie (ACV) : .....	73
4.4.2.	La méthode Carbon footprint .....	73
4.4.3.	La méthode globale .....	74
4.4.4.	La méthode de Bilan Carbone de l'ADEME.....	74
4.5.	L'approche utilisée : méthode de bilan Carbone de l'ADEME : .....	74
4.5.1.	Description des étapes de la méthode : .....	74
4.5.2.	Les principales formules de calcul : .....	74
4.5.3.	Données de références : .....	76
4.6.	Expérimentation.....	81
4.6.1.	Deux stations : .....	82
4.6.2.	trois stations : .....	84
4.6.3.	quatre stations : .....	86
4.6.4.	cinq stations : .....	87
4.6.5.	six stations : .....	88
4.6.6.	sept stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6.7.	onze stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.7.	Conclusion .....	93
5.	Chapitre 5 : Optimisation multi-objectifs pour l'amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL.....	94
5.1.	Introduction : .....	94
5.2.	Généralité sur l'optimisation multi-objectifs : .....	94
5.2.1.	Définitions et utilité : .....	94
5.2.2.	Formulation des problèmes multi-objectifs.....	95
5.3.	Etat de l'art et travaux existants : .....	95
5.4.	Méthode de résolution : .....	97
5.4.1.	Les MCDMs : .....	97
5.4.2.	Les méta-heuristiques : .....	97
5.4.3.	Les méthodes Pareto : .....	98
5.4.4.	Les méthodes Non Pareto.....	100
5.4.5.	Les méthodes hybrides : .....	102

## | *Table des matières*

5.5. L'approche proposée : LP-Metric method : .....	102
5.6. Expérimentations : .....	104
5.6.1. Deux stations : .....	104
5.6.2. trois stations : .....	106
5.6.3. quatre stations : .....	107
5.6.4. cinq stations : .....	109
5.6.5. six stations : .....	110
5.6.6. sept stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6.7. onze stations .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.7. Conclusion .....	115
Conclusion et perspectives .....	116
Références bibliographiques .....	118
Annexes : .....	124
Annexe 1 : .....	124
Annexe 2 : .....	125
Annexe 3 : .....	126
Annexe 4 : .....	126
Résumé .....	131



# Liste des figures

Figure 1-1 : modèle de chaîne logistique selon (New et al, 1995).....	16
Figure 1-2 : modèle de chaîne logistique (Kearney, 1994) .....	17
Figure 1-3 : chaîne logistique globale. ....	18
Figure 1-4 : chaîne logistique interne. Source (Portmann, 2006). ....	18
Figure 1-5 : entreprise étendue. Source (Portmann, 2006). ....	19
Figure 1-6 : entreprise virtuelle. Source (Portmann, 2006).....	20
Figure 1-7 :pyramide des niveaux de décisions. ....	23
Figure 1-8 :Les différents fonctions et niveaux de décisions dans une chaine logistique.....	24
Figure 2-1 : Schéma actuel d'organisation de la société NAFTAL.....	40
Figure 2.2 : schéma qui décrit la chaine logistique de NAFTAL-distribution.....	43
Figure 4-1 classification des moyens de transport routier des marchandise .....	76
Figure 5-1 : Principe de fonctionnement de NSGA-II. ....	99

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Différentes extensions du VRP .....	29
<b>Tableau 3.2</b> Distance entre le centre de distribution Naftal et les stations .....	50
<b>Tableau 3.3</b> distances entre les stations .....	50
<b>Tableau 3.4</b> Coûts et charges mensuels pour chaque véhicule NAFTAL .....	50
<b>Tableau 3.05</b> coûts de transport des différents types des camions .....	51
<b>Tableau 3.6</b> Données relatives aux commandes de deux stations d'un seul produit.....	52
<b>Tableau 3.7</b> Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à deux stations.....	52
<b>Tableau 3.8</b> Données relatives aux commandes de deux stations de plusieurs produits.....	53
<b>Tableau 3.9</b> Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à 2 stations .....	53
<b>Tableau 3.10</b> : Données relatives aux commandes de trois stations d'un seul produit. ....	54
<b>Tableau 3.11</b> Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à trois stations .....	54
<b>Tableau 3.12</b> Données relatives aux commandes de trois stations de plusieurs produits .....	55
<b>Tableau 3.13</b> : Résultats de maximisation de profit de livraison d'e plusieurs produits à trois stations .....	56
<b>Tableau 3.14</b> Données relatives aux commandes de quatre stations d'un seul produit.....	56
<b>Tableau 3.15</b> Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à quatre stations ...	57
<b>Tableau 3.16</b> Données relatives aux commandes de quatre stations de plusieurs produits.....	57
<b>Tableau 3.17</b> Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à quatre stations .....	58
<b>Tableau 3.18</b> Données relatives aux commandes de cinq stations d'un seul produit.....	59
<b>Tableau 3.19</b> : Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à cinq stations ....	59
<b>Tableau 3.20</b> Données relatives aux commandes de cinq stations de plusieurs produits.....	60
<b>Tableau 3.21</b> Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à cinq stations.	60
<b>Tableau 3.22</b> : Données relatives aux commandes de six stations d'un seul produit.....	61
<b>Tableau 3.23</b> : Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à six stations .....	62
<b>Tableau 3.24</b> : Données relatives aux commandes de six stations de plusieurs produits.....	62
<b>Tableau 3.25</b> Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à six stations..	63
<b>Tableau 3.26</b> Données relatives aux commandes de sept stations d'un seul produit .....	64
<b>Tableau 3.27</b> Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à sept stations .....	64
<b>Tableau 3.28</b> Données relatives aux commandes de sept stations de plusieurs produits .....	65
<b>Tableau 3.29</b> Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à sept stations .	66
<b>Tableau 3.30</b> Données relatives aux commandes de onze stations d'un seul produit.....	66
<b>Tableau 3.31</b> Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à onze stations.....	67
<b>Tableau 3.32</b> Données relatives aux commandes de onze stations de plusieurs produits .....	67
<b>Tableau 3.33</b> Résultats de maximisation de profit de livraison plusieurs produits à onze stations.....	68
<b>Tableau 4.34</b> Facteurs d'émission des sources d'énergie .....	77
<b>Tableau 4.35</b> Taux de consommation des sources d'énergie pour chaque type de véhicule .....	78
<b>Tableau 4.36</b> Taux d'émission de CO <sub>2</sub> pour chaque type de véhicule.....	79
<b>Tableau 4.37</b> Caractéristiques des véhicules de distribution de NAFTAL .....	82
<b>Tableau 4.38</b> Résultats de minimisation des émissions CO <sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à deux stations.....	83
<b>Tableau 4.39</b> Résultats de minimisation des émissions CO <sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à deux stations.....	84
<b>Tableau 4.40</b> Résultats de minimisation des émissions CO <sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à trois stations.....	84
<b>Tableau 4.41</b> Résultats de minimisation des émissions CO <sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à trois stations.....	85

## | *Liste des tableaux*

<b>Tableau 4.42</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison d'un seul produit à quatre stations.....	86
<b>Tableau 4.43</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison de plusieurs produits à quatre stations.....	87
<b>Tableau 4.44</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison d'un seul produit à cinq stations.....	87
<b>Tableau 4.45</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison de plusieurs produits à cinq stations.....	88
<b>Tableau 4.46</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison d'un seul produit à six stations.....	89
<b>Tableau 4.47</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison de plusieurs produits à six stations.....	90
<b>Tableau 4.48</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison d'un seul produit à sept stations.....	91
<b>Tableau 4.49</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison de plusieurs produits à sept stations.....	91
<b>Tableau 4.50</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison d'un seul produit à onze stations.....	92
<b>Tableau 4.51</b> Résultats de minimisation des émissions CO2 de livraison de plusieurs produits à onze stations.....	93
<b>Tableau 5.52</b> Résultats d'exemple .....	104
<b>Tableau 5.53</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produit à deux stations .....	105
<b>Tableau 5.54</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produit à deux stations .....	106
<b>Tableau 5.55</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produit à trois stations .....	106
<b>Tableau 5.56</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à trois stations .....	107
<b>Tableau 5.57</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à quatre stations.....	108
<b>Tableau 5.58</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à quatre stations .....	108
<b>Tableau 5.59</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à cinq stations.....	109
<b>Tableau 5.60</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à cinq stations .....	110
<b>Tableau 5.61</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à six stations .....	111
<b>Tableau 5.62</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à six stations .....	111
<b>Tableau 5.63</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à sept stations .....	112
<b>Tableau 5.64</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à sept stations.....	113
<b>Tableau 5.65</b> Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à onze stations.....	114
<b>Tableau 5.66</b> Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à onze stations.....	115

# Introduction générale :

Les chaînes logistiques sont un résultat, ou plutôt une conséquence, de la déferlante mondialisation et de la globalisation des marchés. En effet, dans un environnement de plus en plus concurrentiel, la course vers l'amélioration de la qualité de service aux clients, plus exigeantes que jamais.

La distribution des produits pétroliers est une activité purement logistique. Qui est constitué de plusieurs étapes qui commencent par l'extraction de pétrole, ensuite l'évacuation suivi par un traitement puis la commercialisation de produit fini et la disposition au consommateur. Car il y a une demande importante dans Le marché algérien des produits pétroliers, cette demande a été évalué pour l'année 2011 à 14 millions de tonnes où la part de l'entreprise nationale "Naftal" est prédominante.

Cette société a pour mission principale la distribution et la commercialisation des produits pétroliers. Le grand souci de cette entreprise c'est comment satisfaire la demande des consommateurs et réaliser un profit comme toute société commerciale. Le but de ce travail est d'élaborer un modèle mathématique qui maximise le profit de district, vu que le secteur des transports représente l'une des premières sources de pollution en Algérie avec des émissions atteignant 14 millions de tonnes équivalent  $CO_2$ , soit un taux de 46% des émissions de gaz à effet de serre pour cela un autre modèle mathématique est établi qui s'intéresse essentiellement par l'environnement dédié à la minimisation des émissions de  $CO_2$  et à la fin on a introduire une méthode d'équilibre entre les deux fonction-objectifs pour un meilleur choix de résultat.

Ce travail est organisé de manière très simple, au premier chapitre, on a commencé par un état de l'art sur la logistique de transport routière ainsi on a donné quelque généralité et définitions comme les niveaux d'une chaîne et ces flux, puis on a mentionné des approches de résolutions de problème de transport commencent par les heuristiques puis les méta-heuristique et on a fini par les méthodes d'aide à la décision multi critère MCDM.

Le deuxième chapitre décrit essentiellement l'entreprise NAFTAL son historique suivi par les responsabilités et les tâches d'entreprise NAFTAL, Son organisation, ses services et ses départements existant on a mentionné aussi les moyens de cette entreprise et les produits commercialisés et mise à la disponibilité client. Nous avons fini par décrire la politique de société comment on fait la réception des commandes passent par le dispatching et fini par la facturation on a clôturé ce chapitre par notre problématique.

Dans le troisième chapitre, nous avons modélisé un modèle mathématique pour l'optimisation des tournées de véhicules en vue de résoudre le problème de distribution chez NAFTAL. Nous avons expliqué les contraintes mentionnées, les variables de décision, les paramètres nous avons aussi simulé ce modèle on cinq instances pour une demande d'un seul produit ou bien de plusieurs produits pour un nombre de station maximale d' onze stations, chaque simulation et accompagné par une interprétation et un tableau de données Nous avons également estimé le coût de transport pour maximiser le profit.

Le quatrième chapitre, on a donné une définition globale de  $\text{CO}_2$  aussi l'utilité d'information de  $\text{CO}_2$  puis un état de l'art sur les travaux existant et on a mentionné quelques méthodes de calcul de l'information  $\text{CO}_2$ , parmi les méthodes on a choisi la méthode de bilan de l'ADEME qui minimise les émissions de  $\text{CO}_2$ , on a aussi établi un modèle mathématique qui sert à minimiser les émissions de  $\text{CO}_2$  des véhicules qui transportent les carburants de centre de distribution aux clients avec explication des contraintes et des variables. Nous avons simulé ce travail sur les instances du troisième chapitre ou on a les mêmes demandes soit pour un seul produit soit pour plusieurs produits mais des différents résultats avec une interprétation pour chaque cas étudié.

Dans le dernier chapitre, on a donné des généralités sur l'optimisation multi objectifs vue de donner des résultats combinatoires entre les deux modèles précédents. Nous avons donné un état de l'art de la méthode LP-Metric et sa formulation mathématique pour donner une solution qui maximise le profit et minimise les émissions de  $\text{CO}_2$ . à la fin il y a une simulation des instances puis une interprétation pour chaque cas et on a clôturé par une petite conclusion.

# Chapitre 1 : La logistique

## 1.1. Introduction

De nos jours, les entreprises doivent s'adapter à la dynamique du marché pour espérer survivre dans un environnement très concurrentiel et très compétitif. Les clients sont beaucoup plus exigeants en raison des nombreux choix qui s'offrent à eux. La satisfaction des clients combinée à la réduction des coûts est difficile à réaliser. Ajoutons à cela les nouvelles technologies de l'information et de la communication qui ont révolutionné la manière avec laquelle doivent être gérées les entreprises. Celles-ci deviennent de plus en plus grandes, englobent de plus en plus de filiales, et sont de plus en plus de dimension internationale, elles n'ont quasiment plus de nationalité. Cette nouvelle situation a créé des nouveaux défis. Le défi de s'adapter à la globalisation et d'en tirer les bénéfices. Depuis une quinzaine d'années la notion de modélisation des entreprises ou des processus aboutissant à la création, la production ou le développement de nouveaux produits ou services en chaîne logistique a émergé et est devenue incontournable dans les organisations à grande échelle. Aujourd'hui, aucune entreprise ne peut ignorer que la gestion de production classique laisse la place à la gestion de la chaîne logistique pour faire face aux nouvelles attentes du marché, aux nouveaux Concurrents, nouveaux liens entre les entreprises et leurs partenaires. En clair : tout change ! Et les entreprises doivent s'adapter à cette nouvelle réalité, ce qui signifie :

- ✓ Une très forte réactivité.
- ✓ Une baisse significative des coûts.
- ✓ Une nette amélioration de la qualité et du service du client.
- ✓ De meilleures performances.

Dans ce chapitre, nous établissons une synthèse des définitions de la chaîne logistique recensées dans la littérature. Nous nous intéressons aussi aux quelques types et fonctions de la chaîne logistique, et à la fin de cette partie nous dégagons quelques structures de la Supply Chain et quelque méthode de résolution de problème de transport.

## 1.2. La logistique et la chaîne logistique :

### 1.2.1. Définition de logistique :

La logistique est la fonction organisant les circuits matières, autrement dit l'art de livrer, au moindre coût, le bon produit, au bon endroit et au bon moment. Tant qu'il s'agit pour le scieur du village de livrer trois stères de bois au charpentier du village, la formation à la logistique ne se justifie pas. En fait, c'est l'accroissement de l'envergure des entreprises et des échanges qui, en complexifiant les circuits matières au sein des entreprises et entre entreprises, a fait émerger cette discipline.

La logistique émerge des nécessités engendrées par la gestion centralisée des flux. Les premières grandes administrations centralisées étant les armées en mouvement sur des territoires étendus, le terme de « logistique » apparaît dans le langage militaire au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Il désigne l'art de combiner tous les moyens de transport, de ravitaillement et de logement des troupes.

Avant de présenter la logistique sous un angle économique, nous commencerons par montrer comment le besoin d'une administration logistique a émergé de l'évolution économique et sociale [Tixier et al .1996].

« La logistique est le processus stratégique par lequel l'entreprise organise et soutient son activité. A ce titre, on peut déterminer et gérer les flux matériels et informationnels afférents, tant internes qu'externes, en amont qu'en aval. » [Akbari.jokaar .2001].

Une définition très similaire a été aussi proposée par l'Association Française de normalisation (AFNOR) [Akbari.jokaar .2002]. Selon cette association, « la logistique est une fonction dont la finalité est la satisfaction des besoins exprimés aux meilleures conditions économiques pour l'entreprise et pour un niveau de service déterminé ».

De même, The Logistics Institute (TLI) définit la logistique comme suit : « la logistique est une collection de fonctions relatives aux flux de marchandises, d'information et de paiement entre fournisseurs et clients depuis l'acquisition des matières jusqu'au recyclage ou à la mise au rebut des produits finis ».

La définition qui nous semble la plus appropriée à la situation actuelle du marché est celle proposée par [Breuzard, Fromentin.2004]. La logistique selon eux est définie comme « une discipline à l'interface entre les sciences de gestion et les sciences de l'ingénieur. D'un côté les gestionnaires s'intéressent à la stratégie de l'organisation et au rôle joué par la logistique dans cette stratégie, et de l'autre les ingénieurs mobilisant plusieurs outils relevant de la recherche opérationnelle donnent des solutions à des problèmes logistiques.

En résumé, à travers l'ensemble de ces définitions, force est de constater que la communauté scientifique s'est adaptée à chacune des évolutions du marché, dans les années 40, la logistique se limitait aux fonctions de distributions [Afnor.1999] ; aujourd'hui, elle prend en considération la plupart des cycles de vie d'un produit ou d'un service.

Il existe plusieurs types de logistiques :

- Logistique d'approvisionnement : qui permet d'alimenter les stocks des entreprises et usines en matières premières, composants et sous-ensembles nécessaires à la production.
- Logistique de production : qui consiste à rendre disponibles les matériaux et les composants nécessaires à la production au pied des lignes de production.
- Logistique de distribution : qui consiste à acheminer vers le client final ou le consommateur les produits dont il a besoin.
- Logistique militaire : qui a pour objectif de transporter sur un théâtre d'opérations les forces et les ressources nécessaires pour assurer leur mise en œuvre opérationnelle et maintenir leur soutien.
- Rétro-logistique : qui consiste à reprendre des produits dont le client ne veut pas ou qu'il veut faire réparer, ou encore des produits à traiter en déchets

industriels.[DIB,2016].

### 1.2.2. Définition de la chaîne logistique :

La chaîne logistique englobe l'ensemble des opérations réalisées pour la fabrication d'un produit ou d'un service allant de l'extraction de la matière première à la livraison au client final, en passant par les étapes de transformation, de stockage, et de distribution. De nos jours, de plus en plus on regarde la chaîne logistique comme une toile regroupant plusieurs des activités citées, cela est dû à la complexité des organisations actuelles et à leur dimension internationale. Ajoutés aux flux des matières, la chaîne logistique inclut les flux d'information et les flux financiers. Chaque étape de transformation ou de distribution peut impliquer de nouveaux acteurs, de nouveaux fournisseurs ou de nouveaux clients intermédiaires, avec également des nouveaux flux d'informations.

Il existe énormément de définitions de la chaîne logistique dans la littérature. C'est un sujet passionnant car nouveau et porteur de progrès. Tayur et al [Tayur et al, 2000] définissent la chaîne logistique comme « un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients, et des flux d'information dans les deux sens ». Lambert et al [Lambert cooper, 2000] proposent une définition simple : « Une chaîne logistique est l'ensemble des firmes qui amènent des produits ou des services sur le marché », ce qui est une définition très généraliste. Lee et al. [Lee et al, 2001] donnent une vision plus opérationnelle : « un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution du produit fini vers le client ». Le parallélisme entre la chaîne logistique et l'organisation en réseau est très significative, ce qui met en évidence la complexité de sa gestion étant donné qu'elle est le point qui rassemble plusieurs acteurs qui participent à un même projet ou à défaut au processus de création, ou développement d'un service ou d'un produit. D'autres vont dans le même sens et proposent de représenter les activités et les entreprises impliquées dans cette chaîne qui commence à l'extraction de la matière première en passant par les entreprises de production, les grossistes, les détaillants jusqu'au client final.

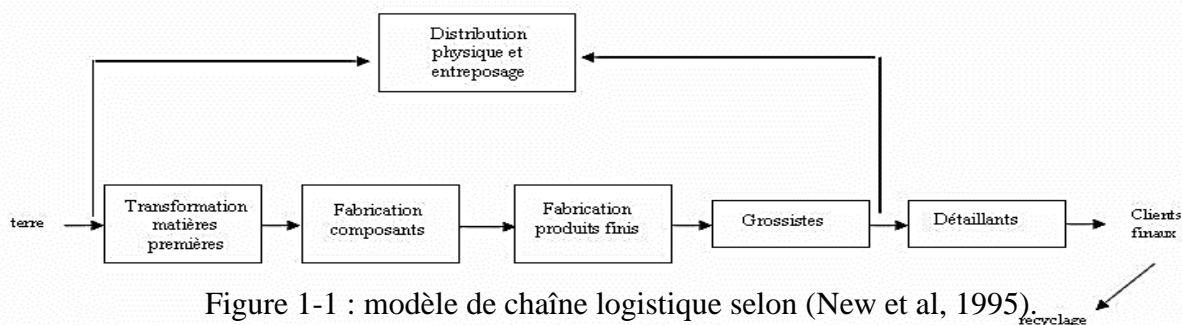


Figure 1-1 : modèle de chaîne logistique selon (New et al, 1995).

En 2002 des auteurs donnent la définition suivante : « la chaîne logistique est un réseau global d'organisations qui coopèrent afin d'améliorer les flux des matériels et des informations entre les fournisseurs et les clients au plus bas coût et à la plus grande vitesse. L'objectif de la chaîne logistique est la satisfaction du client ». Cette définition suggère que la chaîne logistique englobe des partenaires indépendants mais vus comme une seule entité ou une seule stratégie.

Dans l'un des livres les plus importants concernant les chaînes logistiques, Lee et Billington [Lee et Billington.1993] donnent la définition suivante : ]« la chaîne logistique peut être



considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final ».

En résumant ces définitions on peut voir qu'il existe deux visions de la chaîne logistique, l'une basée sur l'entreprise, et la seconde basée sur le produit. Un modèle de chaîne logistique basée sur une entreprise peut être donné par la figure suivante [Kearney, 1994]

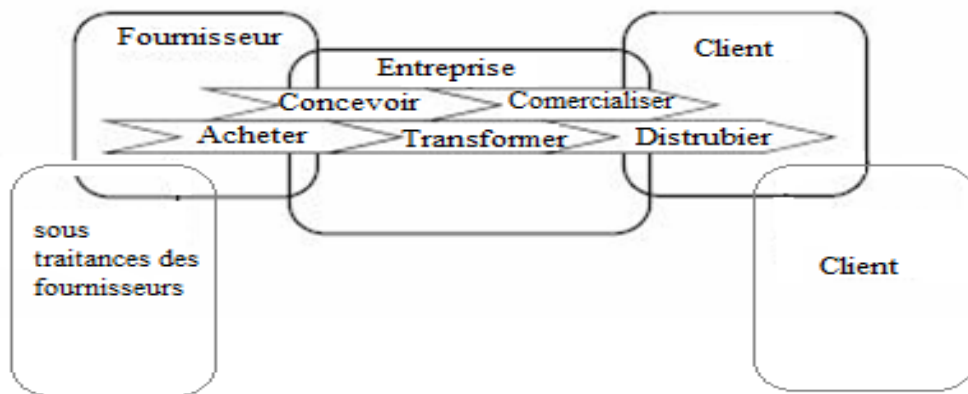


Figure 1-2 : modèle de chaîne logistique (Kearney, 1994)

Lorsque le concept de chaîne logistique est abordé du point de vue de l'entreprise, alors on considère toutes les chaînes logistiques qui incluent l'entreprise considérée en se limitant

Parfois aux fournisseurs et aux clients de l'entreprise, voire aux fournisseurs des fournisseurs et aux clients des clients.

Au-delà d'une entreprise donnée, ils définissent la chaîne logistique d'un produit donné (ou d'une famille de produits) comme « l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime ». Ceci nous amène à voir les différents types d'organisation des chaînes logistiques.

### 1.2.3. Types de chaînes logistiques :

On a vu que la chaîne logistique est constituée d'un ensemble d'acteurs ou de partenaires qui achètent, produisent (développent, ou transforment), éventuellement stockent, transportent et vendent des biens ou des services de telle sorte que, sous des contraintes pouvant faire intervenir des facteurs humains, sociaux, juridiques ou encore environnementaux, la marge bénéficiaire revenant à chaque partenaire soit satisfaisante pour chacun d'eux et que la somme des marges soit la plus grande possible. Les typologies des chaînes logistiques diffèrent selon les propriétés des acteurs qui y interviennent.

Si les sites sont localisés dans différents pays, on parle alors de chaîne logistique globale. Dans ce cas, les aspects relatifs à l'importation et à l'exportation comme le taux de change, les taxes douanières, les assurances, et les législations doivent être pris en compte. De nos jours, une

grande partie des chaînes logistiques sont globales, c'est une des conséquences de la globalisation. La figure suivante montre un exemple d'une chaîne logistique typique.

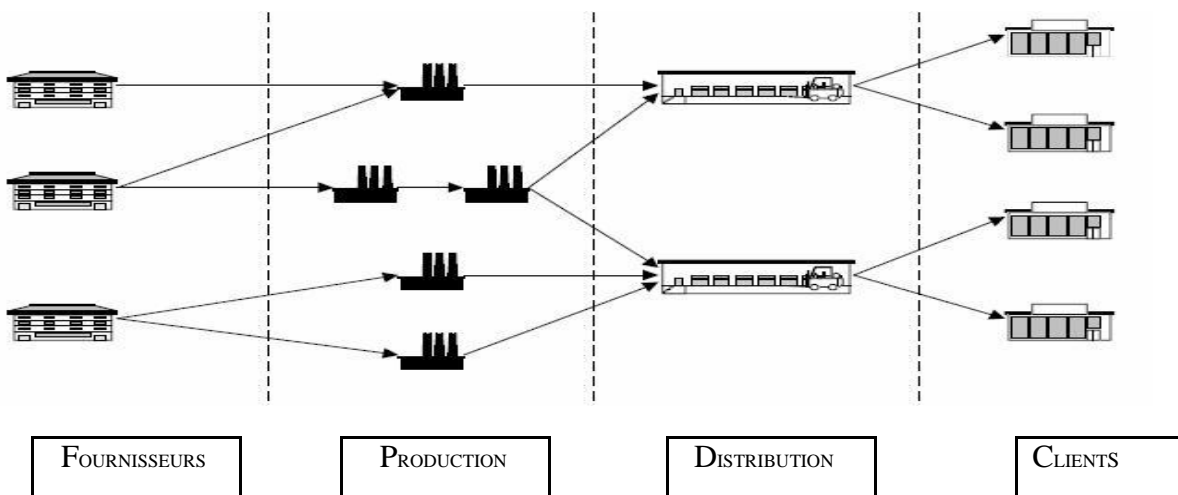


Figure 1-3 : chaîne logistique globale.

Si les partenaires appartiennent tous à la même entité juridique (même si l'entreprise est multi sites) alors on parle de chaîne logistique interne.



Figure 1-4 : chaîne logistique interne. Source (Portmann, 2006).

Si plusieurs entreprises collaborent au sein de la chaîne logistique, mais l'une d'entre elles joue un rôle dominant et central, on parle alors d'une entreprise étendue ils ont défini l'entreprise étendue comme étant une organisation ou une forme d'entreprise représentée en tout ou en partie par les clients, les fournisseurs et les sous-traitants engagés d'une façon collaborative pour la conception, le développement, la production et la livraison de produits pour les utilisateurs finaux. Pour un fonctionnement correct, le donneur d'ordre (l'entreprise dominante) doit communiquer sur ses prévisions, en général, des contrats sont signés entre les partenaires sur des fourchettes de volumes par période ou par cumul de périodes. Il développe ainsi des relations de partenariat à long terme avec des clients potentiels, il les traite comme d'importants partenaires. En outre, il sous-traite tout ce qui sort de ses compétences à des fournisseurs externes ou à des

prestataires de services, et se concentre sur les compétences de l'entreprise. La figure suivante montre un schéma d'une entreprise étendue.

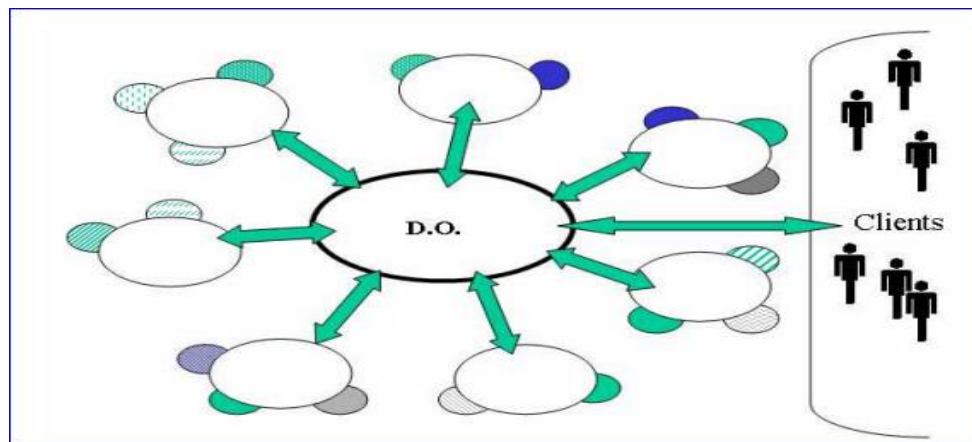


Figure 1-5 : entreprise étendue. Source (Portmann, 2006).

Dans le cas où plusieurs entreprises collaborent au sein de la chaîne logistique, mais où le pilotage est décentralisé ou est au minimum semi décentralisé avec des négociations bilatérales entre couples de partenaires, on parle alors d'une entreprise virtuelle. [Browne et Sackett .1995] ont défini l'entreprise virtuelle comme un ensemble d'unités et de processus au sein d'une chaîne logistique se composant d'un ensemble d'unités de production coopérant entre elles, des magasins, et des unités de transport qui se comportent comme une entreprise simple avec une forte coordination pour atteindre des objectifs communs. La réussite d'une telle organisation dépend de l'efficacité du système de partage d'informations utilisé afin d'assurer l'intégration des différents partenaires pendant une courte durée. Des entreprises peuvent se regrouper en une entreprise virtuelle pour faire face à la concurrence ou bien pour atteindre des capacités de production qu'elles ne peuvent atteindre seules [Ganesa et al.1995]. L'entreprise virtuelle cherche à exploiter des opportunités volatiles, à accéder à de nouveaux marchés et à partager les coûts et les risques, ceci sans superstructure organisationnelle importante, en recourant aux nouvelles possibilités offertes par les technologies de l'information et de la communication. Le concept d'entreprise virtuelle peut être résumé comme le regroupement d'entreprises dans le sens d'alliances stratégiques ou opportunistes. Une telle organisation implique des relations de confiance et une compréhension mutuelle de la manière à traiter les affaires, ainsi que de partager sans restrictions des informations confidentielles. A la différence des entreprises étendues où le contrôle est purement hiérarchique, au niveau de l'entreprise virtuelle le contrôle est non hiérarchique et dans certains cas, pour éviter des conflits, il est possible de trouver un coordinateur. La figure suivante montre un schéma d'une entreprise virtuelle à niveaux.

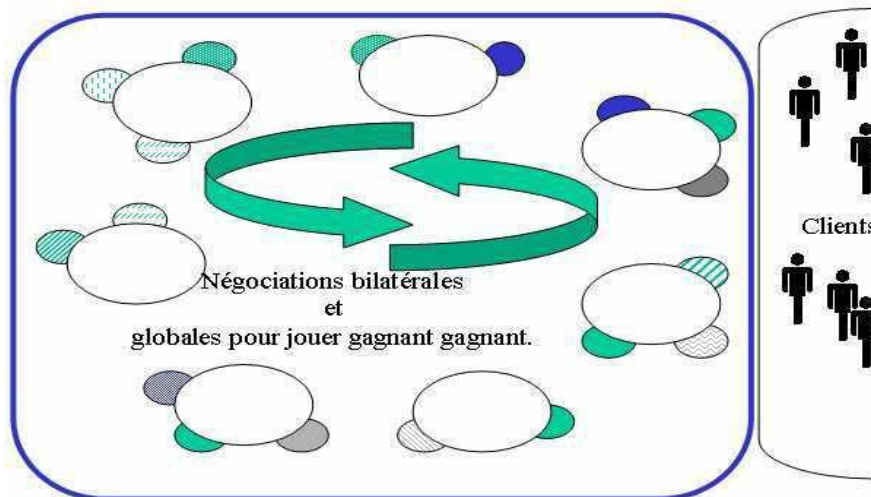


Figure 1-6 : entreprise virtuelle. Source (Portmann, 2006).

#### 1.2.4. Les fonctions de la chaîne logistique :

La définition suivante de la chaîne logistique donne un aperçu des fonctions de la chaîne logistique : « une chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assurent les tâches d’approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients ». [Ouzizi .2005] Plus généralement, les fonctions d’une chaîne logistique vont de l’achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

##### 1.2.4.1. Le processus Approvisionnement :

Le processus Approvisionnement se concentre sur la fourniture de tous les composants nécessaires à la fabrication. Deux grandes phases sont ici à distinguer. La première phase consiste à sélectionner les fournisseurs de l’entreprise. Le choix des fournisseurs peut se faire sur différents critères comme la qualité, le prix, les délais de réapprovisionnement des matières premières ou composants, mais aussi leur capacité de production, leur facilité à accepter une demande très variable, leur possibilité de faire évoluer techniquement les composants... Il est possible de sélectionner un fournisseur unique par produit ou, au contraire, des sources multiples qui se partagent la demande, en minimisant ainsi le risque de rupture de livraison.

Les fournisseurs étant déterminés, la seconde phase du processus Approvisionnement consiste à passer les commandes des composants à ces fournisseurs en fonction de la production à réaliser. Il s’agit aussi de vérifier que ces composants sont livrés dans de bonnes conditions, c’est-à-dire de vérifier que la livraison comporte les bons composants, de qualité requise, en quantité conforme et au bon moment.

Le processus Approvisionnement regroupe ainsi toutes les relations avec les fournisseurs pour assurer les niveaux de stocks en composants nécessaires et suffisants pour la fabrication. [Harmon.1992]

#### 1.2.4.2. Le processus Production

Le processus Production concerne l'ensemble des transformations que vont subir les composants pour réaliser les produits finis de l'entreprise. L'objectif du processus Production est de fabriquer les produits requis tout en assurant la productivité du système (notamment par un taux élevé d'utilisation des ressources mobilisées).

Les méthodes utilisées pour la gestion de la production cherchent à améliorer le flux des produits dans les ateliers de fabrication à travers la planification et l'ordonnancement, la détermination de la taille optimale des lots de production, la détermination des séries économiques. Des approches multi-niveaux ont été développées dans le but de réduire la complexité des problèmes d'optimisation : planification multi-niveaux. [Hugos .2003] La principale difficulté dans l'exercice de la planification est la gestion de l'incertitude des informations Les données utilisées, telles que les plans de demandes, sont en effet issus de modèles de prévisions hypothétiques. De ce fait, la disponibilité des produits et des ressources de production en situation réelle, et par suite, le niveau de service n'est pas toujours « au rendez-vous ».

#### 1.2.4.3. Le processus Distribution :

Le processus Distribution concerne la livraison des produits finis aux clients et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution : l'organisation et le choix des moyens de transport, le choix du nombre d'étages (ou d'intermédiaires) dans le réseau de distribution ainsi que le positionnement des entrepôts et leur mode de gestion. Par exemple, les produits peuvent être acheminés en nombre par train et regroupés dans un entrepôt pour être livrés ensuite par camion aux clients d'une même zone géographique, en vue du meilleur compromis entre qualité de service et coût économique. [Zerouk, Mouloua .2007]

#### 1.2.4.4. Le processus Vente :

Le processus Vente, mis en œuvre par le service commercial, développe les relations envers le client (négociation des prix et des délais, enregistrement des commandes, ...) et par extension, recherche une meilleure connaissance du marché. Ce processus de l'entreprise est également chargé de définir la demande prévisionnelle et d'intégrer des aspects commerciaux comme la durée de vie du produit pour anticiper l'évolution de ses ventes. Les aspects marketing (analyse de marché, publicité, promotions, ...) sont aussi gérés dans ce processus. [Huang et al.2003]

#### 1.2.4.5. Interactions entre les processus et autres « services » :

Les quatre processus-clés de l'entreprise doivent interagir afin de prendre des décisions cohérentes sur l'ensemble de l'entreprise. Par exemple, le processus Vente communique régulièrement le carnet de demandes des clients au processus Approvisionnement pour que celui-ci prépare les achats de composants. Les processus Production et Distribution suivent les niveaux de stocks (composants, en-cours) dans les différents entrepôts et renseignent le processus Approvisionnement... Les processus Approvisionnement, Production et Distribution doivent aussi se coordonner pour la régulation des stocks et notamment pour la détermination de stocks de sécurité qui permettent de faire face aux aléas de la production (panne, production de mauvaise qualité,) et à l'incertitude de la demande (prévisions).

En 2001, il on met en avant l'importance de la gestion des stocks dans une entreprise (et même dans la chaîne logistique) en se focalisant sur les gains que l'on peut espérer en améliorant les processus de gestion des stocks par un meilleur système d'information qui prend en compte leur localisation et leur état (en attente, en-cours de fabrication ou fabriqué, dans une perspective de suivi d'activité) ou par une meilleure prévision de la demande client. Il faut aussi assurer le réajustement périodique des production en fonction du suivi de la demande et de la production réelle : des calculs réguliers ou périodiques correspondent à une planification à horizon glissant. Par contre, dans la planification orientée événements, les plans ne sont pas faits dans des intervalles de temps réguliers, mais plutôt lors d'un événement important tel que la panne d'une machine ou des événements importants dans les commandes des clients. Une telle procédure demande une mise à jour continue des données nécessaires à la planification (stocks, en-cours,), afin que celles-ci soient disponibles lorsqu'un événement survient.

D'autres services annexes sont également nécessaire dans les entreprises : service des ressources humaines, service comptabilité, service conception ou bureau d'étude pour l'amélioration des produits ou l'élaboration de nouveaux produits, ... sans oublier le service après-vente, pour gérer le retour des produits défectueux, leur réparation, voire leur destruction et/ou leur recyclage.

Parmi ces processus, certains sont fondamentaux pour interfacer les entreprises entre elles. A l'évidence, dans une relation client-fournisseur, le processus Vente de l'entreprise

Fournisseur » est en relation directe avec le processus Achat de l'entreprise « client ». Et c'est justement ce lien, certes ancestral dans l'histoire de l'économie, qui, étendu à un partenariat multi-entreprises, est à l'origine de la notion de Chaîne Logistique. [Croom et al.2000]

### **1.3. Conception des chaînes logistiques**

La conception d'une chaîne logistique concerne généralement plusieurs phases allant de l'approvisionnement à la distribution. Pour l'activité d'approvisionnement, le décideur a besoin d'identifier les fournisseurs potentiels à choisir pour alimenter les différentes usines en matières premières, en composants et en produits semi-finis.

Pour l'activité de production, il a à déterminer les meilleures localisations de ses usines pour assurer les performances et la rentabilité des activités de production. Pour obtenir une chaîne de la distribution efficace, le décideur doit déterminer le nombre et la localisation de ses différents centres de distribution. Une fois le choix des différents fournisseurs, usines et centres de distribution établie, il est indispensable de trouver la meilleure structure de connexion reliant ces sites. Ainsi, le décideur détermine les différentes connexions et moyens de transport (camion, train, avion et bateau) à utiliser pour assurer la connectivité des différents sites. Cette conception sera faite dans le respect des contraintes économiques, sociales et environnementales tout en minimisant les coûts, maximisant la satisfaction des clients, avec un minimum l'impact sur l'environnement (consommation du fuel lors du transport par exemple), etc.

L'objectif principal lors de la conception des chaînes logistiques est d'optimiser les investissements engagés pour les différents sites, de minimiser les coûts opérationnels de

l'ensemble des activités de la chaîne et de maximiser la satisfaction des clients finaux, sous des contraintes économiques, sociales et environnementales.

La conception d'une chaîne logistique nécessite la prise en compte d'un ensemble de décisions à travers les différents horizons de temps (court, moyen et long terme). Ces décisions peuvent être regroupées en trois niveaux : les décisions stratégiques, les décisions tactiques et les décisions opérationnelles

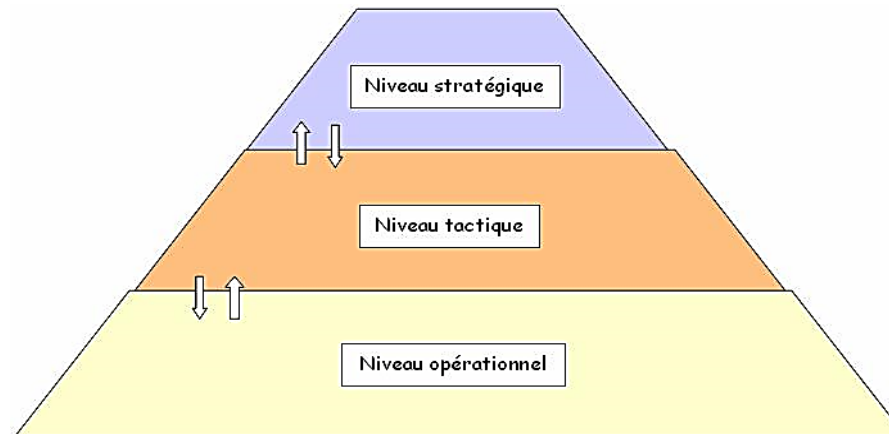


Figure 1-7 :pyramide des niveaux de décisions.

### 1.3.1. Niveau stratégique

Ce niveau, aussi appelé Stratégique Management par [Thomas, Griffin.1996] ou encore Strategic Planning par [Rohde et al.2000], regroupe toutes les décisions stratégiques. Ces décisions sont des directives et des lignes d'actions sur le long terme (de 6 mois à plusieurs années), comme, par exemple, la recherche de nouveaux partenaires industriels, la sélection des fournisseurs et sous-traitants, mais aussi les décisions d'implantation ou de délocalisation de zones d'intervention dans le cas de la logistique militaire, l'affectation d'une nouvelle zone d'approvisionnement à un centre de distribution (entrepôt), le développement d'un nouveau produit, la configuration de la chaîne logistique, son mode de fonctionnement, ainsi que les objectifs financiers à atteindre .

### 1.3.2. Niveau tactique

Le niveau décisionnel tactique s'intéresse aux décisions à moyen terme (de quelques semaines à quelques mois) qui devront être exécutées pour déployer la stratégie décidée par l'entreprise. Ces décisions portent sur les problèmes liés à la gestion des ressources de l'entreprise, en particulier la planification des activités en tenant compte des ressources disponibles sur un horizon fixé.

### 1.3.3. Niveau opérationnel

En ce qui concerne le niveau opérationnel, ou Opérationnel Planning selon [kaddoussi .2012], les décisions ont une portée plus limitée dans l'espace et dans le temps (décisions sur la

journée ou sur la semaine). A ce niveau, les décisions tactiques génèrent un plan détaillé de production ou d’ordonnancement, applicable au niveau d’un atelier ou d’une zone logistique.

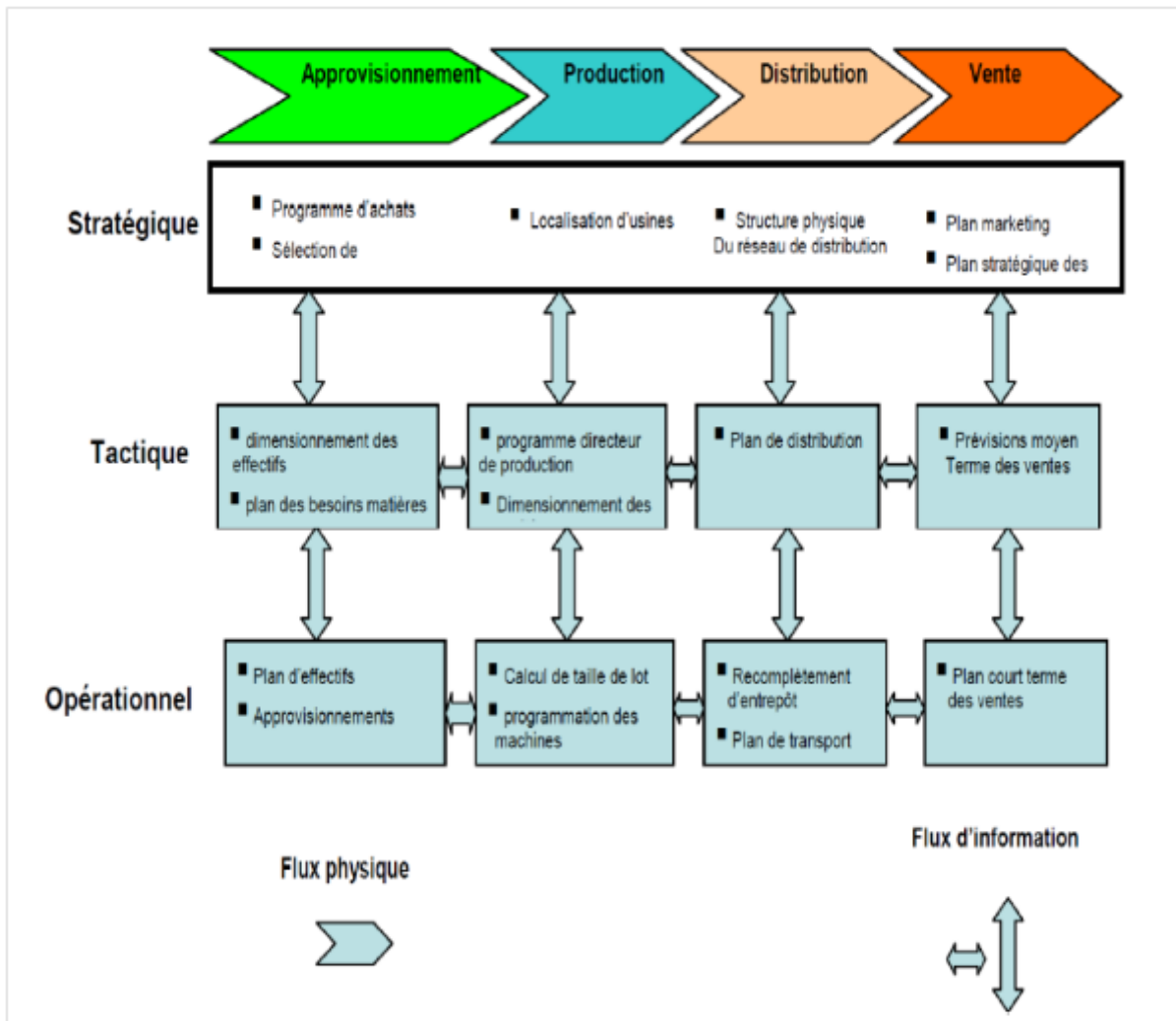


Figure 1-8 :Les différents fonctions et niveaux de décisions dans une chaîne logistique

## 1.4. Les flux de la chaîne logistique

Nous détaillons ici les trois flux traversant une chaîne logistique : flux d’information, physique et financier. Ces trois flux peuvent découler des règles stipulées dans le contrat de partenariat. En effet, des contrats définissent les relations entre chaque entreprise de la chaîne logistique, prévoyant notamment des pénalités en cas de retard de livraison d’un fournisseur ou de rupture de stock, déterminant qui gère le transport et les stocks entre deux « maillons » de la chaîne.

### 1.4.1. Le flux d’information :

Le flux d’information représente l’ensemble des transferts ou échanges de données entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Il s’agit en premier lieu des informations commerciales, notamment les commandes passées entre clients et fournisseurs. Une commande comprend généralement la référence du produit, la quantité commandée, la date de livraison souhaitée et le prix éventuellement négocié lors de la vente. D’autres éléments peuvent s’ajouter à cette liste : la liste des options désirées pour le produit, la fréquence de livraison si besoin, ... Mais les entreprises s’échangent aussi des informations plus techniques : paramètres physiques



du produit, gammes opératoires, capacités de production et éventuellement de transport, informations de suivi des niveaux de stock. Ces dernières sont de plus en plus réclamées par les clients qui souhaitent connaître l'état d'avancement de fabrication de leur produit. De manière plus générale, le principe de traçabilité se traduit par un droit de regard accru du client envers le fournisseur [Ganeshan et al.1995].

Le flux d'information est de plus en plus rapide grâce aux progrès des TIC. Le développement des flux d'information au sein de la chaîne logistique trouve ses limites dans le besoin de confidentialité entre acteurs. Par ailleurs, le problème de la qualité des données véhiculées subsiste, et le risque existe que des décisions soient basées sur des données erronées ou simplement périmées.

#### **1.4.2. Le flux physique :**

Le flux physique est constitué par le mouvement des marchandises transportées et transformées depuis les matières premières jusqu'aux produits finis en passant par les divers stades de produits semi-finis. Il justifie l'organisation d'un réseau logistique, c'est-à-dire les différents sites avec leurs ressources de production, les moyens de transports pour relier ces sites et les espaces de stockage nécessaires pour pallier les aléas et faire tampon entre deux activités successives. En bref, l'écoulement du flux physique résulte de la mise en œuvre des diverses activités de manutention et de transformation des produits quel que soit leur état.

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

#### **1.4.3. Le flux financier :**

Le flux financier concerne toute la gestion pécuniaire des entreprises : ventes des produits, Achats de composants ou de matières premières, mais aussi des outils de production, de divers équipements, de la location d'entrepôts, ... et bien sûr du salaire des employés. Le flux financier est généralement géré de façon centralisé dans l'entreprise dans le service financier ou comptabilité, en liaison toutefois avec la fonction production par les services achats et le service commercial. Sur le long terme, il correspond aussi aux investissements lourds tels que la construction de nouveaux bâtiments et de lignes de fabrication. Encore s'agit-il d'échanges avec des organismes bancaires extérieurs au réseau d'entreprises.

### **1.5. Les méthodes de résolution de problème de transport :**

Dans le transport on trouve beaucoup de problème et chaque problème besoin une méthode pour les résoudre, parmi ces méthodes on trouve les heuristiques, les méta-heuristique, les MCDM...

#### **1.5.1. Heuristiques**

Une heuristique est une technique qui améliore l'efficacité d'un processus de recherche, en sacrifiant éventuellement l'exactitude ou l'optimalité de la solution. Pour des problèmes d'optimisation (NP-complets) où la recherche d'une solution exacte (optimale) est difficile (coût exponentiel), on peut se contenter d'une solution satisfaisante donnée par une heuristique avec un coût plus faible.

Certaines heuristiques sont polyvalentes (elles donnent d'assez bons résultats pour une large gamme de problèmes) alors que d'autres sont spécifiques à chaque type de problème [Thomas, Griffin.1989].

### 1.5.2. Méta-heuristique :

Les méta-heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essais particuliers). [Austin .2006]

#### 1.5.2.1. La Méthode de Recuit Simulé :

Cette méthode a été inspirée du processus physique du recuit utilisé en métallurgie. Ce processus consiste en une suite de cycles de refroidissement lent pour obtenir un matériau homogène et de très bonne qualité. En effet, il alterne des cycles de refroidissement lent et de réchauffage (recuit) qui tend à minimiser l'énergie du matériau. Cette méthode s'appuie sur l'algorithme de Métropolies qui permet de décrire l'évolution d'un système thermodynamique. Par analogie avec le processus physique, la fonction  $f(x)$  à minimiser deviendra l'énergie  $E$  du système où  $x$  est un état donné de la matière. Un paramètre fictif est également introduit : la température  $T$  du système. Partant d'une solution donnée nous générons une solution voisine en utilisant une transformation qui change  $x$  en  $x'$ . Si celle-ci améliore le critère que l'on cherche à optimiser, c'est-à-dire :  $Df=f(x') - f(x) < 0$  on dit alors qu'on a fait baisser l'énergie du système, sinon elle la dégrade. En acceptant une solution améliorant le critère, nous tendons ainsi à chercher l'optimum dans le voisinage de la solution de départ, alors que l'acceptation d'une solution moins bonne, c'est-à-dire  $Df=f(x') - f(x) \geq 0$  permet alors d'explorer une plus grande partie de l'espace de solutions et tend à éviter de s'enfermer trop vite dans la recherche d'un optimum local. La solution voisine  $x'$  est acceptée avec une probabilité  $p$ . Si  $x'$  n'est pas meilleur que  $x$  alors  $x'$  est accepté avec une probabilité  $\exp[Df/T]$ . [Olivier.2001]

#### 1.5.2.2. La Méthode de recherche Tabou :

La recherche Tabou est une méta-heuristique développée par Glover. Elle est basée sur des idées simples, mais elle est néanmoins très efficace. Elle combine une procédure de recherche locale avec un certain nombre de règles et de mécanismes pour surmonter l'obstacle des optima locaux. Elle a été appliquée avec succès pour résoudre de nombreux problèmes difficiles d'optimisation combinatoire. Dans une première phase, la méthode de recherche Tabou peut être vue comme une généralisation des méthodes d'amélioration locale. En effet, en partant d'une solution quelconque  $x$  appartenant à l'ensemble de solutions  $X$ , nous nous dirigeons vers une solution  $x'$  appartenant au voisinage  $V(x)$  de  $x$ . L'algorithme explore donc itérativement l'espace de solutions  $X$ . Afin de choisir le meilleur voisin  $x'$  l'algorithme évalue la fonction-objectif  $F$  en chaque point  $x'$  et retient le voisin qui améliore la valeur de  $F$ , ou celui qui la dégrade le moins [Fred .1993].

#### 1.5.2.3. Les Algorithmes Génétiques (AGs) :

Les algorithmes génétiques (AGs) ont été introduits par Holland comme un modèle de méthode adaptative. Ils ont été efficacement utilisés pour résoudre plusieurs problèmes d'optimisation multicritère.

L'algorithme génétique est une technique d'optimisation basée sur les concepts de la sélection naturelle de Darwin et la procréation selon les règles de Mendel. La sélection naturelle que Darwin appelle l'élément "propulseur" de l'évolution, favorise les individus

d'une population qui sont les mieux adaptés à un environnement. Pour évaluer les individus d'une population on

utilise une fonction d'évaluation cette fonction est souvent une transformation de la fonction-objectif, appelé aussi la fonction fitness, le résultat fourni par cette fonction va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante. La sélection est suivie de la procréation, réalisée à l'aide de croisements et de mutations au niveau du patrimoine génétique des individus (ou "génotype") constitué d'un ensemble de gènes. Ainsi, deux individus "parents", qui se croisent transmettent une partie de leur patrimoine génétique à leurs descendants. Le génotype de l'enfant fait que celui-ci est plus ou moins adapté à l'environnement. S'il est bien adapté, il a une plus grande chance de procréer dans la génération future. Au fur et à mesure des générations, on sélectionne les individus les mieux adaptés, et l'augmentation du nombre de ces individus fait évoluer la population entière.

Dans les algorithmes génétiques, nous simulons le processus d'évolution d'une population. On part d'une population initiale de  $N$  solutions du problème représentées par des individus judicieusement choisis. Le degré d'adaptation d'un individu à l'environnement est exprimé par la valeur de la fonction coût  $f(x)$ , où  $x$  est la solution que l'individu représente. On dit qu'un individu est d'autant mieux adapté à son environnement, que le coût de la solution qu'il représente est plus faible ou plus important selon le(s) critère(s) d'optimisation choisi(s). Au sein de cette population, intervient alors la sélection au hasard d'un ou deux parents, qui produisent une nouvelle solution, à travers les opérateurs génétiques, tels que le croisement et la mutation. La nouvelle population, obtenue par le choix de  $N$  individus parmi les populations (parents et enfants), est appelée génération suivante. En itérant ce processus, on produit une population plus riche en individus mieux adaptés. [Quan.2003].

### **1.5.3. Les méthodes d'aide à la décision multicritère(MCDM) :**

Les méthodes de programmation mathématique permettent de traiter un problème de sélection avec contraintes, en d'autres termes, un problème de sélection où les solutions ne sont pas connues a priori. La méthode de choix de la meilleure solution est conditionnée par la façon avec laquelle le décideur exprime ses préférences : par exemple le décideur peut être indifférent vis à vis de deux solutions si la différence de leur coût est faible. la théorie de la décision, cette étape du traitement du problème est appelée étape de modélisation des préférences. Nous la considérons comme un des points clés qui distingue les méthodes d'agrégation élémentaires et d'optimisation mathématique multi-objectifs des méthodes d'aide à la décision multicritère.

### **1.6. L'état de l'art :**

De nos jours, le problème de transport de marchandises occupe une place importante dans la vie économique des sociétés modernes.

Avec les contraintes temporelles et économiques qu'implique ce problème, sa résolution devient très difficile, nécessitant l'utilisation d'outils issus de disciplines différentes (productique, informatique, optimisation combinatoire, etc.). En effet, les processus issus des systèmes de transports et de l'ordonnancement sont de plus en plus complexes, par leurs dimensions

importantes, par la nature de leurs relations dynamiques, et par la multiplicité des contraintes auxquelles ils sont soumis.

ACVRP	A symmetric Capacitated Vehicle Routing Problem Problème Asymétrique de Tournées de Véhicules avec Capacités
BRP	Bus Routing Problem Problème de tournées de bus
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem Problème de Tournées de Véhicules avec Capacité
DARP	Dial-a-Ride Problem Problème de transport à la demande
MDVRP	Multi Depots Vehicle Routing Problem Problème de tournées de véhicules à dépôts multiples
MDVRPTW	Multi Depots Vehicle Routing Problem with Time Windows Problème de tournées de véhicules à dépôts multiples et Fenêtres de Temps
OVRP	Open Vehicle Routing Problem Problème de Tournées de Véhicules Ouvert
PDVRP	Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem Problème de Livraison-Collecte
MPDPTW	Multiple Pickup and Delivery Problem with Time Windows Problème avec Fenêtres de temps et livraisons-collectes multiples
SBRP	School Bus Routing Problem Problème du Ramassage Scolaire
SCVRP	Symmetric Capacitated Vehicle Routing Problem Problème Symétrique de Tournées de Véhicules avec Capacités
STSP	Selective Traveling Salesman Problem Problème du Voyageur de Commerce Sélectif
SVRP	Selective Vehicle Routing Problem Problème de Tournées de Véhicules Sélectives

SP	Scheduling Problem Problème d'ordonnancement
TSP	Traveling Salesman Problem Problème du Voyageur de Commerce
VRP	Vehicle Routing Problem Problème de Tournées de Véhicules
VRPBTW	Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows Problème de Tournées de Véhicules avec Backhauls et Fenêtres de Temps
VRPDC	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands and Customers Problème de Tournées de Véhicules avec Demandes et Clients Stochastiques
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtres de Temps

Tableau 1.1 : Différentes extensions du VRP

Les problèmes de tournées de véhicules sont très étudiés à cause de l'importance croissante du transport de passagers et de marchandises aujourd'hui. Le problème de ce type le plus simple et le plus connu est le Problème de Voyageur de Commerce (Traveling Sales man Problem, TSP). Il consiste à déterminer une tournée acheminée par un véhicule, de manière à servir à coût minimal un ensemble de clients répartis dans un réseau. Ce modèle de base peut être enrichi par diverses contraintes relatives au nombre de véhicules, à leurs charges, ou à des contraintes relatives aux nœuds, à leurs fenêtres temporelles, ou à des dépendances entre eux.

Plusieurs recherches se sont principalement orientées vers la résolution du problème de tournées de véhicules VRP (Vehicle Routing Problem). Ce dernier s'agit d'un problème d'optimisation de tournées de véhicules devant satisfaire des demandes de transport.

Ces problèmes de tournées de véhicules sont en général sujets à plusieurs types de contraintes.

Le problème général de construction de tournées de véhicules est connu sous le nom de *Vehicle Routing Problem*(VRP) et représente un problème d'optimisation combinatoire multi-objectifs qui a fait l'objet de nombreux travaux et de nombreuses variantes dans la littérature. Il appartient à la catégorie NP-difficile. [Christofides.1979] [Lenstra. 1981] [Savelsbergh. M.P.W et al, 1995].

Pickup and Delivery Problem with Time Windows de problème se divise en deux catégories : le 1-PDPTW (avec un seul véhicule) et le m-PDPTW (à plusieurs véhicules).

Le 1-PDP sans et avec fenêtres de temps a été développée par H.N. Psaraftis [Psaraftis, 1980] en considérant comme fonction-objectif la minimisation d'une pondération de la durée totale de la tournée et de la non-satisfaction des clients.

Dans [Sol, 1994], les auteurs proposent une méthode robuste d'optimisation de tournées, en zone rurale peu dense (Pays du Doubs Central, Franche-Comté) pour la résolution du problème de transports à la demande (TAD). Et ce en précisant les fonctionnalités du service définies par et pour les collectivités et le formalisme mathématique qui en découle.

Jih et al. [Jih et al. 1999] ont développé une approche basée sur les algorithmes génétiques hybrides pour résoudre le 1-PDPTW, ayant pour objectif de minimiser une combinaison du coût total et de la somme des temps d'attente. L'algorithme développé utilise quatre différents opérateurs de croisement ainsi que trois opérateurs de mutation.

Dans d'autres travaux, un algorithme génétique a été développé par Velasco et al. [Velasco et al, 2006] pour résoudre le 1-PDP bi-objectif dans lequel la durée totale des tournées doit être minimisée tout en satisfaisant en priorité les demandes les plus urgentes. Dans cet article, la méthode proposée, pour résoudre ce problème est inspirée d'un algorithme appelé Non dominated Sorting Algorithm (NSGA-II).

D'autres travaux traitent le 1-PDPTW, en minimisant le compromis entre la distance totale parcourue, le temps total d'attente et le retard total et ce en utilisant un algorithme évolutionniste avec des opérateurs génétiques spéciaux, la recherche Tabou et la Pareto optimalité pour fournir un ensemble de solutions viables. [Kammarti, 2008]

Ces travaux ont été étendus, et ceci en proposant une nouvelle approche basée sur l'utilisation de bornes inférieures pour l'évaluation des solutions et de leur qualité, minimisant le compromis entre la distance totale parcourue et la somme des retards. [Kammarti. 2009].

Kammarti [Kammarti. 2010] a aussi développé une nouvelle approche pour la résolution du 1-PDPTW, utilisant des algorithmes évolutionnistes avec des opérateurs génétiques spéciaux afin de réduire le temps de calcul, et la méthode de Pareto dominance pour fournir un ensemble de solutions possibles et satisfaisantes, minimisant le compromis entre la distance totale parcourue et la somme des retards.

[Jih et al.1999] proposent une approche hybride, basée sur les algorithmes génétiques et la programmation dynamique, pour la résolution du 1-PDPTW dynamique. Cette approche utilise d'abord la programmation dynamique pour générer la route optimale. Si la solution optimale n'est pas trouvée dans un délai précis, ils appliquent les algorithmes génétiques sur les routes partiellement construites.

Sol [Sol, 1994] a proposé un algorithme de *Branch and Price* pour résoudre le m-PDPTW et ce en minimisant le nombre de véhicules nécessaires pour satisfaire toutes les demandes de transport et la distance totale parcourue.

Jaw [Jaw, 1986] présente un algorithme d'insertion séquentielle avec comme fonction-objectif une pondération des coûts et de la non-satisfaction des clients pour résoudre le m-PDP multi-objectifs.

Jung [Jung, 2000] a développé un algorithme génétique qui résout le m-PDPTW dans lequel un véhicule fait une seule tournée et les fenêtres de temps ne sont pas respectées impérativement.

La fonction-objectif est une pondération du coût et des pénalisations causées par la satisfaction d'une demande de transport en dehors de sa fenêtre de temps.

Quan et al. [Quan et al. 2003] ont arboré une heuristique de construction basée sur le principe d'insertion ayant pour fonction-objectif, la minimisation du coût total, incluant les coûts fixes des véhicules et les frais de déplacement qui sont proportionnels à la distance de déplacement.

Une nouvelle méta-heuristique se basant sur un algorithme de recherche tabou intégré dans un recuit simulé, a été développée par Li et Lim [Li, Lim. 2001] pour résoudre le m-PDPTW, ceci en recherchant, à partir de la meilleure solution courante s'il y a amélioration pendant plusieurs itérations. La fonction-objectif est une pondération du nombre de véhicules, de la distance totale parcourue, du temps total et du temps d'attente.

D'autres travaux ont aussi utilisé la recherche Tabou pour la résolution du m-PDPTW, ayant pour objectif de maximiser le nombre de demandes affectées aux véhicules et de réduire le coût total du voyage. [Gilbert.1998]. Li et Lim [Li, Lim, 2002] ont développé une méthode appelée « *Squeaky wheel* » pour résoudre le m-PDPTW avec une recherche locale. Dans ce travail les auteurs cherchent à minimiser la taille de la flotte de véhicules, la distance parcourue, la durée totale et les temps d'attente.

[Brown. 1981] a développé une méthode en vue de la résolution d'un problème de minimisation des coûts de transport de produits pétroliers des terminaux de stockage vers les clients. Chaque commande correspondant à la charge d'un véhicule rempli, les routes construites ne sont constituées que d'un seul client. Les auteurs ont proposé, d'une part, une approche exacte, la programmation linéaire en nombres entiers, d'autre part, une approche reposant sur une heuristique qui résout des sous-problèmes d'affectation des commandes aux véhicules en tenant compte des contraintes (incompatibilité produits, flotte hétérogène, ...).

[Brown, 1987] a étudié le même problème tout en considérant que, sur une route, plusieurs clients peuvent être visités. La distribution est planifiée en quatre phases : déterminer depuis quel terminal chaque commande doit être livrée, affecter chaque commande à un véhicule, ajuster les quantités à livrer aux capacités des véhicules et construire les routes.

Boktor et al. [Boktor et al. 1995] ont résolu un problème de distribution de produits pétroliers. Ils ont proposé une approche hiérarchique en vue d'optimiser l'infrastructure de distribution entre des dépôts et des stations-services. Le problème global est décomposé en trois sous-problèmes de localisation (ouverture et fermeture de dépôts), affectation (associer les stations aux dépôts) et de tournées de véhicule (planification des livraisons et construction des routes). Les problèmes sont résolus de manière séquentielle. Après avoir appliqué une relaxation lagrangienne, une heuristique basée sur la méthode d'insertion de Hertz [Hertz A.1992] a été utilisée pour résoudre le problème de construction de routes.

Avella et al. [Avella et al. 2004] ont considéré un problème de MC-VRP multi-périodique. Lors du chargement des camions, une contrainte exige que chaque compartiment soit entièrement rempli ou vide. Après avoir modélisé le problème comme un problème de partitionnement.

Cornillier et al. [Cornillier et al.2008] ont étudié un problème où il s'agit de livrer des produits pétroliers transportés par une flotte hétérogène de camions citernes compartimentés. Sur une période donnée, un problème d'affectation des produits aux compartiments et un problème de tournées de véhicules ont été résolus. Une approche exacte a été développée par les auteurs. La

partie affectation a été résolue au moyen d'un algorithme d'affectation dans un graphe biparti. Le problème de routage a été résolu à l'aide d'une approche de couplage de coût minimal dans un graphe non biparti.

Mendoza et al. [Mendoza et al.2010] se sont penchés sur un problème d'approvisionnements de boutiques. L'objectif consiste à minimiser les coûts de distribution et de réfrigération des produits. La flotte est composée de véhicules compartimentés où les produits transportés sont conditionnés à différents niveaux de température (ambiant, frais, froid). Avec une approche de résolution exacte basée sur une relaxation lagrangienne, les auteurs ont cherché à déterminer la conjugaison des compartiments permettant d'optimiser les coûts.

Dans le secteur de la nutrition animale, Wagner et al [Wagner et al.2000] ont développé une approche exacte en deux phases. Durant la première phase, une énumération implicite est utilisée pour générer un ensemble des routes faisables et de bonne qualité. Ensuite, une méthode exacte est proposée en vue de sélectionner un sous-ensemble optimal de tournées.

El Fallahi et al. [El Fallahi et al. 2008] ont étudié un problème de livraisons dans le contexte de l'agro-alimentaire. Il s'agit de livrer de l'aliment destiné au bétail au moyen de camions citernes. Des règles d'hygiène et de sécurité alimentaires imposent de séparer les familles de produits entre elles (contraintes d'incompatibilité). Considérant que chaque famille de produits ne peut être chargée que dans un seul compartiment, les auteurs ont développé un « tabu search » et un algorithme génétique pour résoudre le problème. La particularité du problème étudié est que les différentes familles de produits demandées par un client peuvent être apportées par plusieurs véhicules. Par contre, comme d'habitude, les livraisons fractionnées d'une même famille sont interdites.

Dans un contexte stochastique, Mendoza et al. [Mendoza et al.2010] ont proposé deux approches basées sur l'algorithme génétique. La première approche n'intègre pas directement la nature stochastique du problème mais recourt à une stratégie de capacité résiduelle des compartiments pour parer aux satisfactions des demandes. D'autre part, la seconde approche intègre de manière explicite la nature stochastique de la demande dans le processus de construction de route. Leurs expériences ont montré que la seconde approche garantit des solutions de meilleure qualité tandis que la première approche permet de réduire les temps de calculs.

Cadet [Cadet, 2013] il a étudié le problème de tourné de véhicule avec compartiment MC-PRP dans son travail il a traité le problème d'affectation de chaque produit à un seul compartiment.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les problèmes de transport de carburant dans l'Algérie comme celui de Belghanami [Belghanami ,2008] qui présente un problème politique pure dont le but consiste à trouver une politique de distribution des produits hydrocarbure en Algérie pour une amélioration de qualité de service.

D'autre personne ont travaillé sur ce domaine comme BenYahia et Kizi [BenYahia et Kizi, 2016] sur la gestion de transport du carburant cas de Naftal Béjaia ils ont basé de savoir comment l'entreprise Naftal gère le transport des carburant.



## **1.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, le concept de la logistique a été abordé. Ensuite, les différentes définitions de la logistique et la chaîne logistique ont été brièvement présentées. En outre, afin de comprendre la structure d'un réseau logistique, la conception d'une chaîne logistique a été détaillée. Après, les flux qui constituent la chaîne logistique ont été illustrés. Enfin, on a présenté quelque méthode de résolution de problème du transport puis on a fini par un état de l'art qui cite les travaux dans ce domaine et les travaux de problème du transport.

# Chapitre 2 : Présentation de l'entreprise NAFTAL

## 2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la société de NAFTAL district carburant de REMCHI, puis l'étude de cas qui consiste à transporter les carburants de centre de REMCHI vers la clientèle on a commencé par un brève historique sur NAFTAL suivi par les responsabilités et tâches d'entreprise NAFTAL et sa organisation basant sur les services et les départements existant on a mentionné aussi les moyens de cette entreprise et les produits commercialisé et mise à la disponibilité client on a fini par décrire la politique de société commencent de la réception des commandes passent par le dispatching et fini par la facturation on a fermé ce chapitre par notre problématique .

## 2.2. Historique de NAFTAL :

Issue de SONATRACH (Société National pour la recherche, Transport, production, transformation, la commercialisation des hydrocarbures), l'entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétroliers(ERDP) a été créé par le décret N°80-101 datant du 06 Avril 1980. Entrée en activité le 01er Janvier 1982, elle fut chargée de l'industrie de raffinage et de la distribution de produits pétroliers. Le 04 Mars 1985, les districts suivants carburants, lubrifiants, pneumatiques et bitumes ont été regroupés sous le nom UND (Unité NAFTAL de Distribution).

Durant l'année 1987, l'activité de raffinage est séparée de la distribution, conformément au Décret N°87-18 9 du 25 Aout 1987. Modifiant ainsi le décret N°80-101 du 06 Avril 1980, donnant naissance à une nouvelle entreprise nationale dénommée : « Entreprise nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers » Sous le sigle de « NAFTAL ».

Dès l'année 1998, elle change de statut et devient une société par action SPA et filiale SONATRACH a100%, elle interviendra par la suite dans les domaines suivants :

- Dans l'enfûtage GPL.
- Dans la formulation des bitumes.
- Dans la distribution, stockage et commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, bitumes, pneumatiques, GPL/produits spéciaux.
- Dans le transport des produits pétroliers.

Le 01<sup>er</sup> Janvier 2000, l'activité GPL enfutage est séparée de l'activité CLP. Par décision N°S554 du 29 mars 2000, il a été procédé à l'organisation générale de la division CLP et l'identification des zones de distribution «CLP » (Carburants Lubrifiants et Pneumatiques). Par décision N°555 du 29 Mars 2000, il a été procédé à la création des zones de distribution CLP. Par

décision N°S606 du 10 Février 2001, il a été procédé à l'organisation et la classification des centres Bitumes de la division Bitume. Par décision N°S705 du 17 juin 2002, il a été procédé à la ré-nomination des zones de distribution CLP et GPL en District. Par décision N°S766 du 22 Décembre 2003, il a été procédé à la dissolution de la branche CLPB. Par la décision N°S770 du 03 Janvier 2004, il a été procédé à la dissolution des districts CLP et création des districts commercialisation.

A partir du 01<sup>er</sup> décembre 2006 l'activité carburant est séparée de l'activité commercialisation (L'activité carburants charge du stockage et déstockage des carburants et l'activité commercialisation s'occupe essentiellement des achats, ventes, bilan annuel, projets...etc.).

### **2.3. Principales tâches et responsabilités de NAFTAL :**

- Identifier les infrastructures, équipements et autres moyens matériels (camions, canalisation) relevant de l'activité carburants du district, les structures d'organisation (services, maintenance, installations fixes, surveillance et entretien canalisations, reconnaissance produits, etc.) et les moyens humains œuvrant pour l'activité carburants.
- Suivre les plans établis par la branche carburant pour l'approvisionnement et le ravitaillement en carburants des dépôts et communiqué régulièrement les états d'exécution aux structures concernées.
- Exécuter les programmes de la distribution établis par les districts
- Commercialisation pour la livraison de la clientèle.
- Gérer les stocks en carburants au niveau des dépôts et communiquer régulièrement des points de situation aux structures concernées de la branche.
- Suivre l'exploitation et la maintenance des infrastructures de stockage et autres moyens (camions, canalisations) carburants de la branche rattachés au district.
- NAFTAL est responsable, en liaison avec les responsables concernés des centres carburants et canalisations, de la sûreté interne des installations et des moyens.
- Gérer en liaison avec les structures de la branche, les relations avec les directions des raffineries NAFTEC, capotage et transport SNTR et tirer et les transmettre aux structures de la branche pour règlement.
- Approuver les bordereaux inter unités (BIU) émis par les districts
- Commercialisation vers le district carburant

### **2.4. Organisation de NAFTAL :**

Comme toute entreprise NAFTAL possède sa propre organisation nous illustrons les principaux services :

#### **2.4.1. Service Informations de Gestion (ING) :**

Sa mission consiste à :

- Collecter, vérifier et analyser les informations de gestion de district.
- Elaborer les tableaux de bord et rapports de l'activité du District.
- Assurer l'installation et l'exploitation et la sauvegarde des logiciels de gestion et données afférentes.

- Prêter assistance aux structures en matière d'exploitation des applications informatiques opérationnelles.

#### **2.4.2. Département AMG (administration et moyen généraux) :**

Les missions du département AMG sont :

- Assurer la gestion des moyens généraux du district
- Assurer la gestion des ressources humaines
- Assurer la gestion de l'administration
- Assurer la gestion des œuvres sociales et culturelles

#### **2.4.3. Département finance et comptabilité :**

Le département finance et comptabilité a pour mission de :

- Coordonner et suivre toutes les activités de comptabilité de trésorier, budget et patrimoine
- Consolider, analyser les états comptables et veiller à la sincérité des comptes du District
- Veiller à la concordance des écritures comptables avec les flux physiques et financiers

#### **2.4.4. Service trésorerie :**

Il est composé de deux sections, la Section recettes et la section dépense. Sa mission est de :

- Suivre et contrôler les flux, recettes et dépenses de trésorerie.
- Traiter les dossiers de paiement d'investigation, fournisseurs et autres dépenses.
- Etablir les situations de rapprochement des comptes (recettes et dépenses)
- Contrôler et effectuer les comptabilisations des comptes et grands livres de trésorerie.
- Etablir des rapports d'activités.

#### **2.4.5. Service comptabilité générale :**

Il est composé de deux sections, la Section SVCD et la Section comptabilité. Sa mission est de :

- Procéder aux écritures comptables conformément aux préconisations du plan comptable national.
- Elaborer les documents comptables (Bilans, balances et livres).
- Contrôler les arrêtés de comptes et préparer les inventaires et bilans.
- Elaborer les analyses et synthèses comptables.
- Procéder aux opérations des clôtures et réouvertures des comptes.

#### **2.4.6. Service budgets et coûts :**

Ses diverses missions sont

- Elaborer les budgets prévisionnels d'investissement et de fonctionnement du District.
- Consolider l'ensemble des charges nécessaires à la détermination du coût
- Contrôler et traiter les situations financières du District
- Procéder aux ajustements des budgets et crédits
- Assurer le suivi régulier de la comptabilité analytique

**2.4.7. Département Transport & Technique :**

Il a pour mission :

- Elaborer les plans de maintenance préventive et curative des équipements, dépôts, et canalisation et en suivre l'exécution.
- Elabore les plans annuels et pluri annuels de transport, en prenant en charge les besoins de distribution et ravitaillement des produits commercialisés.
- Suivi de la réalisation des travaux.
- Elaborer les plans et budgets d'investissement (rénovation, extension, remise à niveau, remplacement) des installations fixes, canalisation, réseau de stations- services et autres.
- Etablir un rapport d'activité périodique.

Ce département comporte les services suivants :

**2.4.7.1. Service exploitation et maintenance :**

Sa mission est de :

- Vérifier l'application des prescriptions du règlement d'exploitation, de sécurité des équipements et installation fixes.
- Etablir les performances de maintenance.
- Assurer la maintenance des installations au niveau des dépôts carburants

**2.4.7.2. Service études et réalisation :**

Sa mission est :

- D'établir la partie technique des cahiers de charges.
- De contrôler et diriger les différents travaux.
- De suivre les travaux programmés ayants traits aux projets.

**2.5. Les Moyens de l'entreprise NAFTAL :**

Avec un personnel de 31500 agents. Affectif au 31/12/2009, NAFTAL est le premier distributeur de produit pétroliers en Algérie. Elle contribue de 51% de l'énergie finale en fournissant plus de 10million de tonnes de produits pétroliers par an sous forme de :

- Carburant.
- Gaz de pétrole liquéfié.
- Bitumes.
- Lubrifiants

Pour cela NAFTAL dispose de :

- 67 centres et dépôts de distribution et stockage carburant. Lubrifiants et pneumatique.
- 55 dépôts d'avitaillement d'aéronefs, centres et point de ventes à lamer.
- 45 centres d'emballage GOL d'une capacité d'enfutage de 1.2million de tonnes/an.
- 59 dépôts relais de stockage GPL.
- 05 centres vrac GPL.
- 16 unités de formulation de bitumes de 360.000tonnes/an.

- 3500 véhicules de distribution et 1800 engins de manutention et de maintenance.
- 380 km de pipe-lines multi produits carburants et GPL.
- 1732 stations de service dont 328 en gestion directe par NAFTAL.
- 124 points de vente d'essence sans plomb.
- 268 points de vente GPL/CARBURANT.
- 14550 points de vente GPL.

La couverture des besoins du marché national en produit pétrolier s'implique des transports massifs de carburants et GPL depuis les sources de production vers les zones de consommation qui sont les districts. Pour assurer cet équilibre entre l'offre et la demande, NAFTAL met à contribution plusieurs modes de transport :

- **Cabotage pipe** : pour l'approvisionnement des entreprises à partir des raffineries.

Rail/chemin de fer : pour le ravitaillement des dépôts de l'intérieure du pays à partir des entrepôts.

- **Route** : pour la livraison des clients et le ravitaillement des dépôts non desservis par le rail.

Pour accomplir sa mission de distribution des pétroliers, NAFTAL dispose d'un parc dépassant les 3 mille véhicules de distribution constituée de :

- Tracteur routier.
- Semi-remorques plateaux.
- Semi-remorques citernes.
- Camion citernes.
- Camion plateaux.
- Camion porte palettes.

Celui permet d'assurer 70 à 75 % des livraisons clients, le reste étant assuré par les transporteurs tiers ou par les clients eux-mêmes.

Par ailleurs, NAFTAL dispose de (7) barges pour le soutrage des navires et affrète en permanence au près des entreprises publiques de transport :

- 160 citernes carburantes (SNTR).
- 960 wagons-citernes (SNTF).
- 04 caboteurs (SNTM/HYPROC).

### **2.5.1. Produits commercialisés par l'entreprise :**

#### **2.5.1.1. Carburants :**

Il existe 3 types des carburants : terre, aviation, marine.

- ✓ **Terre** : NAFTAL commercialise quatre (4) types de carburants « terre » pour la motrice essence et diesel :
  - **Essence super.**
  - **Essence normale.**
  - **Essence sans plomb.**

- **Gas-oil.** Ces produits stockés et distribués par NAFTAL sont tous issus des raffineries de NAFTEC et répondent entièrement aux normes de qualité algérienne.
- ✓ **Aviation :** Jeta1-forJosissus18 kérosène utilisé par les avions.
- ✓ **Marine :** FUEL BUNKER C-norme iso 9217 FUEL 80 (BTS), utilisée par les navires.

### 2.5.1.2. Gaz de pétrole liquéfié Nature et composition :

Les GPL désignent : gaz de pétrole liquéfié. Ce sont les mélanges de butane (4) et de propane (3). Les GPL peuvent être obtenus à partir de traitement des hydrocarbures tels que :

- Le traitement du gaz naturel ou gaz associés.
- Le raffinage du gaz naturel.
- La liquéfaction du gaz naturel.

Dans la gamme des produits GPL, NAFTAL commercialise trois (3) produits essentiels :

- Le butane commercial.
- Le propane commercial ;
- Le GPL carburant « SIRGHAZ ».

Suite à une phase d'étude d'expérimentation entamée en 1977, la décision d'introduire le GPL carburant « SIRGHAZ » est intervenue en 1983 avec l'adoption de bicarburant et de la mise en place de la réglementation liée aux conditions d'utilisation du GPL/C.

### 2.5.1.3. Lubrifiants :

A travers son réseau de distribution étendu sur le territoire national, NAFTAL commercialise une gamme complète de lubrifiants qui couvrent tous les besoins du secteur automobile et industriel. Répondant à des normes d'emballages variés, de puis la boîte de ½ litre au fut de 180 kg

Les gammes commercialisées par NAFTAL sont :

- Les huiles motrices à essence.
- Les huiles motrices à diesel.
- Les huiles motrices industrielles.
- Les graisses.
- Pneumatiques : grâce à des infrastructures de stockage et son réseau de distribution, NAFTAL commercialise des pneumatiques des grandes marques dans les catégories de véhicules les plus diverses :
  - ✓ Tourisme.
  - ✓ Camionnette.
  - ✓ Poids lourd
  - ✓ Industriel.
  - ✓ Manutention.
  - ✓ Agricole.
  - ✓ Génie civil.
  - ✓ Cycle.

2.5.1.4. Bitume :

NAFTAL commercialise à partir de ces centres quatre (4) formes de bitumes :

- Les bitumes purs 80/100 et 40/50 utilisés dans les domaines de la construction et des chaussées.
- Les bitumes oxydés 85/25 utilisés pour l'étanchéité multi couches, pour l'isole ment thermique et phonique et pour la protection des ouvrages d'art. Ils sont commercialisés en vrac et sous deux (2) formes de conditionnement, en sacs de 20kg et en futs de 200kg.
- Les bitumes fluidifié sou CUT-BACKS ; ils sont obtenu en fluidifiant les bitumes purs avec le kérosène.
- Les émulsions de bitumes sont des dispersions de bitumes pures dans une solution aqueuse.

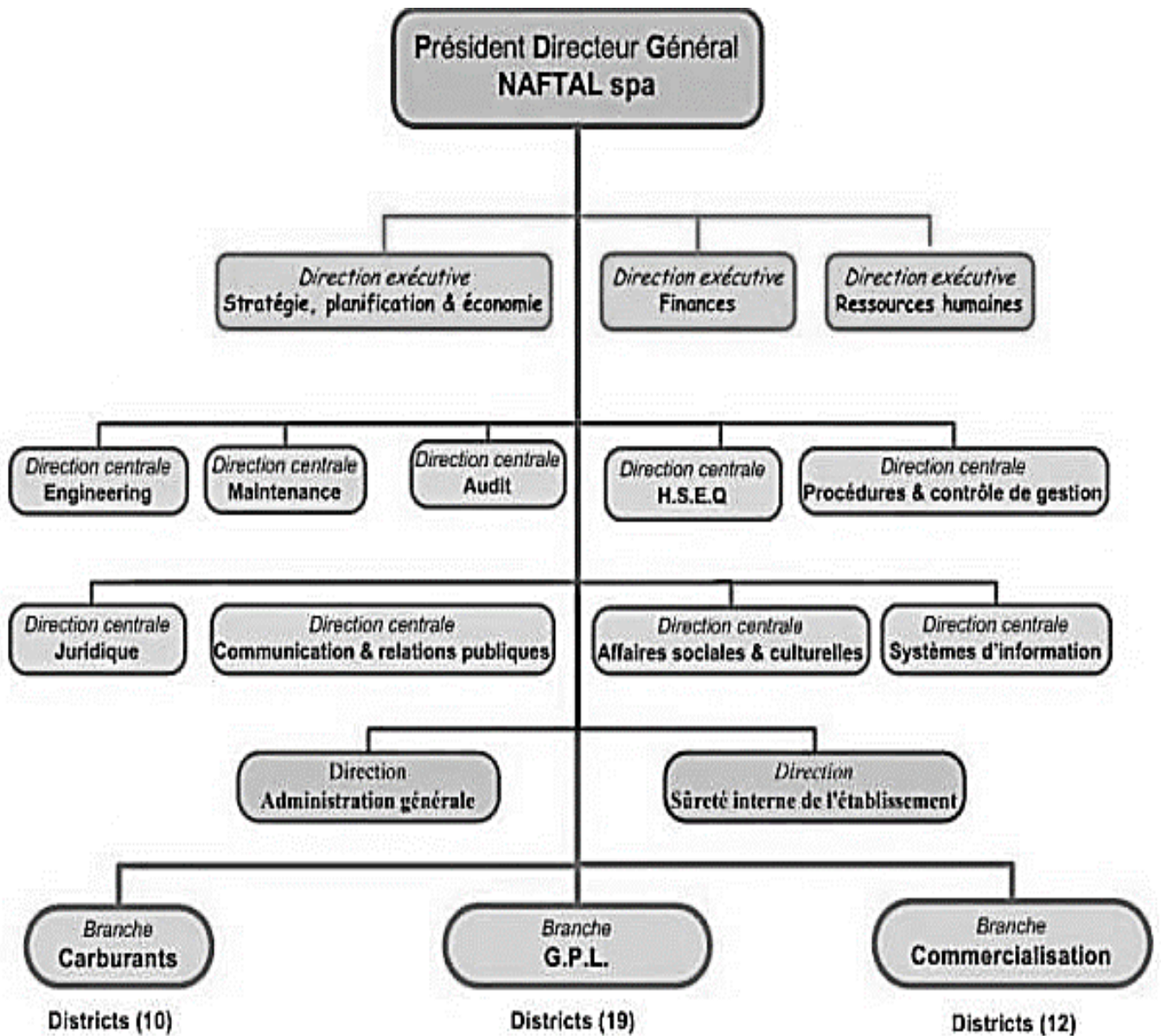


Figure 2-1 : Schéma actuel d'organisation de la société NAFTAL



## **2.6. La politique de distribution de NAFTAL :**

NAFTAL, est une entreprise de distribution et de commercialisation, des produits pétroliers, son objectif est de rapprocher ses produits à ces clients par son propre moyen ou bien par des moyens privés.

### **2.6.1. La réception de commande :**

Cette opération commence chaque jour à 8 :00h du matin et fini à 13.00h, la réception se fait par des différentes façons :

- Par téléphone.
- Par faxe.
- Par bon de commande (armé).
- Par présence des clients au sein d'entreprise.

Après la réception des commandes, elles sont enregistrées dans un formulaire FRC (formulaire réception commande). Ce formulaire contient la différente information clients (nom, prénom, code client, quantité demandé, date de commande, nom de transporteur, nom de station).

La satisfaction des commandes se fait un jour après (j+1) c à dire les clients font leur commande et les reçoit un jour après.

### **2.6.2. Le dispatching :**

Après la réception des commandes on a la partie dispatching, dans cette phase le formulaire FRC est transmis au dispatcher (la personne qui donne le plan de distribution des produits) pour élaborer un plan optimal de distribution.

Pour faire un plan optimal il faut prendre en considération les points suivants :

- La situation des stations et leur capacité.
- La disponibilité des chauffeurs et camions.
- La disponibilité des produits (la quantité dans le stock).
- Les compartiments de chaque véhicule disponible.

Le plan se fait par un logiciel de dispatching : c'est un logiciel qui donne l'affectation des camions à la station avec quel type de produit dans quel compartiment. Parfois le logiciel ne donne pas des résultats satisfaisants donc il y a une intervention humaine pour satisfaire tous les clients.

### **2.6.3. La facturation :**

Après avoir le plan de distribution, une copie de formulaire FRC est transmis au poste programmation ou ils vont établi un bon de sorti ce bon sera transmis au poste de facturation pour obtenir un bon de livraison.

Au niveau de facturation les opérations sont totalement informatisées, car elle se fait à l'aide d'un logiciel de dispatching obtenir un autre formulaire qui se compose de deux partie.

- **Partie facturation** : elle regroupe les informations qui concerne le client.
- **Partie caisse** : c'est la partie où le client peut payer sa facture.

# Problématique

La chaîne logistique étudiée dans ce travail concerne une société de distribution des carburants « NAFTAL » dans la wilaya de Tlemcen et quelques régions voisines de plus. Cette chaîne est composée d'un seul fournisseur (l'entrepôt principal) connecté avec un ensemble de clients qui sont localisés dans des différentes régions où une même région peut comprendre un ou plusieurs clients.

NAFTAL reçoit quotidiennement des différentes demandes des clients (stations-service, entreprise et autres) d'une manière aléatoire (selon le besoin) et elle doit satisfaire ces demandes sachant que :

- La société doit livrer les différents types de produits demandés par les différents clients durant le prochain jour du travail.
- Une station peut demander un ou plusieurs types de produit selon le besoin en spécifiant la quantité voulue.
- Ces produits sont incompatibles, chacun d'eux doit être rempli dans un compartiment indépendant, chaque compartiment doit être chargé à 100% pour que le camion puisse sortir du centre de distribution.

En respectant ces conditions, NAFTAL fait l'objet de la distribution quotidienne des carburants, mais lors du planning de distribution :

- Les quantités livrées peuvent être différentes des quantités demandées.
- Parfois NAFTAL exige que le client doit demander une quantité équivalente à la capacité d'un camion, ces quantités ne représentent pas forcément le vrai besoin du client.
- Pour la distribution, NAFTAL utilise deux types de camion, ceux qui sont propres à la société, et ceux qui sont loués d'un sous-traitant privé. Les frais de transport par rapport aux véhicules privés et plus chers que ceux des véhicules NAFTAL, en tenant compte que ces derniers ne comprennent que des coûts fixes, alors les camions privés coûtent plus chers que les camions propres à NAFTAL.
- NAFTAL n'a pas d'intérêt pour minimiser l'impact de cette activité sur l'environnement vu que 27% des émissions CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère sont dues au secteur du transport, ou 80% proviennent du transport routier selon des études faites par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) [OCDE, 2002].

Notre travail consiste essentiellement à trouver des rotations optimales des véhicules de distribution, d'une part en maximisant l'utilisation des camions NAFTAL en se basant sur la satisfaction du client autant que possible, ce qui amène à la maximisation du profit par rapport au coût de transport (concernant l'activité de distribution) en maximisant l'utilisation des véhicules NAFTAL. D'une autre part en minimisant les émissions CO<sub>2</sub> dégagées par les véhicules en trouvant des chemins optimaux en fonction de la distance à parcourir et de la masse chargée.

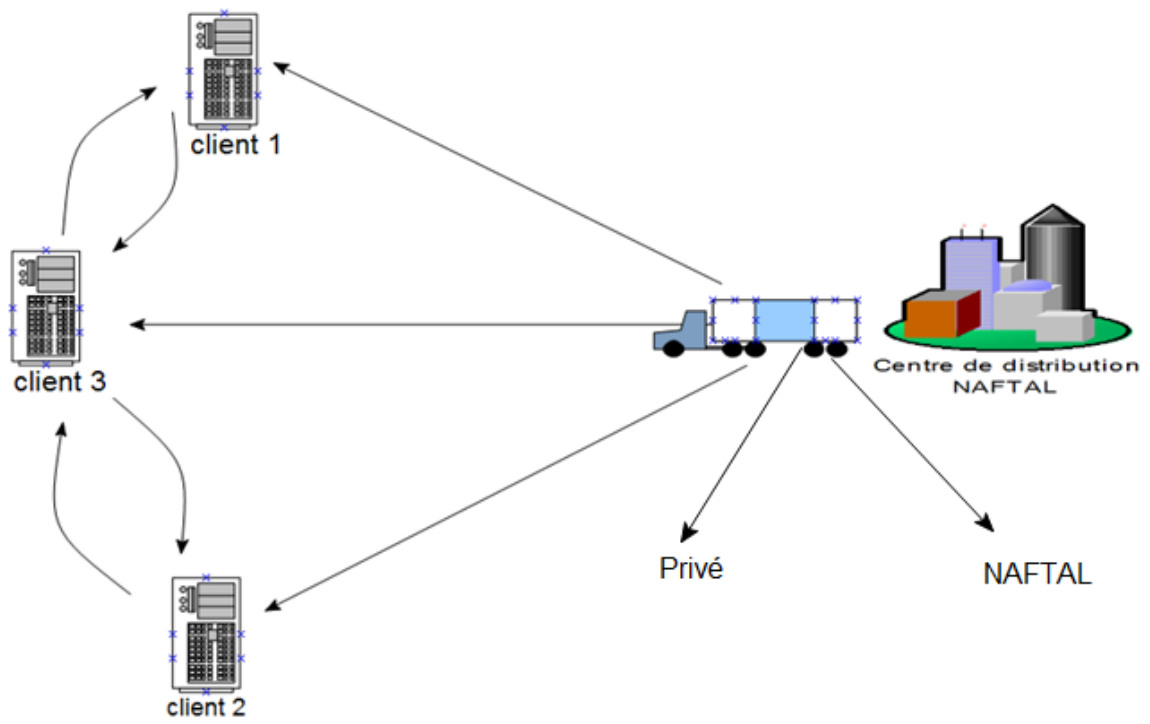


Figure 2.1 : schéma qui décrit la chaîne logistique de NAFTAL-distribution

# Chapitre 3 : Amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL : Maximisation du profit

## 3.1. Introduction :

Le profit représente historiquement la rémunération de l'activité de l'entrepreneur dans une économie de marché. Donc c'est l'enjeu principal de toute société commerciale. Ce facteur donne une valeur aux entreprises, pour cela on trouve que toutes les sociétés sont prêtes de faire des changements important et nécessaire dans la structure ou bien dans les méthodes et les décisions pour maximiser le profit. Dans notre mémoire et dans cette partie on a concentré de maximisé le profit de société NAFTAL qui est spécialisé dans la distribution et commercialisation des produits pétroliers et plus précisément le centre de distribution en améliorant le dispatching de tournée de véhicules et exploitation optimal des ressources dans ce chapitre on a donné la formulation mathématique de problème ces contraintes suivi par ces paramètres puis les variables de décisions on a entamé aussi les données NAFTAL les stations, les distances, on a simulé le modèle et mentionné les résultat dans des tableau avec une interprétation pour chaque instance et on a fini par une conclusion .

## 3.2. La formulation mathématique du problème :

- La fonction-objectif :

$$\begin{aligned}
 \text{Maximiser } & \sum_i \sum_p QL_{i,p} * CV_p \\
 & - \sum_{i_0} \sum_{i_1} \sum_v \sum_k \alpha_k * dist1_{i_1} * Y1_{i_1,k,v} \\
 & - \sum_{i_1} \sum_{i_2} \sum_k \sum_v \alpha_k * dist2_{i_1,i_2} * Y2_{i_1,i_2,k,v} \\
 & - \sum_{i_2} \sum_{i_3} \sum_k \sum_v \alpha_k * dist3_{i_2,i_3} * Y3_{i_2,i_3,k,v} \\
 & - \sum_{i_3} \sum_{i_4} \sum_k \sum_v \alpha_k * dist4_{i_3,i_4} \\
 & * Y4_{i_3,i_4,k,v}
 \end{aligned}$$

(3.1)

• Les contraintes

$$\sum_{i1=1}^n Y1_{i0,i1,k,v} = X_{k,v} \quad \forall v, \forall k. \tag{3.2}$$

$$\sum_{i2=1}^n Y2_{i1,i2,k,v} = Y1_{i0,i1,k,v} \quad \forall k, \forall i1, \forall v. \tag{3.3}$$

$$\sum_{i3=1}^n Y3_{i2,i3,k,v} = Y2_{i1,i2,k,v} \quad \forall v, \forall k, \forall i1, \forall i2. \tag{3.4}$$

$$\sum_{i4=1}^n Y4_{i3,i2,k,v} = Y3_{i2,i3,k,v} \quad \forall v, \forall k, \forall i3, \forall i2. \tag{3.5}$$

$$\sum_c Z1_{i0,i1,k,c,v} = Y1_{i0,i1,k} \quad \forall v, \forall k, \forall i0, \forall i1. \tag{3.6}$$

$$\sum_c Z2_{i1,i2,k,c} = Y2_{i1,i2,k,v} \quad \forall v, \forall k, \forall i2, \forall i1. \tag{3.7}$$

$$\sum_c Z3_{i2,i3,k,c,v} = Y3_{i2,i3,k,v} \quad \forall v, \forall k, \forall i2, \forall i3. \tag{3.8}$$

$$\sum_c Z4_{i3,i2,k,c,v} = Y4_{i3,i2,k,v} \quad \forall v, \forall k, \forall i4, \forall i3. \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i0} \sum_{i1} Z1_{i0,i1,k,c,v} \\ & + \sum_{i1} \sum_{i2} Z2_{i1,i2,k,c,v} \\ & + \sum_{i2} \sum_{i3} Z3_{i2,i3,k,c,v} \\ & + \sum_{i3} \sum_{i4} Z4_{i3,i2,k,c,v} = X_{k,v} \quad \forall v, \forall c, \forall k. \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i_0} \sum_{i_1} z1_{i_0,i_1,k,c,v} \\
 & + \sum_{i_1} \sum_{i_2} Z2_{i_1,i_2,k,c,v} \\
 & + \sum_{i_2} \sum_{i_3} Z3_{i_2,i_3,k,c,v} + \sum_{i_3} \sum_{i_4} Z4_{i_3,i_2,k,c,v} = X_k \quad \forall v, \forall c, \forall k.
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\sum_p V1_{i_0,i_1,k,c,p,v} = z1_{i_0,i_1,k,c,v} \quad \forall v, \forall c, \forall k, \forall i_0, \forall i_1. \tag{3.11}$$

$$\sum_p V2_{i_1,i_2,k,c,p,v} = Z2_{i_1,i_2,k,c,v} \quad \forall v, \forall c, \forall k, \forall i_2, \forall i_1. \tag{3.12}$$

$$\sum_p V3_{i_2,i_3,k,c,p,v} = Z3_{i_2,i_3,k,c,v} \quad \forall v, \forall c, \forall k, \forall i_2, \forall i_3. \tag{3.13}$$

$$\sum_p V4_{i_3,i_2,k,c,p,v} = Z4_{i_3,i_2,k,c,v} \quad \forall v, \forall c, \forall k, \forall i_4, \forall i_3. \tag{3.14}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_p \sum_c \left( \sum_{i_0} \sum_{i_1} V1_{i_0,i_1,k,c,p,v} \right. \\
 & + \sum_{i_1} \sum_{i_2} V2_{i_1,i_2,k,c,p,v} \\
 & + \sum_{i_2} \sum_{i_3} V3_{i_2,i_3,k,c,p,v} \\
 & \left. + \sum_{i_3} \sum_{i_4} V4_{i_3,i_2,k,c,p,v} \right) = 4X_{k,v} \quad \forall k.
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_c \sum_k cap_{k,c} * V1_{i_0,i_1,k,c,p,v} + \sum_{i_1} \sum_c \sum_k cap_{k,c} * V2_{i_1,i_2,k,c,p,v} \\
 & + \sum_{i_2} \sum_c \sum_k cap_{k,c} * V3_{i_2,i_3,k,c,p,v} + \sum_{i_3} \sum_c \sum_k cap_{k,c} * V4_{i_3,i_2,k,c,p,v} \\
 & = QL_{s,p} \quad \forall v, \forall s, \forall p.
 \end{aligned}$$

(3.16)

$$QL_{s,p} \leq Dem_{s,p} \quad \forall v, \forall s, \forall p.$$

(3.17)

$$QL_{s,p} \geq \text{taux}_{\text{sat}} * Dem_{s,p} \quad \forall v, \forall s, \forall p.$$

(3.18)

$$\sum_{i_0}^n \sum_{i_1}^n Y1_{i_0,i_1,k,v}$$

$$+ \sum_{i_1}^n \sum_{i_2}^n Y2_{i_1,i_2,k,v}$$

$$+ \sum_{i_2}^n \sum_{i_3}^n Y3_{i_2,i_3,k,v} + \sum_{i_3}^n \sum_{i_4}^n Y4_{i_3,i_4,k,v} = 4X_{k,v} \quad \forall v, \forall k.$$

(3.19)

$$\sum_v X_{k,v} \leq 2 \quad \forall k$$

(3.20)

Le modèle mathématique est constitué d'une fonction-objectif donné par l'équation (3.1) cette dernière permet de maximiser le profit en tenant compte les coûts, comme le coût de transport par kilomètre, le coût de vente de produit, le coût fixe des camions et la distance parcourue.

• **Explication détaillée de contraintes :**

- Si le camion est utilisé, il y'a forcément une première station à visiter. (3.2)
- S'il y'a une première station visitée, il y'a forcément une deuxième station à visiter. (3.3)
- S'il y'a une deuxième station visitée, il y'a forcément une troisième station à visiter. (3.4)
- S'il y'a une troisième station visitée, il y'a forcément une quatrième à visiter. (3.5)
- À chaque fois le camion visite une station il doit forcément vider un compartiment. (3.6)
- Si le camion a fait un lien entre la première station et la deuxième station qui suit il doit forcément vider un compartiment c (3.7).
- Si le camion a fait un lien entre la deuxième station et la troisième station qui suit il doit forcément vider un compartiment c (3.8).
- Si le camion a fait un lien entre troisième station et la quatrième station qui suit il doit forcément vider un compartiment c (3.9).
- Chaque compartiment est utilisé une seule fois durant le voyage v (3.10)

- Si le camion visite la première station en vidant un compartiment il doit forcément livrer un produit. (3.11)
- Si le camion visite la deuxième station en vidant un compartiment il doit forcément livrer un produit. (3.12)
- Si le camion visite la troisième station en vidant un compartiment il doit forcément livrer un produit. (3.13)
- Si le camion visite la quatrième station en vidant un compartiment il doit forcément livrer un produit. (3.14)
- Le nombre de station à visiter et les produits à livrer ne doivent pas dépasser le nombre de compartiments. (3.15)
- La quantité livrée de produit  $p$  pour chaque station  $s$  est égale à la somme des capacités des compartiments dédiés à cette station ne doivent pas dépasser le nombre de compartiments (3.16).
- La quantité livrée de produit  $p$  pour la station  $s$  doit être inférieure ou égale à la demande de cette station. (3.17)
- La quantité livrée est supérieur de quantité satisfaisante (3.18)
- Chaque station est visitée une seule fois (3.19)
- Le nombre de tournée doit être inférieur ou égale à deux (3.20).

### 3.3. Les paramètres du modèle :

- $Dist1_{i1}$  : distance entre la première station visitée et le centre de distribution.
- $Dist2_{i1, i2}$  : distance entre la première station visitée et la deuxième station visitée.
- $Dist3_{i2, i3}$  : distance entre la deuxième et la troisième station visitée.
- $Dist4_{i3, i4}$  : distance entre la troisième et la quatrième station visitée.
- Alpha : coût de transport par km.
- FCoût : coût fixe d'un camion.
- $CV_p$  : coût de vente d'une unité de produit  $P$ .
- $Cap_{k, c}$  : capacité de compartiment  $C$  de camion  $K$ .
- $Dem_{s, p}$  : demande de station  $s$  de produit  $p$ .
- Taux-sat : taux de satisfaction de la demande de la station  $s$  du produit  $p$ .

### 3.4. Les variables de décisions :

- $X_{k,v} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ est choisi pour être utilisé} \\ 0, & \text{si non} \end{cases}$
- 
- $Y1_{i1,k,v} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ a visité la station } 1 \\ 0, & \text{si non} \end{cases}$
- $Y2_{i1,i2,k,v} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ fait un lien entre la station } 1 \text{ et la station } 2 \\ 0, & \text{si non} \end{cases}$
- 
- $Y3_{i2,i3,k,v} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ fait un lien entre la station } 2 \text{ et la station } 3 \\ 0, & \text{si non} \end{cases}$
-



- $Y_{4i3,i4,k,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ fait un lien entre la station 3 et la station 4} \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $Z_{1i1,k,c,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ a visité la station 1 en vidant le compartiment } c \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $Z_{2i1,i2,k,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ fait un lien entre la station 1 et la} \\ \text{station 2 en vidant le compartiment } c \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- $Z_{3i2,i3,k,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ fait un lien entre la station 2 et la station 3} \\ \text{en vidant le compartiment } c \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $Z_{4i3,i4,k,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ fait un lien entre la station 3 et la station 4} \\ \text{en vidant le compartiment } c \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $V_{1i1,k,c,p,v} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ a visité la station 1 en vidant le compartiment } c \\ \text{remplit de produit } p \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $V_{2i1i2kcpv} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ a visité la station 1 et la station 2 en vidant le compartiment } c \\ \text{remplit de produit } p \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $V_{3i2i3kcpv} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ a visité la station 2 et la station 3 en vidant le compartiment } c \\ \text{remplit de produit } p \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- 
- $V_{4i3i4kcpv} = \begin{cases} 1, \text{ si le camion } k \text{ a visité la station 3 et la station 4 en vidant le} \\ \text{compartiment } c \text{ remplit de produit } p \\ 0, \text{ si non} \end{cases}$
- $Q_{L_s, p} =$  quantité livré de produit  $p$  à la station  $s$ .

### 3.5. Les données NAFTAL district de distribution REMCHI

#### 3.5.1. Les stations de la wilaya de Tlemcen :

- 1) Station GD El Koudia
- 2) Sarl Belarbi Benali – Chetouane
- 3) Kalach Réda – El Koudia.
- 4) SCS Imama
- 5) Sarl Médina – Imama.
- 6) Khelif Abdelkader – Mansourah.
- 7) Guellil – Chetouane.
- 8) Tlemsani Djannat Vve Salah – Abou tachfine
- 9) Bendi Hassan Fethi- Tlemcen
- 10) Boudghene Stambouli- Tlemcen
- 11) Choukchou Braham Réda -Tlemcen.

**3.5.2. Distance entre le centre de distribution Naftal et les stations :**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	36.5	20.2	41.04	41.05	41.56	24.03	30.72	27.3	23.26	30

**Tableau 3.2** Distance entre le centre de distribution Naftal et les stations

**3.5.3. Matrice de distance entre les stations :**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	17.5	1.2	21	21.2	22	5.3	11.2	8.3	4.26	5.77
2	17.5	0	5.41	8.38	8.38	9.03	2.79	8.20	7.59	4.10	4.28
3	1.2	5.41	0	8.12	8.13	8.80	6.75	10.40	8.10	3.93	5.46
4	21	8.38	8.12	0	0.12	0.72	15.2	7	6.10	9.24	9.47
5	21.2	8.38	8.13	0.12	0	0.73	15.27	7.3	6.25	9.29	9.51
6	22	9.03	8.80	0.72	0.73	0	15.86	7.68	9.51	9.45	9.70
7	5.3	2.72	6.75	15.2	15.27	15.86	0	4.76	5.20	1.78	7.71
8	11.2	8.20	10.40	7	7.3	7.68	4.76	0	13.30	2.95	3.14
9	8.3	7.59	8.10	6.10	6.25	9.51	5.20	13.30	0	3.14	3.37
10	4.26	4.10	3.93	9.24	9.29	9.45	1.78	2.95	3.14	0	0.4
11	5.77	4.28	5.46	9.47	9.51	9.70	7.71	3.14	3.37	0.4	0

**Tableau 3.3** distances entre les stations

**3.5.4. Coûts de transport :**

Actuellement, le coût de transport chez NAFTAL ne concerne que les véhicules de la sous-traitance privé, là où ils payent 5 DA pour chaque 100 litre transporté. Concernant les véhicules NAFTAL, ils ne comprennent que des coûts dites « fixes » ou bien coûts d'utilisation des véhicules (coût de maintenance, coût de la source d'énergie et le salaire des chauffeurs).

Dans ce qui suit, nous allons faire une estimation du coût fixe des véhicules et le convertir en coût de transport en fonction de la quantité transportée et la distance parcourue, le tout pour rendre le modèle plus efficace pour donner la priorité aux véhicules NAFTAL pour minimiser autant que possible les coûts de transport.

- Nous allons estimer les coûts fixes des véhicules pour pouvoir faire nos calculs :

<b>Salaire des chauffeurs</b>	50 000 DA – 60 000 DA
<b>Source d'énergie utilisée</b>	150 000 DA- 360 000 DA
<b>Maintenance et autres</b>	900 000 DA- 160 000 DA

**Tableau 3.4** Coûts et charges mensuels pour chaque véhicule NAFTAL

- Maintenant on doit calculer la moyenne entre les intervalles pour calculer la somme de toutes les charges afin d'obtenir un coût fixe moyen par camion. Après le calcul on a trouvé une valeur égale à **1560 000 DA/mois** pour chaque véhicule.
- Après estimer le coût mensuel, nous allons déduire le coût fixe d'un camion par jour en divisant cette valeur sur 30, on obtient **52 000DA/jour**.
- Le nombre moyen des rotations par jour pour chaque véhicule est 2 rotations, donc nous allons déduire le coût par rotation en divisant sur 2, on obtient donc **26 000**

**DA/rotation**

- L'étape suivante est de calculer le coût de transport qui convient cette valeur du coût fixe, sachant que **le coût d'une rotation**= quantité livrée\* distance\*coût de transport,
- Alors **le coût de transport**= coût de rotation / (distance\* quantité livrée) sachant que la quantité livrée est égale à la capacité du camion.
- Calculons la distance moyenne que les véhicules puissent parcourir (la moyenne de toutes les distances entre l'entrepôt principal et tous les clients : 168 clients), la distance donnée par Excel est **46.20 km**. Appliquons la relation précédente aux quatre types de camions et calculons la moyenne de tous les coûts résultants pour chaque véhicule en tenant compte du nombre de camion de chaque type :
  - ✓ **Camion 12m<sup>3</sup>** (4 camions) : **46.89 DA**
  - ✓ **Camion 25m<sup>3</sup>** (2 camions) : **22.51 DA**
  - ✓ **Camion 27m<sup>3</sup>** (4 camions) : **20.84 DA**
  - ✓ **Camion 30m<sup>3</sup>** (4 camions) : **18.75 DA**
- Comme résultats on a obtenu comme coût de transport unitaire : 27.92≈**28 DA**  
Donc on va considérer le coût de transport pour les véhicules NAFTAL= **28 DA**

Type camion	Coût de transport par km*quantité transporté
NAFTAL	<b>28 DA/ m<sup>3</sup></b>
Sous-traitance privé	<b>50 DA/m<sup>3</sup></b>

**Tableau 3.05** coûts de transport des différents types des camions**3.6. Simulation de modèle mathématique :**

La simulation de modèle est faite à l'aide du logiciel Lingo10 sur plusieurs ordinateurs portables sur des durées différentes. Ces simulations sont faites sur cinq instances. On a pris plusieurs exemples de demande clients d'entreprise « NAFTAL » qui fait la distribution et la commercialisation des produits pétroliers. On a simulé la demande de deux à sept stations chaque simulation se divise en deux partie :

- Une simulation avec une demande seul produit.
- Une simulation avec une demande multi produits.

Lorsque on ajout une station on simule cinq instances et tout cela pour calculer le profit de centre de distribution par une estimation des coûts.

**3.7. Expérimentations**

Comme nous l'avons précisé précédemment, afin d'analyser notre modèle mathématique, nous effectuons plusieurs simulations et les résultats sont donnés dans les tableaux ci dessous.

3.7.1. Deux stations

3.7.1.1. Mono produit :

• Données :

	demande		Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
	S1	S2		7	8	7	8	
Instance 1	S1	S2	30	7	8	7	8	Naftal
	15	15	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
Instance 2	S2	S3	27	6	7	7	7	Naftal
	20	9	30	7	8	7	8	Naftal
			27	9	9	9	0	privé
Instance 3	S3	S4	25	5	5	5	10	Naftal
	16	11	27	6	7	7	7	Naftal
			27	6	7	7	7	privé
Instance 4	S4	S5	12	3	3	3	3	Naftal
	15	13	25	5	5	5	10	Naftal
			27	6	7	7	7	privé
Instance 5	S5	S6	25	5	5	5	10	Naftal
	7	6	27	6	7	7	7	privé

Tableau 3.6 Données relatives aux commandes de deux stations d'un seul produit.

• Résultat :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
Valeur objective	598978.0	538719.5	499207.0	537942.0	Infaisable
Camions utilisés	30m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> privés	25 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Privé	/
Affectation camion 1	O →1→1→2→2→O	O→2→3→3→O	O→3→3→4→4→O	O→4→4→5→5→O	/
Temps d'exécution	35 s	24 s	25 s	1 min 02 s	/

Tableau 3.7 Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à deux stations

• Discussion :

Pour une demande de deux stations d'un seul produit, pour les quatre premières instances on remarque que le temps de calcul ne dépasse pas les 2 minutes. Dans le choix des véhicules, notre modèle a choisi d'affecter les véhicules aux clients en minimisant le total des distances pour maximiser le profit.

On remarque une infaisabilité dans la cinquième instance qui est due à la condition la plus importante dans la politique de l'entreprise, c'est que le véhicule ne peut sortir si est seulement s'il est plein. Ici on propose d'appeler des clients qui sont dans le même chemin que les stations qui ont demandé 6 et 7m<sup>3</sup> pour voir s'ils ont besoin des produits, pour avoir un camion complet, sinon la commande de ces deux stations ne peut être satisfaite que pendant la journée prochaine.

3.7.1.2. Multi produit

- Données :

	demande		Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S1	S2	12	3	3	3	3	Naftal
	12	11	30	7	8	7	8	Privé
	20	0	27	9	9	9	0	Privé
	0	0						
<b>Instance 2</b>	S2	S3	27	7	8	7	8	Naftal
	7	6	12	3	3	3	3	Naftal
			27	6	7	7	7	privé
	0	6						
<b>Instance 3</b>	S5	S7	25	5	5	5	10	Naftal
	0	7	27	6	7	7	7	Naftal
			27	6	7	7	7	privé
	14	6						
<b>Instance 4</b>	S9	S11	12	3	3	3	3	Naftal
	3	0	25	5	5	5	10	Naftal
	10	6	30	7	8	7	8	Naftal
	3	3						
<b>Instance 5</b>	S6	S8	12	3	3	3	3	Naftal
	7	6	30	7	8	7	8	Naftal
	0	8	27	6	7	6	7	privé
	6	16						

Tableau 3.8 Données relatives aux commandes de deux stations de plusieurs produits.

- Résultat :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	857956.0	Infaisable	558899.6	445376.8	677849.6
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés		27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→1→2→ O		O →7→7→5→5→ O	O →9→9→9→9→O	O →8→8→6→6→ O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→1→1→2→ O			O →9→11→11→11→ O	O →8→8→8→6→ O
<b>Temps d'exécution</b>	2min37 s	/	1min 33 s	57 s	1min58s

Tableau 3.9 Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à 2 stations

- Discussion :

Pour une demande de deux stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 4 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru, La logique de notre modèle reste la même, commençant par la station la plus proche en minimisant le total des distances.

On remarque une infaisabilité dans la deuxième instance due de contrainte d'entreprise Naftal qu'un camion ne sort pas si un compartiment est vide (capacité de dernier compartiment supérieur de la demande de produit).

**3.7.2. trois stations**

**3.7.2.1. Mono produit**

- **Données :**

	demande			Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S1	S4	S6	25	5	5	5	10	Naftal
	6	7	14	27	6	7	7	7	NAFTAL
				27	6	7	7	7	Privé
<b>Instance 2</b>	S3	S5	S8	27	9	9	9	0	Privé
	9	11	10	27	6	7	7	7	Naftal
				27	6	7	7	7	privé
<b>Instance 3</b>	S7	S10	S11	27	6	7	7	7	Naftal
	7	7	17	30	7	8	7	8	Naftal
				30	7.5	7.5	7.5	7.5	privé
<b>Instance 4</b>	S2	S3	S9	30	7	8	7	8	Naftal
	7	7	16	30	7.5	7.5	7.5	7.5	privé
				27	6	7	7	7	Naftal
<b>Instance 5</b>	S5	S7	S6	27	9	9	9	0	privé
	8	10	10	27	6	7	7	7	privé
				30	7	8	7	8	privé

**Tableau 3.10 :** Données relatives aux commandes de trois stations d'un seul produit.

- **Résultat :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance5</b>
<b>Valeur objective</b>	538859.8	538218.5	599174.6	599266.1	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> privés	30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> privés	/
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→6→6→O	O →3→5→8→O	O →11→11→10→7→O	O →2→3→9→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	2min 5 s	55 s	1min 3s	3 min 20 s	/

**Tableau 3.11** Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à trois stations

- **Discussion :**

Pour une demande de trois stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 5 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque une infaisabilité dans la cinquième instance due de contrainte d'entreprise Naftal qu'un camion ne sort pas si un compartiment est vide (les camions disponibles ont quatre compartiments pour chaque véhicule et on peut satisfaire cette commande en utilisant trois compartiments seulement).

**3.7.2.2. Multi produit**

- **Données :**

Instance	demande			Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
	S1	S2	S3		1	2	3	4	
Instance 1	S2	S5	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	0	12	0	25	5	5	5	10	NAFTAL
	10	23	0	27	6	7	6	7	Naftal
	16	0	8	30	7.5	7.5	7.5	7.5	privé
Instance 2	S1	S4	S2	27	6	7	7	7	Naftal
	7	8	0	27	6	7	7	7	privé
				30	7	8	7	8	Naftal
	6	8	7						
Instance 3	S1	S3	S2	12	3	3	3	3	Naftal
	8	0	11	27	6	7	7	7	Naftal
				27	6	7	7	7	privé
	0	6	16						
Instance 4	S6	S11	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	5	0	3	25	5	5	5	10	Naftal
	9	6	0	27	6	7	7	7	privé
	5	10	0						
Instance 5	S5	S10	S6	27	9	9	9	0	Privé
	12	7	0	12	3	3	3	3	Naftal
	0	5	6	30	7	8	7	8	Naftal
	14	13	0	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé

**Tableau 3.12** Données relatives aux commandes de trois stations de plusieurs produits

- **Résultat :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	539959.8	Infaisable	699174.6	696256.1	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O →2→2→2→2→O		O →1→3→3→3→O	O →11→11→11→6→O	/

Affectation camion 2	O →1→1→1→5→O		O →2→2→2→3→O		O →1→1→1→6→O
Affectation camion 3	O →1→5→5→5→O	/	/	/	/
Temps d'exécution	17min9s	/	11min11s	14min 9s	/

**Tableau 3.13 :** Résultats de maximisation de profit de livraison d'e plusieurs produits à trois stations

• **Discussion :**

Pour une demande de trois stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 20 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque une infaisabilité dans la cinquième et la deuxième instance due de contrainte d'entreprise Naftal qu'un camion ne sort pas si un compartiment est vide (les camions disponibles ont quatre compartiments pour chaque véhicule et on peut satisfaire cette commande en utilisant trois compartiments seulement).

**3.7.3. quatre stations**

**3.7.3.1. Mono produit :**

• **Données :**

	demande				Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
Instance 1	S1	S5	S7	S8	25	5	5	5	10	Naftal
	15	5	5	12	12	3	3	3	3	Naftal
					27	6	7	7	7	Privé
Instance 2	S2	S4	S6	S10	12	3	3	3	3	Naftal
	6	12	14	7	27	6	7	7	7	Naftal
					27	6	7	7	7	Privé
Instance 3	S4	S1	S3	S7	12	3	3	3	3	Naftal
	9	6	3	6	27	9	9	9	0	Privé
					27	6	7	7	7	Naftal
Instance 4	S6	S3	S2	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	15	8	3	14	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
					27	9	9	9	0	Privé
Instance 5	S10	S11	S9	S7	12	3	3	3	3	Naftal
	16	7	7	0	27	9	9	9	0	Privé
					30	7	8	7	8	Naftal

**Tableau 3.14** Données relatives aux commandes de quatre stations d'un seul produit.

• **Résultat :**

Valeur objective	<b>538859.8</b>	<b>538218.5</b>	<b>519174.6</b>	<b>609266.1</b>	<b>529998.2</b>
Camions utilisés	25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privés	30 m <sup>3</sup> Naftal



<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→5→7 →O	O →10→10→10→ 10→O	O →4→4→4→7 →O	O →2→1→1→1 →O	O →10→10→11→7 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →8→8→8→8 →O	O →2→4→6→6→ O	O →3→3→1→1 →O	O →6→6→1→3 →O	/
<b>Temps d'exécution</b>	4min	5min 08 s	3min12 s	7 min 43 s	11min47s

**Tableau 3.15** Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à quatre stations

• **Discussion :**

Pour une demande de quatre stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 13 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

**3.7.3.2. Multi produit :**

• **Données :**

	demande				Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S1	S5	S7	S8	27	6	7	7	7	Naftal
	0	7	5	0	25	5	5	5	10	NAFTAL
	7	7	5	5	12	3	3	3	3	Naftal
	6	0	10	0						
<b>Instance 2</b>	S2	S4	S6	S10	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
	0	6	8	7	27	6	7	7	7	Privé
					27	6	7	7	7	Naftal
	0	7	8	0						
<b>Instance 3</b>	S4	S1	S3	S7	12	3	3	3	3	Naftal
	6	3	5	5	25	5	5	5	10	Naftal
					27	6	7	7	7	Privé
	7	6	3	0						
<b>Instance 4</b>	S6	S3	S2	S1	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
	7	0	3	8	12	3	3	3	3	Naftal
	6	12	4	0	27	6	7	7	7	Naftal
	6	8	0	5						
<b>Instance 5</b>	S10	S11	S9	S7	27	9	9	9	0	Privé
	9	3	9	0	12	3	3	3	3	Naftal
	9	6	7	7	27	6	7	7	7	Naftal
	0	3	7	6						

**Tableau 3.16** Données relatives aux commandes de quatre stations de plusieurs produits.

• **Résultat :**

Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
------------	------------	------------	------------	------------

<b>Valeur objective</b>	519642.8	539959.8	699174.6	Infaisable	702058.7
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privés 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé		27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→5→ 5→O	O →6→6→6→2→O	O →1→1→1→3 →O		O →1→1→3→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →7→7→7→ 8→O	O →4→4→4→10→O	O →1→3→3→7 →O		O →11→11→11→11 →O
<b>Affectation camion 3</b>			O →7→4→4→4 →O		O →9→9→7→7→O
<b>Temps d'exécution</b>	10min35 s	23min07s	15min8 s	/	12min49s

**Tableau 3.17** Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à quatre stations

• **Discussion :**

Pour une demande de quatre stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 25 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque une infaisabilité dans la quatrième instance due de contrainte d'entreprise Naftal qu'un camion ne sort pas si un compartiment est n'est pas plein a100% (la capacité de compartiment et supérieur à la demande client).

On remarque dans la deuxième instance qu'il y a deux camion de capacité 27 et le programme a choisi le camion Naftal car la politique d'entreprise exige de favoriser ces ressources propres due de minimisation des coûts.

On remarque aussi dans la cinquième instance que le programme a choisi un camion de capacité 27 de Naftal et un autre de capacité 27 de flottes privés car on a besoin seulement de trois compartiments et le camion privé vérifié ce besoin.

**3.7.4. cinq stations**

**3.7.4.1. Mono produit :**

• **Données :**

	demande					Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S3	S2	S1	S4	S5	12	3	3	3	3	Naftal
	5	10	6	6	12	25	5	5	5	10	Naftal
						27	6	7	7	7	Privé
<b>Instance 2</b>	S2	S3	S5	S4	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	7	7	13	8	8	30	7	8	7	8	Naftal
						30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
<b>Instance 3</b>	S7	S8	S3	S9	S11	25	5	5	5	10	Naftal
	15	14	6	10	7	27	6	7	7	7	Naftal

<b>Instance 4</b>	S3	S5	S2	S4	S6	12	3	3	3	3	Naftal
	8	14	13	10	8	30	7	8	7	8	Naftal
							27	9	9	9	0
<b>Instance 5</b>	S5	S4	S6	S1	S2	27	6	7	7	7	Naftal
	7	14	7	13	13	27	6	7	7	7	Privé
							12	3	3	3	3

**Tableau 3.18** Données relatives aux commandes de cinq stations d'un seul produit

• **Résultat :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance 5</b>
<b>Valeur objective</b>	538589.4	548218.5	599174.6	599266.1	499207.0
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→4→4 →O	O →5→5→5→5 →O	O →7→7→7→9→ O	O →5→5→2→2 →O	O →2→2→5→5 →O  O →1→3→4→4 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →5→2→2→3 →O	O →2→3→4→1 →O	O →8→8→3→11 →O	O →3→6→4→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	10min12s	13min24 s	9min25 s	23 min 02 s	14min3s

**Tableau 3.19 :** Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à cinq stations

• **Discussion :**

Pour une demande de cinq stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 25 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque aussi dans la quatrième instance que le programme a choisi un camion de capacité 27 de flottes privés car on a besoin seulement de trois compartiments et le camion privé vérifié ce besoin par contre du camion Naftal de capacité 27 a quatre compartiments si on l'utilise on aura une infaisabilité.

On remarque dans la cinquième instance que le camion Naftal de capacité 27 fait deux tournées.

**3.7.4.2. Multi produits :**

• **Données :**

<b>demande</b>					<b>Capacité du camion</b>	<b>Capacité des compartiments</b>			<b>Type camion</b>	
S3	S2	S1	S4	S5	27	6	7	7	7	Naftal

<b>Instance 1</b>	0	5	10	13	0	25	5	5	5	10	Naftal
	13	11	0	7	14	27	6	7	7	7	Privé
	7	0	0	0	0						
<b>Instance 2</b>	S2	S3	S5	S4	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	8	10	0	7	0	30	7	8	7	8	Naftal
	0	3	16	0	8	25	5	5	5	10	Naftal
	8	0	0	10	0						
<b>Instance 3</b>	S7	S8	S3	S9	S11	25	5	5	5	10	Naftal
	5	10	0	0	9	27	6	7	7	7	Naftal
						27	9	9	9	0	Privé
	6	0	15	9	10	12	3	3	3	3	Naftal
	3	6	10	3	0						
<b>Instance 4</b>	S3	S5	S2	S4	S6	12	3	3	3	3	Naftal
	3	0	10	7	0	25	5	5	5	10	Naftal
	0	7	6	5	8	30	7	8	7	8	Naftal
	3	5	8	0	5						
<b>Instance 5</b>	S5	S4	S6	S1	S2	27	6	7	7	7	Naftal
	14	0	7	8	0	30	7	8	7	8	Naftal
	0	7	8	0	8	27	6	7	7	7	Privé
	13	15	0	7	0						

Tableau 3.20 Données relatives aux commandes de cinq stations de plusieurs produits.

• Résultat :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	608859.8	609218.5	639174.6	599266.1	612578.0
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →3→3→3→4 →O	O →3→4→4→4 →O	O →7→7→8→8 →O	O →5→5→3→3 →O	O →5→5→5→5 →O
	O →4→4→5→5 →O		O →3→3→3→3 →O		O →2→4→4→4 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →2→2→1→1 →O	O →2→3→4→1 →O	O →9→11→11→ O	O →2→5→4→6 →O	O →4→6→6→1 →O
<b>Affectation camion 3</b>		O →3→3→5→5 →O	O →9→8→8→7 →O	O →6→2→3→5 →O	
<b>Temps d'exécution</b>	24min47 s	21min07 s	23min58s	25 min 02 s	42min 17s

Tableau 3.21 Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à cinq stations

• **Discussion :**

Pour une demande de cinq stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 45 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la première, troisième et cinquième instance que le camion Naftal de capacité 27,25 fait deux tournées.

On remarque aussi dans la quatrième instance que le programme a choisi un camion de capacité 27 de flottes privés car on a besoin seulement de trois compartiments et le camion privé vérifié ce besoin par contre le camion Naftal de capacité 27 à quatre compartiments si on l'utilise on aura une infaisabilité.

**3.7.5.six stations**

**3.7.5.1. Mono produit :**

• **Données :**

	demande						Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S1	S3	S4	S2	S7	S11	30	7	8	7	8	Naftal
	8	8	7	0	7	0	27	9	9	9	0	Privé
							12	3	3	3	3	Naftal
<b>Instance 2</b>	S11	S8	S9	S10	S5	S7	27	6	7	7	7	Naftal
	16	5	0	6	12	0	12	3	3	3	3	Naftal
							25	5	5	5	10	Naftal
<b>Instance 3</b>	S1	S3	S9	S7	S4	S6	27	6	7	7	7	Privé
	0	6	8	8	13	7	27	6	7	7	7	Naftal
							12	3	3	3	3	Naftal
<b>Instance 4</b>	S2	S3	S6	S5	S8	S9	27	9	9	9	0	Privé
	10	0	6	6	3	0	27	6	7	7	7	Naftal
							12	3	3	3	3	Naftal
<b>Instance 5</b>	S9	S7	S6	S3	S2	S1						
	15	0	10	3	16	0	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé
							12	3	3	3	3	Naftal

**Tableau 3.22 :** Données relatives aux commandes de six stations d'un seul produit.

• **Résultat**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	586859.8	598218.5	599134.6	449266.1	599997.7
<b>Camions utilisés</b>	30 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →7→3→4→1 →O	O →10→10→10→10 →O	O →9→1→3→4 →O	O →8→2→2→2 →O	O →2→2→9→9 →O

				O →6→6→5→5 →O	
<b>Affectation camion 2</b>		O →11→11→9→8→	O →4→4→4→4		O →3→6→6→6 →O
<b>Temps d'exécution</b>	22min	27min	21min 15s	22min14 s	43min58s

**Tableau 3.23 :** Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à six stations

• **Discussion :**

Pour une demande de six stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas les 45 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la quatrième instance que le camion Naftal de capacité 12 fait deux tournées.

**3.7.5.2. Multi produits :**

• **Données :**

	demande							Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S1	S3	S4	S2	S7	S11	27	6	7	7	7	Naftal	
	0	7	5	0	3	3	25	5	5	5	10	Naftal	
	7	7	5	5	3	0	12	3	3	3	3	Naftal	
	6	0	10	0	3	0							
<b>Instance 2</b>	S11	S8	S9	S10	S5	S7	30	7.5	7.5	7.5	7.5	Privé	
	0	6	8	7	7	0	27	6	7	7	7	Naftal	
	0	7	8	8	6	7	30	7	8	7	8	Naftal	
	0	7	8	0	7	0							
<b>Instance 3</b>	S1	S3	S9	S7	S4	S6	12	3	3	3	3	Naftal	
	6	3	5	5	8	7	25	5	5	5	10	Naftal	
	7	6	3	0	7	0	27	6	7	7	7	Naftal	
	7	10	5	7	7	0	27	6	7	7	7	Privé	
<b>Instance 4</b>	S2	S3	S6	S5	S8	S9	30	7	8	7	8	Naftal	
	7	0	3	8	8	4	12	3	3	3	3	Naftal	
	6	12	4	0	7	12	27	9	9	9	0	Privé	
	6	8	0	5	7								
<b>Instance 5</b>	S9	S7	S6	S3	S2	S1	27	9	9	9	0	Privé	
	11	9	10	8	0	8	12	3	3	3	3	Naftal	
	3	3	6	8	8	0	30	7	8	7	8	Naftal	
	7	6	7	7	0	0	30	7.5	7.5	7.5	7.5	privé	

**Tableau 3.24 :** Données relatives aux commandes de six stations de plusieurs produits

• **Résultat :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
--	------------	------------	------------	------------	------------

<b>Valeur objective</b>	548959.8	508281.5	559174.6	Infaisable	567458.3
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→3→3→ O	O →10→9→9→9→ O	O →3→3→3→9→ O		O →7→6→9→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →4→4→4→2→ O	O →6→2→2→2→O O →4→5→5→5→O	O →3→7→9→9→ O		O →7→6→6→9→ O
<b>Affectation camion 3</b>	O →6→5→5→5→ O		O →6→5→5→5→ O →1→1→1→4→ O		O →5→4→4→4→ O →3→2→6→1→ O
<b>Temps d'exécution</b>	56min 13s	45min	17min	/	30min

**Tableau 3.25** Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à six stations

• **Discussion :**

Pour une demande de six stations de multi produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas une heure avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque une infaisabilité dans la quatrième instance à la fin d'exécution on peut affecter un camion de 30 et 3 rotation de camion de 12 mais il reste 4 demande non satisfaite dans ce cas on ne peut pas utiliser le camion de capacité 30 car la quantité demandé est inférieure de la capacité de compartiment, on ne peut pas utiliser le camion de 12 car il n'atteint le nombre maximal de rotation.

**3.7.6. sept stations**

**3.7.6.1. Mono produit :**

• **Données :**

Instance	demande							Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
	S2	S1	S4	S8	S11	S10	S9		12	3	3	3	
1	10	10	6	14	14	13	16	30	7	8	7	8	Naftal
								27	6	7	7	7	Naftal

	S9	S5	S7	S10	S11	S8	S4	30	7	8	7	8	Naftal
	3	0	8	8	7	10	8	12	3	3	3	3	Naftal
								27	6	7	7	7	Privé
Instance 3	S3	S2	S1	S4	S6	S9	S11	27	6	7	7	7	Naftal
	6	7	7	7	6	8	0	12	3	3	3	3	Naftal
								27	9	9	9	0	Privé
Instance 4	S6	S5	S3	S10	S8	S7	S9	25	5	5	5	10	Naftal
	5	12	5	8	6	14	9	30	7	8	7	8	Naftal
								12	3	3	3	3	Naftal
Instance 5	S3	S4	S6	S5	S9	S11	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	6	6	6	6	0	3	10	27	9	9	9	0	Privé
								27	6	7	7	7	Privé

Tableau 3.26 Données relatives aux commandes de sept stations d'un seul produit

• Résultat :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	539092.4	498218.5	497174.6	509266.1	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→2→2→O	O →4→11→10→7→O	O →3→3→6→6→O	O →3→8→6→5→O	/
<b>Affectation camion 2</b>	O →9→9→8→8→O	O →9→8→8→8→O	O →9→4→1→2→O	O →7→7→9→3→O	/
<b>Affectation camion 3</b>	O →11→11→10→10→O				/
<b>Temps d'exécution</b>	35 min	1h 17 min	75 min	1 h5min	

Tableau 3.27 Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à sept stations

• Discussion :

Pour une demande de sept stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas une heure et 30 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la quatrième instance que le camion Naftal de capacité 12 fait deux tournées.

On remarque aussi que la cinquième instance est infaisable due que le camion de capacité 12 peut faire seulement deux rotation politique de Naftal

3.7.6.2. Multi produits :

• Données :



	demande							Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S2	S1	S4	S8	S11	S10	S9	12	3	3	3	3	Naftal
	0	3	0	7	7	0	8	25	5	5	5	10	Naftal
	5	0	7	0	16	0	6	27	6	7	7	7	Privé
	8	5	0	8	0	3	0						
<b>Instance 2</b>	S9	S5	S7	S10	S11	S8	S4	27	6	7	7	7	Naftal
	7	0	8	7	0	0	0	27	6	7	7	7	privé
	0	6	0	0	8	8	8						
	8	7	0	8	0	7	7						
<b>Instance 3</b>	S3	S2	S1	S4	S6	S9	S11	27	9	9	9	0	privé
	10	6	0	8	8	0	7	30	7	8	7	8	Naftal
	7	10	0	0	0	6	8	12	3	3	3	3	Naftal
	0	0	10	8	0	7	0						
<b>Instance 4</b>	S6	S5	S3	S10	S8	S7	S9	12	3	3	3	3	Naftal
	13	6	16	0	0	0	0	25	5	5	5	10	Naftal
	0	5	0	21	0	7	0						
	0	0	0	0	5	6	0						
<b>Instance 5</b>	S3	S4	S6	S5	S9	S11	S1	30	7	8	7	8	Naftal
	15	15	13	8	0	0	7	27	6	7	7	7	privé
	0	7	0	8	0	6	0	12	3	3	3	3	Naftal
	7	0	0	0	7	0	0						

Tableau 3.28 Données relatives aux commandes de sept stations de plusieurs produits

• Résultat :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	678459.8	668218.5	659274.6	669266.1	65999.9
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> privés 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→4→10 →O  O →11→11→8→8 →O	O →9→9→11→5 →O  O →7→8→4→10 →O	O →3→1→2→O   O →11→11→4→4 →O	O →6→6→6→6→ O O →7→7→7→7→ O	O →3→3→4→4 →O  O →4→4→5→5 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→11→11 →O	O →5→10→8→8 →O	O →3→1→6→9→ O  O →11→11→4→4 →O	O →8→10→10→1 0→O →5→5→3→3→ O	O →1→11→9→3 →O
<b>Affectation camion 3</b>	O →9→9→8→2→ O		O →9→9→2→2→ O		O→6→6→6→6→ →O
<b>Temps d'exécution</b>	1h 20min	59min	1h 13min	1 h 2 min	1h 45min

**Tableau 3.29** Résultats de maximisation de profit de livraison de plusieurs produits à sept stations

• **Discussion :**

Pour une demande de sept stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas deux heures avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la troisième instance on a choisi le camion privé car il n'y a pas d'autre camion Naftal de même capacité.

**3.7.7. onze stations**

**3.7.7.1. Mono produit :**

• **Données :**

	demande											Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S2	S3	S1	S5	S4	S8	S6	S7	S11	S10	S9	12	3	3	3	3	Naftal
	10	0	10	0	6	14	0	0	14	13	16	30	7	8	7	8	Naftal
												27	6	7	7	7	Naftal
<b>Instance 2</b>	S9	S6	S5	S3	S7	S10	S1	S2	S11	S8	S4	30	7	8	7	8	Naftal
	3	0	0	0	8	8	0	0	7	10	8	12	3	3	3	3	Naftal
												27	6	7	7	7	privé
<b>Instance 3</b>	S3	S5	S2	S7	S1	S4	S8	S10	S6	S9	S11	27	6	7	7	7	Naftal
	6	0	7	0	7	7	0	0	6	8	0	12	3	3	3	3	Naftal
												27	9	9	9	0	privé
<b>Instance 4</b>	S6	S4	S5	S2	S3	S10	S1	S11	S8	S7	S9	25	5	5	5	10	Naftal
	5	0	12	0	5	8	0	0	6	14	9	30	7	8	7	8	Naftal
												12	3	3	3	3	Naftal
<b>Instance 5</b>	S3	S10	S4	S7	S6	S5	S2	S8	S9	S11	S1	12	3	3	3	3	Naftal
	6	0	6	0	6	6	0	0	0	3	10	27	9	9	9	0	privé
												27	6	7	7	7	privé

**Tableau 3.30** Données relatives aux commandes de onze stations d'un seul produit.

• **Résultat :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	539092.4	498218.5	497174.6	509266.1	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→2→2→O	O →4→11→10→7→O	O →3→3→6→6→O	O →3→8→6→5→O	/
<b>Affectation camion 2</b>	O →9→9→8→8→O	O →9→8→8→8→O	O →9→4→1→2→O	O →7→7→9→3→O	/
<b>Affectation camion 3</b>	O →11→11→10→10→O				/

<b>Temps d'exécution</b>	56min	1h 20 min	75 min	1 h15min
--------------------------	-------	-----------	--------	----------

**Tableau 3.31** Résultats de maximisation de profit de livraison d'un seul produit à onze stations

• **Discussion :**

Pour une demande de sept stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas une heure et 30 minutes avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la quatrième instance que le camion Naftal de capacité 12 fait deux tournées.

On remarque aussi que la cinquième instance est infaisable due que le camion de capacité 12 peut faire seulement deux rotation politique de Naftal

**3.7.7.2. Multi produits :**

• **Données :**

	demande											Capacité du camion	Capacité des compartiments				Type camion
<b>Instance 1</b>	S	S	S	S	S	S8	S	S7	S1	S1	S9	12	3	3	3	3	Naftal
	2	3	1	4	5		6		1	0							
	0	0	3	0	0	7	0	0	7	0	8	25	5	5	5	10	Naftal
	5	0	0	7	0	0	0	0	16	0	6	27	6	7	7	7	Privé
	8	0	5	0	0	8	0	0	0	3	0						
<b>Instance 2</b>	S	S	S	S	S	S1	S	S2	S1	S8	S4	27	6	7	7	7	Naftal
	9	6	5	7	3	0	1		1								
	7	0	0	8	0	7	0	0	0	0	0	27	6	7	7	7	privé
	0	0	6	0	0	0	0	0	8	8	8						
	8	0	7	0	0	8	0	0	0	7	7						
<b>Instance 3</b>	S	S	S	S	S	S4	S	S1	S6	S9	S1	27	9	9	9	0	privé
	3	5	2	1	7		8	0			1						
	1	0	6	0	0	8	0	0	8	0	7	30	7	8	7	8	Naftal
	0																
	7	0	1	0	0	0	0	0	0	6	8	12	3	3	3	3	Naftal
			0														
	0	0	0	1	0	8	0	0	0	7	0						
<b>Instance 4</b>	S	S	S	S	S	S1	S	S1	S8	S7	S9	12	3	3	3	3	Naftal
	6	4	5	3	2	0	1	1									
	1	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	25	5	5	5	10	Naftal
	3			6													
	0	0	5	0	0	21	0	0	0	7	0						
	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	0						
<b>Instance 5</b>	S	S	S	S	S	S5	S	S8	S9	S1	S1	30	7	8	7	8	Naftal
	3	1	4	6	7		2			1							
	1	0	1	1	0	8	0	0	0	0	7	27	6	7	7	7	privé
	5		5	3													
	0	0	7	0	0	8	0	0	0	6	0	12	3	3	3	3	Naftal
	7	0	8	0	0	0	0	0	7	0	0						

**Tableau 3.32** Données relatives aux commandes de onze stations de plusieurs produits

• **Résultat :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	678459.8	668218.5	659274.6	669266.1	65999.9
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> privés 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→4→10 →O	O →9→9→11→5 →O	O →3→1→2→O	O →6→6→6→6→ O O →7→7→7→7→ O	O →3→3→4→4 →O  O →4→4→5→5 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→11→11 →O	O →5→10→8→8 →O	O →3→1→6→9→ O  O →11→11→4→4 →O	O →8→10→10→1 0→O →5→5→3→3→ O	O →1→11→9→3 →O
<b>Affectation camion 3</b>	O →9→9→8→2→ O		O →9→9→2→2→ O		O→6→6→6→6 →O
<b>Temps d'exécution</b>	1h 20min	1h15min	1h 57min	1 h 22 min	1h 69min

**Tableau 3.33** Résultats de maximisation de profit de livraison plusieurs produits à onze stations

• **Discussion :**

Pour une demande de onze stations de multi produits pour cinq instances on remarque que le temps d'exécution ne dépasse pas deux heures avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru.

On remarque dans la troisième instance qu'on a choisi le camion privé car il n'y a pas d'autre camion Naftal de même capacité.

**3.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a simulé le travail d'entreprise NAFTAL. On a basé sur les contraintes exigées par cette société commerciale en évitant la tournée de véhicule classique, on a proposé un nouveau modèle qui sert à servir les clients, basé sur le nombre maximal de stations visité par un seul camion dans une seule tournée où tout s'est relié au nombre de compartiment de chaque véhicule. On a aussi joué sur le facteur de profit on a donné une priorité à la maximisation de ce facteur qui est important pour tous les sociétés commerciales avec des estimations des coûts. On a simulé ce travail en variant le nombre de station (où à chaque fois on ajout une station) on a simulé cinq instance différentes dans toute les cas où on change : le

nombre de véhicule utilisé, la capacité de véhicules, le nombre et la capacité de compartiments. On constate que à chaque fois on augmente le nombre de station qui demande le produit le temps d'exécution augmente aussi. Même lorsque on fait une demande de multi produits des stations similaire d'un seul produit le temps d'exécution augmente aussi et tout ça c'est un résultat de complexité de problème et de sa taille. On remarque aussi que le choix des chemins ce diffère entres les instances gérées due des distances différentes entre les stations et le choix des véhicules parmi la flotte disponible dans chaque instance simulée et le nombre de compartiments et leurs capacités.

# **Chapitre 4 : Amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL : Minimisation des émissions du CO<sub>2</sub>.**

## **4.1. Introduction :**

Le changement climatique qui cause plusieurs phénomènes naturels est dû à l'augmentation de la concentration des émissions de gaz à effet de serre (GES) notamment le CO<sub>2</sub> qui est d'origine humaine.

En 2010 en France Métropolitaine, 36,5 % des émissions de CO<sub>2</sub> et 27,3 % des émissions de gaz à effet de serre sont dues aux activités de transports [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012]. En 2011, le secteur transport représentait 28 % des émissions directes de GES de la France et 37% des émissions de CO<sub>2</sub> seul. C'est un secteur clé de la comptabilité carbone [ADEME,2014]. De ce fait, comme nous avons connu, l'activité du secteur de transport de marchandises est l'origine d'une part croissante des émissions de GES, principalement le transport routier ; dans le transport, la part des marchandises (environ un tiers) étant plus importante que par le passé. L'augmentation des GES, notamment les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'activité du transport en général et du transport de marchandise en particulier contribuent au réchauffement de la planète [LAM Q.D, 2015].

Dans ce chapitre, on souhaite mieux comprendre la notion de l'information CO<sub>2</sub> des prestations de transports notamment le calcul de cette dernière et la minimiser autant que possible pour moins polluer l'environnement lors de la distribution des carburants chez NAFTAL.

## **4.2. Généralités :**

### **4.2.1. Définitions :**

Les gaz à effet de serre : sont des constituants gazeux de l'atmosphère qui absorbent et renvoient certains rayonnements émis par la surface de la terre, l'atmosphère et les nuages. L'augmentation exagérée de ces gaz, en raison des activités humaines, est un élément responsable du réchauffement climatique. Le principal gaz à effet de serre dans le secteur des transports est le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), qui est émis lors de la phase de production pour l'électricité et lors des phases de production et de fonctionnement pour les carburants [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012].

L'information CO<sub>2</sub> des prestations de transports : est une information relative à la quantité de dioxyde de carbone par un outil de transport utilisé pour réaliser une prestation.

#### **4.2.2. L'utilité de l'information CO<sub>2</sub> :**

- L'information CO<sub>2</sub> des prestations de transport constitue un outil important de la mise en œuvre d'une démarche de progrès environnemental chez le prestataire de transport.
- L'information CO<sub>2</sub> répond à un besoin de sensibilisation et de droit à l'information environnementale des individus. De nombreuses initiatives volontaires de mise à disposition de calculateurs CO<sub>2</sub> par les transporteurs (notamment les modes aérien, ferroviaire, certains réseaux de transport en commun...) et par des organismes tiers ont permis de tracer la voie. Mais ces démarches ne bénéficiaient pas jusqu'à ce jour de cadre méthodologique commun ni de règles homogènes.
- 
- L'information CO<sub>2</sub> des prestations de transport a pour objectif de sensibiliser l'ensemble des acteurs de la chaîne de transport à leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre, et de leur permettre d'orienter, le cas échéant, leurs choix vers des solutions moins émettrices. Dans le cas des entreprises, celles qui reçoivent cette information peuvent compiler les résultats fournis par leurs prestataires pour évaluer le poids en termes d'émission de CO<sub>2</sub> de leurs activités de transport (marchandises ou voyageurs) [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012].

#### **4.3. Etat de l'art et travaux existants :**

Ce sujet a intéressé plusieurs personnes qui ont fait plusieurs travaux dans le domaine de transport et l'industrie, on trouve parmi eux :

Mirzapour Al-e-hashem et Rekik [Mirzapour Al-e-hashem et Rekik 2013] présentent une approche de résolution de l'Inventory Routing Problem, multi produit et multi période, avec des véhicules de capacités différentes qui font la livraison des marchandises depuis plusieurs fournisseurs jusqu'à une seule unité de fabrication. Les auteurs proposent un modèle « Mixed-Integer Linear Program » résolu par CPLEX pour améliorer la performance de cette chaîne logistique en minimisant les coûts de transport avec un minimum d'impact sur l'environnement (gaz à effet de serre) dans le cadre d'une green supply chain.

Akhtar et al. [Akhtar et al. 2017] proposent un modèle de Backtracking Search Algorithm (BSA) amélioré, qui inclut des véhicules de capacités différentes pour résoudre le CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) dans un problème de collecte des déchets, en minimisant le budget de la collection et les émissions de CO<sub>2</sub> en minimisant les distances à parcourir. Ils proposent aussi un modèle de planification économique (classique) pour comparer entre les résultats et démontrer l'efficacité du modèle proposé.

N.A.S Amin [Amin, 2016] propose un modèle INCAM (Integrated Carbon Accounting and Mitigation) pour calculer la quantité des émissions CO<sub>2</sub> dégagée de trois usines de

production à la Malaisie en considérant la consommation de l'énergie électrique, la consommation du carburant et d'eau ainsi que les déchets solides et l'eau perdu en développant des stratégies innovantes qui peut causer de 20 à 90% de réduction de la quantité de dioxyde de carbone dégagée en utilisant la méthode EFB et POME.

Figliozzi [Figliozzi, 2010] propose un modèle d'optimisation pour résoudre le EVRP (Emissions Vehicle Routing Problem) avec fenêtre du temps en minimisant les distances parcourues et le temps de transport, ainsi que les émissions du CO<sub>2</sub> et la consommation de la source d'énergie.

Retel Helmrich et al. [Retel Helmrich et al. 2014] proposent une généralisation du problème du « Lot Sizing » qui inclut la contrainte de la capacité d'émission et le résoudre par plusieurs méthodes de résolution. D'abord ils proposent une heuristique lagrangienne afin de minimiser les coûts et les émissions totales et un algorithme Pseudo-Polynomial qui sert à identifier toutes les solutions optimales de Pareto dans le contexte de la multi objectivité.

Koç et al. [Koç et al. 2014] introduisent la notion de Fleet Size and Mix Pollution Routing Problem (FSMRP) avec une flotte de véhicules hétérogènes. Leur travail consiste à développer un modèle où l'objectif principal est de minimiser la somme des coûts fixes des véhicules en respectant le coût de carburant et les émissions CO<sub>2</sub> correspondantes, ils proposent aussi une méta-heuristique adaptée appliqué sur un ensemble des cas réels pour démontrer l'efficacité de ce modèle.

Hendriks et al. [Hendriks et al. 2004] présentent un ensemble d'approches pour calculer et minimiser les émissions dans l'industrie des ciment en décrivant le processus de fabrication des ciments et appliquent des méthodes affectées à chaque phase du processus.

Wang et al. [Wang et al. 2008] proposent un modèle d'optimisation pour le calcul et la minimisation des quantités de dioxyde de carbone émises dans une unité de production de l'acier en optimisant l'énergie utilisée et les émissions CO<sub>2</sub>.

Wu et al. [Wu et al. 2010] proposent une méthode pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> appliquée sur un système de distribution, utilisant un algorithme génétique pour une optimisation multi-objectifs de ce système en minimisant le coût total (construction et maintenance) et les quantités des gaz à effet e serre au même temps.

Absi et al. [Absi et al. 2012] introduisent un modèle d'optimisation pour un Multi-Sourcing Lot Sizing avec des contraintes environnementales qui est la contrainte des émissions de carbone, pour minimiser les émissions de CO<sub>2</sub> pour chaque unité de produit fournie dans des différents moyens de transport ainsi que les coûts de transport.

Nouira et al. [Nouira et al. 2014] développent un modèle mathématique d'optimisation qui intègre les émissions de carbone dans un modèle de gestion de production-stockage multi échelon sous les contraintes de délai. Le modèle proposé la relation entre les décisions logistiques (approvisionnement, production et stockage) et les décisions environnementales (les émissions de carbone).

Shaw et al. [Shaw et al. 2012] présentent une approche intégrée pour la sélection des meilleurs fournisseurs dans la chaîne logistique, en minimisant les quantités des émissions de



dioxyde de carbone durant le parcours vers les fournisseurs en utilisant la méthode Fuzzy-AHP et Fuzzy Multi-Objective Linear Programming, considérant les coûts de transport et d'achat, le pourcentage du rebut, le pourcentage du retard pour la livraison et les émissions, en l'appliquant sur un cas réel.

Kopfer et Kopfer [Kopfer et Kopfer,2013] proposent un modèle d'optimisation qui est résolu par CPLEX pour résoudre le Green Vehicle Routing Problem par la minimisation de la quantité de dioxyde de carbone émise par une flotte de véhicules hétérogènes en fonction des distances à parcourir et le pourcentage de la charge.

#### 4.4. Méthodes de calcul de l'information CO<sub>2</sub>

Il existe des différentes méthodes pour calculer les émissions de CO<sub>2</sub>, elles sont décrites comme suit :

##### 4.4.1. Méthode d'Analyse du Cycle de vie (ACV) :

La méthode d'Analyse du Cycle de vie (ACV) est un outil de recherche technique pour analyser l'impact d'un « produit » (bien, service ou procédé) sur l'environnement. Apparue aux Etats-Unis dans les années 1960, l'ACV vise à quantifier les impacts d'un produit, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en passant par sa distribution et son usage. Cette méthode a un périmètre très large. L'apparition des Analyses de Cycle de Vie est due :

- Aux premières études visant l'optimisation des consommations énergétiques.
- À l'évolution de ces études, pour prendre en compte les consommations des ressources énergétiques, ce qui a permis d'améliorer l'analyse des consommations ("inputs") et de tirer plus d'enseignements.
- À l'évolution des études précitées par la prise en compte non seulement des "inputs" mais aussi des "outputs" (émissions et pollutions) des systèmes industriels de production considérés.

En transport, cette méthode prend en compte l'énergie utilisée dans le moteur du véhicule, la construction et l'entretien du véhicule, la construction et l'entretien de l'infrastructure [LAM Q.D, 2015].

##### 4.4.2. La méthode Carbon footprint

La méthode Carbone footprint, appliquée à un produit ou un service, par exemple le transport, vise à quantifier la somme des émissions nettes de gaz à effet de serre (en comptant aussi les absorptions de gaz à effet de serre) d'un système de produit, exprimée en équivalents de CO<sub>2</sub>. Cette méthode se rapproche de l'analyse ACV et nécessite l'inclusion du cycle de vie d'un service de transport en tant que système de produits, dont les différentes phases comprennent la production, la maintenance et la mise au rebut des véhicules et des infrastructures de transport, ainsi que les processus d'énergie en amont et la phase de transport proprement dite mais cette analyse se limite au volet carbone alors que l'ACV s'efforce de quantifier l'ensemble des impacts environnementaux.

Les deux méthodes, Carbon footprint et ACV, couvrent la production et l'utilisation du produit mais ne couvrent pas le trajet du consommateur [LAM Q.D, 2015].

#### 4.4.3. La méthode globale

Vise à prendre en compte l'ensemble des émissions de GES, à savoir directes et indirectes, d'une organisation et de son activité (collectivité ou entreprise) ou d'un territoire. La méthode « globale » quand on comptabilise l'ensemble des émissions nécessaires à l'activité de la collectivité ou du territoire notamment celles qui souhaitent avoir une vision large de leurs émissions pour réaliser un Plan Climat Énergie-Territoire (PCET) et d'aboutir à un plan d'action incluant l'ensemble des émissions liées à l'activité du territoire [LAM Q.D, 2015].

#### 4.4.4. La méthode de Bilan Carbone de l'ADEME

Vise à hiérarchiser les postes d'émissions d'une entreprise ou d'une organisation, afin de permettre d'entamer une dynamique de réduction des émissions. A partir du début des années 2000, l'ADEME a développé une méthodologie de quantification des émissions de gaz à effet de serre pour les organisations (entreprise ou collectivité territoriale) appelée Bilan Carbone. Cette méthode prend en compte l'ensemble des gaz à effet de serre définis par le GIEC. Elle permet donc aux entreprises de réaliser une évaluation globale de leurs émissions de GES, que celles-ci soient directes ou indirectes. Depuis 2007, une version de l'outil est destinée aux collectivités territoriales [LAM Q.D, 2015].

### 4.5. L'approche utilisée : méthode de bilan Carbone de l'ADEME :

Cette méthode permet de quantifier les émissions résultant des processus nécessaires à l'activité et notamment des émissions engendrées par l'activité de transport qui fait l'objet d'un outil particulier. La méthode Bilan Carbone a précisément été mise au point pour permettre de convertir ces données d'activités en émissions estimées de GES, exprimées en équivalent carbone [LAM Q.D, 2015].

#### 4.5.1. Description des étapes de la méthode :

Cette méthode prévoit quatre étapes :

- La décomposition de la prestation de transport en segments.
- Le calcul de la quantité de source d'énergie consommée pour chaque segment.
- La conversion de la quantité de source d'énergie en quantité de dioxyde de carbone pour chaque segment, cette conversion s'effectue grâce aux facteurs d'émission.
- L'addition des quantités de dioxyde de carbone des différents segments [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012].

#### 4.5.2. Les principales formules de calcul :

Il existe plusieurs formules qui servent au calcul de l'information CO<sub>2</sub> selon différents cas :

- **1<sup>er</sup> cas** : le moyen de transport concerne un seul bénéficiaire et la consommation de la source d'énergie est connue :

$$\text{Information CO}_2 = \text{consommation de source d'énergie} * \text{facteur d'émission} \dots \dots (4.1)$$

Avec :

- ✓ Facteur d'émission d'une source d'énergie : Un facteur d'émission est un coefficient qui permet de convertir une quantité d'énergie en émissions de CO<sub>2</sub> ou en gaz à effet de serre (kg (CO<sub>2</sub>) /l).
  - ✓ Consommation de source d'énergie (litre)
  - ✓ Information CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub>)
- **2<sup>ème</sup> cas :** le moyen de transport concerne plusieurs bénéficiaires et la consommation de source d'énergie est connue :

Information CO<sub>2</sub> = consommation de source d'énergie \* [nombre d'unités transportées pour la prestation / nombre d'unités moyen dans le moyen de transport] \* facteur d'émission..... (4.2)

Avec :

**Le nombre d'unités transportées :** le poids réel transporté (tonnes)

**Le nombre d'unités moyen dans le moyen de transport :** la capacité moyenne de véhicule (tonnes).

- **3<sup>ème</sup> cas :** le moyen de transport concerne un seul bénéficiaire et la consommation de la source d'énergie n'est pas connue :

Information CO<sub>2</sub> = taux de consommation de source d'énergie \* distance \* facteur d'émission..... (4.3)

- ✓ **Taux de consommation de la source d'énergie :** consommation moyenne par rapport au type du véhicule (l/km).

- **4<sup>ème</sup> cas :** le moyen de transport concerne plusieurs bénéficiaires et la consommation de la source d'énergie n'est pas connue :

Information CO<sub>2</sub> = Taux de consommation de source d'énergie \* distance \* facteur d'émission \* [nombre d'unités transportées pour la prestation / nombre d'unités moyen dans le moyen de transport] ..... (4.4)

Pour simplifier la relation (4) qui est la plus générale, on va introduire la notion du « taux d'émission » qui est appelé aussi « donnée agrégée » exprimé par l'équation suivante :

Taux d'émission = [Taux de consommation de source d'énergie / nombre d'unités moyen dans le moyen de transport] \* facteur d'émission ..... (4.5).

Le calcul de l'information CO<sub>2</sub> devient plus simple :

Information CO<sub>2</sub> = Taux d'émission \* nombre d'unités transportées pour la prestation \* distance ..... (4.6).

- **5<sup>ème</sup> cas :** le véhicule est vide :

Si veut calculer l'information CO<sub>2</sub> totale d'une prestation, on doit inclure les émissions du véhicule à vide, on les calcule comme suit :

- Information CO<sub>2</sub>(vide)= Taux de consommation de source d'énergie \* facteur d'émission\* distance.....(4.7).  
[Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012].

**Remarque :**

Le taux d'émission, le taux de consommation et le nombre d'unité moyen dans le moyen du transport sont identifiés par type du véhicule selon des enquêtes CNR (Comité Nationale Routier) et OEET (l'Observatoire Energie Environnement des Transports) et le facteur d'émission est identifié selon le type de la source d'énergie.

**4.5.3. Données de références :**

**4.5.3.1. Types de véhicules :**

La classification retenue pour les transports routiers de marchandises se base sur les usages est la suivante :

- Messagerie
- Express
- Grand volume
- Spéciaux
- Marchandises diverses
- Déménagement



Figure 4-1 classification des moyens de transport routier des marchandise

- L'activité de **messagerie** consiste à acheminer, essentiellement par la route, des colis généralement inférieur à 3 tonnes, depuis le lieu de collecte (chez l'expéditeur) jusqu'au destinataire final.
- L'activité de transport **Express** suit le même mode de fonctionnement que celui de la messagerie. La différence porte sur les délais. Alors que la messagerie affiche des délais de livraison de 24 à 72 heures, l'Express propose des délais raccourcis et surtout garantis. L'activité de transport Express intègre en outre des combinaisons de transport multimodal (utilisation du mode aérien notamment).
- Le transport **grand volume** concerne le transport de produits volumineux et peu pondéreux qui seront chargés sur la quasi-totalité du volume disponible. En général, il s'agit d'un camion couplé à une remorque. Le plancher peut également être surbaissé, pour obtenir un volume utile allant jusqu'à 130 m<sup>3</sup>.
- Les transports **spéciaux** concernent les transports réservés à une activité spéciale : porte-voitures, groupe froid, benne TP, benne céréalière, porte-conteneur, citerne.

- Les transports **marchandises diverses** concerne les transports sans caractéristiques spéciales.
- Le secteur du **déménagement** est soumis à la réglementation du transport routier de marchandises. Cette activité peut s'exercer au service des particuliers ou des entreprises [ADEME,2014].

#### 4.5.3.2. Facteurs d'émission des source d'énergie

Nature de la source d'énergie	Type détaillé de la source d'énergie	Unité de mesure de la quantité de source d'énergie	Facteur d'émission (kg de CO <sub>2</sub> par unité de mesure de la quantité de source d'énergie)
Gazole	Gazole routier à la pompe	Litre (ℓ)	3.07
	Gazole non routier à la pompe	Litre (ℓ)	3.07

Tableau 4.34 Facteurs d'émission des sources d'énergie

#### 4.5.3.3. Taux de consommation de la source d'énergie :

Description (selon la nature du véhicule et le type de transport effectué avec indication de la [des] sources[s] d'énergie utilisée[s])	Taux de consommation de source d'énergie du moyen de transport (en unité de mesure de la quantité de source d'énergie par kilomètre)
Véhicule utilitaire léger 3,5 tonnes PTAC Express (plis, courses) - Gazole routier	0,160 ℓ / km Gazole routier
Véhicule utilitaire léger 3,5 tonnes PTAC - Express (colis) - Gazole routier	0,160 ℓ / km Gazole routier
Porteur 19 tonnes PTAC - Express - Gazole routier	0,270 ℓ / km Gazole routier
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Messagerie Gazole routier	0,342 ℓ / km Gazole routier
Porteur 19 tonnes PTAC - Messagerie - Gazole routier	0,270 ℓ / km Gazole routier
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA – Messagerie (frigorifique) - Gazole routier/gazole non routier	Gazole non routier : 0,070 Gazole routier : 0,342 ℓ / km ℓ / km

<b>Porteur 19 tonnes PTAC - Messagerie (frigorifique) - Gazole routier/gazole non routier</b>	Gazole non routier : 0,055 Gazole routier : 0,270 ℓ / km ℓ / km
<b>Porteur 7,5 tonnes PTAC - Marchandises diverses- Gazole routier</b>	0,220 ℓ / km - Gazole routier
<b>Porteur 12 tonnes PTAC - Marchandises diverses- Gazole routier</b>	0,240 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 26 tonnes PTR A - Grand volume - Gazole routier</b>	0,305 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 35 tonnes PTR A - Porte-voitures - Gazole routier</b>	0,370 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Marchandises diverses/longue distance - Gazole routier</b>	0,342 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Marchandises diverses/régional - Gazole routier</b>	0,338 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Grand volume - Gazole routier</b>	0,379 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Avec groupe froid - Gazole routier/gazole non routier</b>	Gazole non routier : 0,070 Gazole routier : 0,332 ℓ / km ℓ / km
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Benne TP -Gazole routier</b>	0,427 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Benne céréalière - Gazole routier</b>	0,405 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Porte conteneur - Gazole routier</b>	0,373 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Citerne - Gazole routier</b>	0,353 ℓ / km - Gazole routier
<b>Fourgon 8 mètres cube - Déménagement - Gazole routier</b>	0,160 ℓ / km - Gazole routier
<b>Porteur 45 mètres cube - Déménagement - Gazole routier</b>	0,270 ℓ / km - Gazole routier
<b>Ensemble articulé 90 mètres cube - Déménagement - Gazole routier</b>	0,342 ℓ / km - Gazole routier

- **Tableau 4.35** Taux de consommation des sources d'énergie pour chaque type de véhicule. [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012].

#### 4.5.3.4. Taux d'émission du dioxyde de carbone :

Description (selon la nature du véhicule et le type de transport effectué avec indication de la [des] sources[s] d'énergie utilisée[s])	Taux d'émission de CO <sub>2</sub> par unité transportée et par km
Véhicule utilitaire léger 3,5 tonnes PTAC -Express (plis, courses) - Gazole routier	1 889 g CO <sub>2</sub> / t.km
Véhicule utilitaire léger 3,5 tonnes PTAC - Express (colis) - Gazole routier	1 068 g CO <sub>2</sub> / t.km
Porteur 19 tonnes PTAC - Express - Gazole routier	332 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Messagerie - Gazole routier	175 g CO <sub>2</sub> / t.km
Porteur 19 tonnes PTAC - Messagerie - Gazole routier	332 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Messagerie (frigorifique) - Gazole routier/gazole non routier	178 g CO <sub>2</sub> / t.km
Porteur 19 tonnes PTAC - Messagerie (frigorifique) - Gazole routier/gazole non routier	302 g CO <sub>2</sub> / t.km
Porteur 7,5 tonnes PTAC - Marchandises diverses - Gazole routier	750 g CO <sub>2</sub> / t.km
Porteur 12 tonnes PTAC - Marchandises diverses - Gazole routier	409 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 26 tonnes PTRAC - Grand volume - Gazole routier	156 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 35 tonnes PTRAC - Porte-voitures - Gazole routier	189 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Marchandises diverses/longue distance – Gazole routier	84,0 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Marchandises diverses/régional - Gazole routier	83,0 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Grand volume - Gazole routier	93,1 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Avec groupe froid - Gazole routier/gazole non routier	98,7 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Benne TP - Gazole routier	105 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Benne céréalière - Gazole routier	99,5 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Porte-conteneur - Gazole routier	91,6 g CO <sub>2</sub> / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRAC - Citerne - Gazole routier	86,7 g CO <sub>2</sub> / t.km
Fourgon 8 mètres cube - Déménagement - Gazole routier	175 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km
Porteur 45 mètres cube - Déménagement - Gazole routier	52,5 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km
Ensemble articulé 90 mètres cube - Déménagement - Gazole routier	33,3 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km

- **Tableau 4.36** Taux d'émission de CO<sub>2</sub> pour chaque type de véhicule. [Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012].

#### 4.5.3.5. Exemples numériques

##### 4.5.3.5.1. Exemple 1 :

Un prestataire de transport routier de marchandises souhaite calculer l'information CO<sub>2</sub> relative aux prestations de transport qu'il réalise durant ce processus de livraison de marchandises.

Le prestataire identifie :

- Le type de véhicule utilisé pour ces prestations s'agit en l'occurrence d'un ensemble articulé de 40 t de PTRAs/ marchandise diverse.
- La donnée agrégée correspondante dans le **Tableau 4.36**: 83,0 g CO<sub>2</sub>/ t.km.
- Le taux de consommation de source d'énergie correspondant (voir **Tableau 4.35**): 0.342 l/km.
- Le facteur d'émission correspondant à la source d'énergie « Gazole » : 3.07 kg (CO<sub>2</sub>) /l selon le **Tableau 4.34**.
- La prestation de transport de 5 palettes représentant 2,5 tonnes.
- Le prestataire collecte la distance de la prestation sur un distancier routier : 28,6 km.
- Puis il applique les formules :

$$\text{Information CO}_2(\text{charge}) = 83,0 \text{ g CO}_2 / \text{t.km} \times 2,5 \text{ t} \times 28,6 \text{ km} = 5,93 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Information CO}_2(\text{vide}) = 0,342 \text{ l/km} \times 3,07 \text{ kg (CO}_2) / \text{l} \times 28,6 \text{ km} = 30,02 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Information CO}_2(\text{totale}) = 5,93 + 30,02 = 35,95 \text{ kg CO}_2$$

##### 4.5.3.5.2. Exemple 2 :

On souhaite calculer les émissions CO<sub>2</sub> totales d'un véhicule de type : ensemble articulé 40 tonnes PTRAs/ grand volume

On a comme données :

- Taux d'émission = 93.1 g CO<sub>2</sub>/ t.km. (**Tableau 4.36**).
- Taux de consommation de source d'énergie = 0.379 l/km (**Tableau 4.35**).
- Facteur d'émission = 3.07 kg (CO<sub>2</sub>) /l (**Tableau 4.34**).
- Poids de la charge 2 tonne.
- Distance à parcourir de l'entrepôt jusqu'au client = 20 km (allé et retour).  
Le véhicule doit livrer la charge et revenir vide à l'entrepôt.

$$\text{Information CO}_2(\text{charge}) = 93,1 \text{ g CO}_2 / \text{t.km} \times 2 \text{ t} \times 20 \text{ km} = 3,72 \text{ kg}$$

$$\text{Information CO}_2(\text{vide}) = 0,379 \text{ l/km} \times 3,07 \text{ kg (CO}_2) / \text{l} \times 20 \text{ km} = 23,27 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Information CO}_2(\text{totale}) = 3,72 + 23,27 + 23,27 = 50,26 \text{ kg CO}_2$$



### 4.6. Expérimentation

Dans notre cas d'étude, tous les véhicules qui sont concernés par la distribution sont de la même catégorie, leurs caractéristiques sont décrites dans le tableau ci-dessous, en utilisant les mêmes contraintes, et comme fonction-objectif la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Minimiser } & \sum_v \sum_{i1} \sum_k \sum_c \sum_p (taux_{em_k} * dist1_{i1} * masse_k + taux_{con_k} * dist1_{i1} * fact) \\
 & * V1_{i1,k,c,p,v} \\
 & + \sum_v \sum_{i1} \sum_{i2} \sum_k \sum_c \sum_p (taux_{em_k} * dist2_{i1,i2} * (masse_k - \sum_v \sum_{i1} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} \\
 & * masse_{p_p} * V1_{i1,k,c,p,v}) + taux_{con_k} * dist2_{i1,i2} * fact) * V2_{i1,i2,k,c,p,v}) \\
 & + \sum_v \sum_{i2} \sum_{i3} \sum_k \sum_c \sum_p (taux_{em_k} * dist3_{i2,i3} * (masse_k \\
 & - \sum_v \sum_{i1} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V1_{i1,k,c,p,v}) \\
 & - \sum_v \sum_{i1} \sum_{i2} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V2_{i1,i2,k,c,p,v}) + taux_{con_k} \\
 & * dist3_{i2,i3} * fact) * V3_{i2,i3,k,c,p,v}) \\
 & + \sum_v \sum_{i3} \sum_{i4} \sum_k \sum_c \sum_p (taux_{em_k} * dist4_{i3,i4} * (masse_k \\
 & - \sum_v \sum_{i1} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V2_{i1,i2,k,c,p,v}) \\
 & - \sum_v \sum_{i1} \sum_{i2} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V2_{i1,i2,k,c,p,v}) + \\
 & - \sum_v \sum_{i2} \sum_{i3} \sum_k \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V3_{i2,i3,k,c,p,v}) + taux_{con_k} \\
 & * dist4_{i3,i4} * fact) * V4_{i3,i4,k,c,p,v} \\
 & + \sum_v \sum_{i3} \sum_{i4} \sum_k taux_{con_k} * dist5_{i4} * fact * Y4_{i3,i4,k,v}
 \end{aligned}$$

Cette formule sert à minimiser la somme des émissions CO<sub>2</sub> pendant toutes les rotations faites par les camions, depuis le départ de l'entrepôt principal, visitant les stations qui doivent être desservi jusqu'au retour au point de départ.

Les paramètres utilisés de plus :

- Taux\_em<sub>k</sub> : taux d'émission de co<sub>2</sub> de camion k (kg CO<sub>2</sub> /tonne.km).
- Masse\_p<sub>p</sub> : masse volumique de produit p (tonne/m<sup>3</sup>).
- Taux\_con<sub>k</sub> : taux de consommation de la source d'énergie pour camion k (l/km)
- Fact : facteur d'émission de la source d'énergie (kg CO<sub>2</sub> /l.
- Masse<sub>k</sub> : la masse de camion au moment de sortir de centre de distribution (tonne), avec :

$$\begin{aligned}
 masse_k = & \sum_{i1} \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V1_{i1,k,c,p,v} \\
 & + \sum_{i1} \sum_{i2} \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V2_{i1,i2,k,c,p,v} \\
 & + \sum_{i2} \sum_{i3} \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V3_{i2,i3,k,c,p,v} \\
 & + \sum_{i3} \sum_{i4} \sum_c \sum_p cap_{k,c} * masse_{p_p} * V4_{i3,i4,k,c,p,v} \dots \dots \dots \forall k. \forall v
 \end{aligned}$$

- Les données utilisées pour le calcul de la fonction objectif (d'après l'AMEME et Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie sont mentionnées dans le tableau suivant :

Type véhicule	Taux d'émission	Facteur d'émission	Taux de consommation de source d'énergie
<b>Ensemble articulé 40 tonnes PTR A - Citerne</b>	0.867 kg CO <sub>2</sub> / t.km	3.07 kgCO <sub>2</sub> /l	0,353 l / km - Gazole routier

**Tableau 4.37** Caractéristiques des véhicules de distribution de NAFTAL

**4.6.1. Deux stations :**

**4.6.1.1. Mono produit :**

- **Données :**

Voir *Tableau 3.6*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	133.6050	96.87478	105.683	161.7272	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> privé	25 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Privé	/
<b>Affectation</b>	O→1→1→2→2→O	O→3→3→2→O	O→4→4→3→3→O	O→5→5→4→4→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	12 min 04s	10 min 24 s	11 min 25 s	15 min 02 s	/

**Tableau 4.38** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à deux stations

• **Discussion :**

Pour une demande de deux stations d'un seul produit, pour les quatre premières instances on remarque que le temps de calcul ne dépasse pas les 15 minutes. Dans le choix des véhicules, notre modèle a choisi d'affecter les véhicules aux clients en minimisant le total des distances surtout dans le chemin de l'allé car la quantité de CO<sub>2</sub> émise lorsque le véhicule est chargé est plus grande que lorsqu'il est vide.

On remarque que dans l'instance 2 et 4, notre modèle a favorisé les camions privés, car dans ce modèle on a pas un facteur de favoritisation des camions, la seule chose qui décide le choix des camions est la quantité de dioxyde de carbone émise.

On remarque une infaisabilité dans la cinquième instance qui est due à la condition la plus importante dans la politique de l'entreprise, c'est que le véhicule ne peut sortir si est seulement s'il est plein. Ici on propose d'appeler des clients qui sont dans le même chemin que les stations qui ont demandé 6 et 7m<sup>3</sup> pour voir s'ils ont besoin des produits, pour avoir un camion complet, sinon la commande de ces deux stations ne peut être satisfaite que pendant la journée prochaine.

**4.6.1.2. Multi produit :**

• **Données :**

Voir **Tableau 3.8**

• **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
	204.8352	Infaisable	156.7642	226.8121	209.6791
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé		27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation Camion 1</b>	O →1→1→1→1→O		O →5→5→7→7→O	O →9→9→9→11→O	O →6→6→8→8→O O

<b>Affectation camion 2</b>	O →1→1→1→2→O		O →9→11→11→11→O	→6→8→8→8→O
<b>Temps d'exécution</b>	18 min 35 s	8 min 12 s	19 min 02 s	14 min 38 s

**Tableau 4.39** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à deux stations

• **Discussion :**

Pour les demandes de deux stations de plusieurs produits pour les instances 1,3,4 et 5, on remarque que le temps de calcul dépasse les 8 minutes avec des valeurs des fonctions-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru. La logique de notre modèle reste la même, commençant par la station la plus proche en minimisant le total des distances.

On remarque que la somme des demandes dans la deuxième instance est un peu loin des capacités des camions disponibles ce qui cause une infaisabilité de calculer une solution optimale, car un camion ne peut pas sortir du centre de distribution avec un compartiment vide.

**4.6.2. trois stations :**

**4.6.2.1. Mono produit :**

• **Données :**

Voir *Tableau 3.10*

• **Résultats :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance 5</b>
<b>Valeur objective</b>	121.5525	119.5512	127.5453	133.7451	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> privé	30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O→1→4→6→6→O	O→3→5→8→O	O→10→7→11→11→O	O→3→9→9→2→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	29 min 31 s	27 min 23 s	27 min 49 s	29 min 44 s	/

**Tableau 4.40** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à trois stations

• **Discussion :**

Pour ces demandes de trois stations d'un seul produit pour les quatre premières instances on remarque que le temps de calcul est un peu long (environ 29 minutes) avec des valeurs de fonction-objectif qui se diffèrent à cause de choix de camion utilisé et la distance parcouru. Pour la livraisons les deux types des véhicules sont utilisés tout dépend de la capacité appropriée aux demandes.

On remarque que ce n'était pas possible d'obtenir une solution optimale dans la cinquième instance ce que peut être expliqué par le fait que les commandes sont inférieures aux capacités des camions disponibles et on ne peut pas livrer des quantités supérieures aux demandes, on propose que la première station augmente la demande de la station 5 (de 8m<sup>3</sup> à 9m<sup>3</sup>) pour pouvoir faire une rotation avec la camion 1 qui est privé.

**4.6.2.2. Multi produits :**

- **Données :**

Voir *Tableau 3.12*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	305.2523	infaisable	296.4823	267.8455	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	
<b>Affectation Camion1</b>	0→2→2→2→2→0		0→2→2→2→2→0	0→6→11→11→11→0	
<b>Affectation camion 2</b>	0→5→1→1→1→0		0 →1→3→2→2→0	0→1→1→1→6→0	
<b>Affectation camion 3</b>	0→5→5→5→1→0		/		
<b>Temps d'exécution</b>	47 min 20 s		49 min 33 s	52 min 17 s	

**Tableau 4.41** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à trois stations

- **Discussion :**

Pour des demandes de trois stations de plusieurs produits pour les instances 1, 3 et 4 on remarque que le temps de calcul commence à augmenter d'une façon exponentielle par rapport au cas précédents où il a abouti jusqu'à 52 minutes

On remarque une infaisabilité dans la cinquième et la deuxième instance car les demandes sont inférieures aux capacités des camions d'une façon qu'il reste des compartiment vides, et ce n'est pas possible d'effectuer des rotations que si d'autres stations demandent des quantités des produits pour accomplir les compartiments des camions.

4.6.3. quatre stations :

4.6.3.1. Mono produit :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.14*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	223.5626	151.5515	176.5845	213.8545	102.6314
<b>Camions utilisés</b>	25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privé	30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation Camion 1</b>	O →1→1→7→5→0	O →10→10→10→10→0	O →7→4→4→4→0	O →1→1→1→2→0	O →10→10→11→9→0
<b>Affectation camion 2</b>	O →8→8→8→8→0	O →4→6→6→2→0	O →1→1→3→3→0	O →6→6→3→1→0	/
<b>Temps d'exécution</b>	43 min 14 s	57 min 02 s	1h 05 min 21 s	46 min 02 s	37 min 14 s

**Tableau 4.42** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à quatre stations

- **Discussion :**

Pour une demande de quatre stations d'un seul produit pour cinq instances on remarque que le temps de calcul atteint 1 heure. En minimisant les distances parcourues et les émissions CO<sub>2</sub>.

4.6.3.2. Multi produit

- **Données :**

Voir *Tableau 3.16*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	245.1552	265.8742	336.1554	Infaisable	359.2421
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 privé		27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal 27 Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→5→5→0	O →10→6→6→6→0	O →3→1→1→1→0		O →10→10→9→0

<b>Affectation camion 2</b>	O →8→7→7→7→O	O →4→4→4→10→O	O →3→3→1→7→O	O →11→11→11→11→O
<b>Affectation camion 3</b>			O →7→4→4→4→O	O →7→7→9→9→O
<b>Temps d'exécution</b>	3h 12 min 05 s	4h 20 min 13 s	3h 43 min 47 s	2h 56 min 12 s

**Tableau 4.43** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à quatre stations

• **Discussion :**

Dans ce cas des demandes de quatre stations de plusieurs produits pour les instances 1,2, 3 et 5 on remarque que le temps de calcul commence à augmenter jusqu'à 4 heures.

On remarque une infaisabilité dans la quatrième instance car la somme des demandes sont inférieures aux capacités des camions et ce n'est pas possible d'effectuer des rotations que si d'autres stations demandent des quantités des produits pour accomplir les capacités des compartiments des camions. On propose que la station 1 augmente la demande du produit 3 de 5 à 6 m<sup>3</sup> pour pouvoir faire une rotation avec le camion 3.

**4.6.4. cinq stations :**

**4.6.4.1. Mono produit :**

• **Données :**

Voir *Tableau 3.18*

• **Résultats :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance 5</b>
<b>Valeur objective</b>	261.7523	253.7942	281.1821	232.1006	246.1514
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →3→3→4→4→O	O →1→1→1→1→O	O →7→7→7→9→O	O →2→2→5→5→O	O →4→4→2→2→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→2→5→O	O →3→5→4→2→O	O →3→8→8→11→O	O →3→6→4→O	O →1→1→5→6→O /
<b>Temps d'exécution</b>	1h 14 min 35 s	1h 43 min 24 s	2h 43 min 22 s	1h 57 min 02 s	/

**Tableau 4.44** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à cinq stations

• **Discussion :**

On remarque dans ce cas que le temps de calcul varie d'une à deux heures, la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée commence à augmenter jusqu'à 281 kg.

**4.6.4.2. Multi produit**

- **Données :**

Voir **Tableau 3.20**

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	356.5452	376.2522	446.4796	485.6891	398.3674
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →3→3→3→4→0	O →3→4→4→4→0	O →7→7→8→8→0	O →3→3→5→5→0	O →5→5→5→5→0
	O →4→4→5→5→0		O →3→3→3→3→0		O →2→4→4→1→0
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→1→2→2→0	O →2→3→4→1→0	O →9→11→11→0	O →2→5→4→6→0	O →6→6→4→1→0
<b>Affectation camion 3</b>		O →5→5→2→2→0	O →7→9→8→8→0	O →2→2→5→6→0	
<b>Temps d'exécution</b>	7h 25 min 13 s	5h 10 min 26 s	8h 06 min 29 s	7h 41 min 07 s	6h 57 min 04 s

**Tableau 4.45** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à cinq stations

- **Discussion :**

Dans ce cas, l'exécution nous a pris beaucoup de temps (jusqu'à 8 heures), car à cause de l'augmentation de la taille des instances. En minimisant les distances à parcourir et les émissions de CO<sub>2</sub> dont ces dernières atteignent les 485 kg.

**4.6.5. six stations :**

**4.6.5.1. Mono produit :**

- **Données :**

Voir *Tableau 3.22*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
--	------------	------------	------------	------------	------------



<b>Valeur objective</b>	217.8963	268.8922	259.1682	324.5488	264.2495
<b>Camions utilisés</b>	30 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→3→4→7→O	O →5→5→5→5→O	O →3→9→7→6→O	O →8→2→2→2→O  O →5→5→9→9→O	O →9→9→2→2→O
<b>Affectation camion 2</b>		O →11→11→10→8→O	O →4→4→4→4→O		O →3→6→6→6→O
<b>Temps d'exécution</b>	5h 02 min 35 s	3h 12 min 21 s	3h 41 min 21 s	4h 23 min 03 s	5h 52 min 14 s

**Tableau 4.46** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à six stations

• **Discussion :**

A chaque fois qu'on ajoute des stations la valeur de la fonction-objectif (la quantité de carbone émise) et le temps de calcul dans notre modèle s'augmentent, le temps d'exécution atteint les 5 heures et les émissions atteignent les 324 kg de CO<sub>2</sub>.

**4.6.5.2. Multi produit**

• **Données :**

Voir **Tableau 3.24**.

• **Résultats :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance 5</b>
<b>Valeur objective</b>	627.5452	589.1150	498.6713	Infaisable	524.3021
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→3→3→O	O →10→9→9→9→O	O →3→3→3→9→O		O →7→9→3→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →4→4→4→2→O	O →7→8→8→8→O  O →10→5→5→5→O	O →3→7→9→9→O		O →7→9→6→6→O

<b>Affectation camion 3</b>	O →7→7→7→11→O	O →4→4→4→6→O	O →5→5→5→8→O
		O →1→1→1→7→O	O →9→7→6→3→O
<b>Temps d'exécution</b>	17h 03 min 14 s	14h 23 min 24 s	23 h 16 min 25 s
			21h 53 min 17 s

**Tableau 4.47** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à six stations

• **Discussion :**

Dans le présent cas, on remarque que ce n'était pas possible de trouver une solution optimale, car les capacités des camions ne sont pas compatibles avec les demandes, en plus le camion ne peut pas faire plus que trois rotations. On peut remarquer aussi que l'exécution prend beaucoup de temps (jusqu'à 23 heures).

**4.6.6. sept stations**

**4.6.6.1. Mono produit :**

• **Données :**

Voir *Tableau 3.26*

• **Résultats :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance 5</b>
<b>Valeur objective</b>	475.9442	526.5874	471.0123	519.1032	infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	
<b>Affectation camion 1</b>	O 1→2→2→4→O	O →10→7→11→4→ O	O →3→3→6→6→ O	O →3→8→5→6→ O	
<b>Affectation camion 2</b>	O →9→9→8→8→O	O →9→8→8→8→O	O →1→2→4→9→ O	O →10→7→7→9→ O	
<b>Affectation camion 3</b>	O →10→10→11→11→ O				
<b>Temps d'exécution</b>	6 h 12 min 35 s	6h 45 min 21 s	8h 14 min 05 s	5h 46 min 52 s	4 h 24 min 08 s

**Tableau 4.48** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à sept stations

- **Discussion :**

Pour des demandes de sept stations d'un seul produit pour les instances 1, 2, 3 et 4 on remarque que chacun des camions a été utilisé une seule fois (une rotation), mais dans la cinquième instance, il y a un seul camion qui a été utilisé trois fois (3 rotations), car c'est le seul camion qui peut satisfaire les demandes avec les capacités de ces compartiments.

**4.6.6.2. Multi produit**

- **Données :**

Voir *Tableau 3.28*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	912.1496	861.3567	786.3179	826.3725	926.4862
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> privé 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→4→10→O	O →9→9→5→11→O	O →1→2→3→O	O →6→6→6→6→O O →7→7→7→7→O	O →3→3→3→4→O
	O →11→11→8→8→O	O →7→8→4→10→O			O →4→4→5→5→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→11→11→O	O →5→5→8→8→O	O →1→9→3→6→O O →11→11→4→4→O	O →8→10→10→10→O O →5→5→3→3→O	O →1→11→9→4→O
<b>Affectation camion 3</b>	O →9→9→8→2→O		O →9→9→2→2→O		O →6→6→6→6→O
<b>Temps d'exécution</b>	28h 17 min 49 s	25 h 18 min 25 s	31h 06 min 02 s	23h 51 min 04 s	25h 16 min 26 s

**Tableau 4.49** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à sept stations

- **Discussion**

On remarque dans ce cas que le temps de calcul a dépassé le jour (24 heures) et les quantités des émissions de carbone ont atteint les 912 kg de CO<sub>2</sub>, car il existe plusieurs rotations à cause de la taille des instances.

**Remarque :**

Car on a eu une extension dans le temps d'exécution de notre modèle, on a dû passer de sept stations à onze stations en prenant des cas où des stations n'ont pas fait des commandes.

4.6.7. onze stations

4.6.7.1. Mono produit :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.30*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	594.5222	423.7861	515.3281	537.2664	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→2→2→4→O	O →4→7→10→11→O	O →3→3→6→6→O	O →3→8→6→5→O	/
<b>Affectation camion 2</b>	O →8→8→9→9→O	O →8→8→8→9→O	O →1→4→9→2→O	O →7→7→9→3→O	/
<b>Affectation camion 3</b>	O →10→10→11→11→O				/
<b>Temps d'exécution</b>	23 h 11 min 07 s	21h 20 min 13 s	27 h 23 min 15s	31 h 14min 36 s	

**Tableau 4.50** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison d'un seul produit à onze stations

- **Discussion :**

On remarque que le modèle donne des résultats proches à ceux du premier modèle, en minimisant le total des distances. On remarque que la valeur de la fonction-objectif augmente ainsi que le temps de calcul.

Concernant la cinquième instance on a pas pu obtenir des résultats car les capacités des camions ne sont pas compatibles avec les demandes.

4.6.7.2. Multi produit :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.32*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	953.2525	868.3249	892.0265	763.1251	889.2186
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> privés 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal

<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→4→10 →O	O →9→9→11→5 →O	O →1→3→2→O	O →6→6→6→6→ O O →7→7→7→7→ O	O →3→3→4→4 →O O →4→4→5→5 →O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→11→11 →O	O →5→10→8→8 →O	O →1→3→6→9→ O O →11→11→4→4 →O	O →1→10→10→8 O→O →5→5→3→3→ O	O →1→3→9→11 →O
<b>Affectation camion 3</b>	O →9→9→8→2→ O		O →9→9→2→2→ O		O→6→6→6→6 →O
<b>Temps d'exécution</b>	27h 20min 15 s	20h15min 02 s	31h 57min 10 s	21 h 35min 14 s	23 h 12 min 14 s

**Tableau 4.51** Résultats de minimisation des émissions CO<sub>2</sub> de livraison de plusieurs produits à onze stations

• **Discussion :**

On remarque dans les instances 1 et 2, la solution obtenue est la même que du premier modèle, puis dans les instances restantes, il a laissé les mêmes affectations, il a changé seulement l'ordre des stations à visiter pour obtenir des meilleurs résultats

**4.7. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons proposé un modèle d'optimisation mono-objectif qui sert à minimiser la somme des émissions de dioxyde de carbone lors de la distribution quotidienne des produits pétroliers (carburants). Ce modèle sert à affecter les produits à livrer aux compartiments des véhicules et les véhicules aux clients, dans le but de trouver des rotations optimales qui réduisent les quantités de CO<sub>2</sub> dégagées, mais ses solutions (rotations) peuvent entraîner une dégradation de la valeur du premier objectif qui est la valeur du bénéfice qui est l'enjeu principal de toute société commerciale.

Dans le chapitre suivant nous allons proposer un troisième modèle qui sert à satisfaire les deux objectifs : l'objectif financier et l'objectif vert.

# Chapitre 5 : Optimisation multi-objectifs pour l'amélioration du transport routier des carburants de l'entreprise NAFTAL

## 5.1. Introduction :

De divers types de problèmes technologiques dans l'industrie et plusieurs autres domaines dont l'ingénieur peut rencontrer une certaine complexité à les résoudre, implique de l'optimisation simultanée de plusieurs objectifs. Dans quelques cas, les objectifs sont définis avec des unités incomparables et ils peuvent présenter un degré de conflit entre eux, ce type de problèmes est appelé : problème d'optimisation multi-objectifs.

On prend par exemple une entreprise qui est spécialisée par la livraison des marchandises, elle est intéressée d'un côté par la minimisation du temps de transport pour améliorer le service client, d'un autre côté, cette entreprise veut aussi minimiser le nombre de véhicules utilisés pour minimiser les charges et les coûts opérationnels. C'est clair qu'il existe un conflit entre ces deux objectifs, en ajoutant d'autres véhicules cela réduit le temps de livraison, mais augmente les coûts opérationnels et vice-versa, en plus les objectifs de ce problème sont exprimés avec des différentes unités de mesure (temps Vs coût).

Dans le présent chapitre, on s'intéresse à combiner simultanément entre les deux cas étudiés dans les deux chapitres précédents : maximisation de profit de l'entreprise et minimisation des émissions du CO<sub>2</sub> des véhicules utilisés dans la distribution, en utilisant une méthode d'optimisation multi-objectifs appelée : LP-Metric, dont notre enjeu est d'avoir le maximum de bénéfice et protéger l'environnement pour un transport durable dans le secteur étudié.

## 5.2. Généralité sur l'optimisation multi-objectifs :

### 5.2.1. Définitions et utilité :

Dans le domaine de la recherche opérationnelle, l'optimisation joue un rôle primordial, elle sert à modéliser, analyser les paramètres et résoudre le problème en déterminant des solutions satisfaisantes pour l'objectif traité tout en respectant des contraintes spécifiques.

L'**optimisation** en général consiste à trouver parmi un ensemble de solutions en tenant compte de certaines contraintes une solution dite « optimale » d'une fonction-objectif. Cette solution optimale peut être la plus petite valeur (s'il s'agit d'un problème de minimisation) ou la plus grande valeur (problème de maximisation), ce concept est inclus l'optimisation mono-

objectif. Mais dans quelques contextes décisionnels, la prise en compte d'un seul objectif n'est pas suffisante, on parle ici de l'optimisation multi-objectifs.

L'**optimisation multi-objectifs** est une branche de l'optimisation classique, elle sert à optimiser simultanément deux ou plusieurs objectifs d'un même problème qui sont dans la plupart des cas contradictoires suivant un ensemble de performances.

L'optimisation multi-objectifs permet de rechercher les valeurs des variables d'un problème qui maximisent ou minimisent un ou plusieurs fonctions-objectif. Il peut s'agir par exemple de minimiser un coût de production, de rationaliser l'utilisation de ressources, d'améliorer les performances énergétiques d'un procédé industriel, etc. Elle procède donc par la définition au préalable des critères de qualité de la solution du problème, puis l'algorithme d'optimisation va résoudre le problème en cherchant les meilleures solutions en fonction de ces critères. Ainsi, la formulation du problème d'optimisation comporte les étapes suivantes :

- Exprimer les critères (ou fonctions) objectif d'optimalité.
- Choisir les paramètres (ou variables) d'optimisation.
- Définir un espace admissible pour les variables d'optimisation.
- Définir les contraintes associées (impératives ou indicatives) [JEAN.D,2010]

### 5.2.2. Formulation des problèmes multi-objectifs

Un problème d'optimisation multi-objectifs peut être formulé, d'une façon générale, selon les équations suivantes :

$$\text{minimiser (ou maximiser)} f_i(x) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Soumis aux contraintes :

$$\begin{aligned} g_j(x) &\geq 0 & j &= 1, 2, \dots, q \\ h_k(x) &= 0 & k &= 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

Où  $m$  est le nombre de fonctions-objectif,  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$  est un vecteur de  $n$  variables de décision dont chaque variable  $x$  est définie dans les limites supérieure  $x_i^u$  et inférieure  $x_i^l$ . Les expressions  $g_j(X)$  et  $h_k(X)$  sont respectivement des contraintes d'inégalités et d'égalités.

Les fonctions-objectif du problème d'optimisation forment un espace multidimensionnel appelé espace des fonctions-objectif, en plus du traditionnel espace des variables de décision [JEAN.D,2010].

### 5.3. Etat de l'art et travaux existants :

Plusieurs auteurs ont été intéressés par l'optimisation multi-objectifs qui a été utilisée dans de nombreux domaines :

JEAN.D [JEAN.D,2010] propose une méthode pour optimiser le cycle thermodynamique de la boucle secondaire d'une centrale nucléaire en terme de puissance produite et du rendement thermique, en utilisant un algorithme génétique adapté en cherchant l'ensemble de solutions Pareto optimales.

Chatelain et al. [Chatelain et al. 2012] proposent une méthode d'optimisation multi-objectifs pour la sélection de modèle SVM, en utilisant l'algorithme NSGA-II appliqué à une tâche de discrimination chiffre/rejet embarquée dans un système d'extraction d'information dans des documents manuscrits.

Maamar [Maamar 2016] présente un modèle bi-objectif et multi période pour résoudre le problème d'affectation dans une place de marché de prospects internet, en utilisant des modèles et des algorithmes de prévision adaptés.

Moffaert et al. [Moffaert et al. 2013] proposent une fonction de scalarisation non linéaire appelée « Chebyshek » qui est une fonction de scalarisation d'apprentissage de renforcement multi-objectifs. Les auteurs montrent que cette méthode peut découvrir toutes les solutions optimales de Pareto dans un environnement convexe.

Sazvar et al. [Sazvar et al. 2013] développent un modèle mathématique stochastique et proposent une nouvelle politique de réapprovisionnement dans le cadre d'une chaîne logistique centralisée pour des articles détériorés, en considérant le coût de transport et d'inventaire ainsi que l'impact sur l'environnement dans le cas où les demandes sont indéterminées.

Mirzapour Al-e-hashem et al. [Mirzapour Al-e-hashem et al. 2011] proposent un modèle de programmation multi-objectifs de deux niveaux pour résoudre le problème de planification de production-distribution multi-période, multi-produit et multi-site à moyen terme et dans le cas d'incertitude. Le modèle proposé a pour objectif de minimiser le coût total prévu de toute la chaîne logistique, minimiser la variance du coût total et maximiser la productivité des employés. Ce modèle est résolu par un algorithme hybride qui est une combinaison entre les méthodes Monte Carlo,  $\epsilon$ -constant modifiée et L-Shaped, appliquées sur des exemples numériques pour valider le modèle.

Vahdani et al. [Vahdani et al. 2016] proposent un modèle composé basé sur la méthode TOPSIS pour résoudre les problèmes de programmation linéaire multi-objectifs en large proportion avec des paramètres fuzzy dans les fonctions-objectif et les contraintes, en utilisant la programmation linéaire crisp multi-objectifs pour résoudre le problème.

Galindo et al. [Galindo et al. 2014] présentent une méthode d'optimisation multi-objectifs du processus de désulfuration du diesel, ils proposent cinq configurations de distillation avec un moteur adjoint pour le processus d'hydrodésulfuration en minimisant le coût total annuel, les émissions CO<sub>2</sub> et la quantité de soufre composé.

Hoseini et al. [Hoseini et al. 2013] développent un modèle multi-objectifs de tarification d'inventaire d'un commerçant, en considérant les délais de mise en œuvre et le niveau du stock pour maximiser le profit et pour améliorer le niveau du service, les auteurs proposent une approche de résolution en utilisant une combinaison entre la méthode LP-Metric et un algorithme génétique pour résoudre le problème.

Mirzapour Al-e-hashem et al. [Mirzapour Al-e-hashem et al. 2011-(1)] proposent un modèle d'optimisation multi-objectifs pour la planification de production d'une chaîne logistique qui inclut plusieurs fournisseurs, plusieurs producteurs et plusieurs clients dans un problème multi-période et multi-produit sous l'incertitude. Le modèle proposé sert à minimiser les charges et les coûts totaux et minimiser le maximum du manque au niveau des clients pour



assurer la satisfaction pendant toutes les périodes, en considérant les capacités des stocks, le temps de réalisation et la productivité des employés, ce modèle est résolu autant qu'un seul objectif en appliquant la méthode LP-Métric.

Behnamian et al. [Behnamian et al. 2014] présentent une étude d'un ordonnancement d'un flow shop hybride avec la règle juste à temps en considérant le makespan et la somme des temps de retard simultanément. Pour résoudre ce problème ils utilisent la méthode Weighted LP-Metric en intégrant des méta-heuristiques tels que recherche tabou pour améliorer la qualité de solution.

Bozorgi-Amiri et al. [Bozorgi-Amiri et al. 2011] développent une approche de programmation stochastique robuste pour la logistique du secours contre les catastrophes. Le modèle proposé sert à minimiser la somme et la variance du coût total prévu, maximiser la satisfaction client et minimiser le maximum des ruptures des stocks en utilisant la méthode LP-Métric qui est appliquée à un cas réel d'un séisme dans une région à Iran.

Mohamadi et Sadeghi [Mohamadi et Sadeghi. 2014] proposent un modèle de programmation non linéaire multi-objectifs du choix des fournisseurs, en minimisant les coût d'achat, du rebut et du stock, ainsi que les émissions CO<sub>2</sub> et en maximisant la somme des achats de chaque fournisseur, ce modèle est appliqué dans un cas des produits multiples avec une demande stochastique et une probabilité de distribution uniforme, en utilisant la méthode LP-Metric et un algorithme génétique.

#### **5.4. Méthode de résolution :**

Dans l'optimisation mono-objectif, il est possible de déterminer parmi un ensemble de solutions si l'une est meilleure que l'autre, par conséquent on obtient une seule solution optimale. Mais dans le cas de l'optimisation multi-objectifs il n'existe pas une méthode exacte pour savoir si une solution est la meilleure, toute les méthodes –presque- sont des méthodes approximatives.

Dans la suite nous allons présenter quelques concepts et méthodes qui servent à la résolution des problèmes d'optimisation multi-objectifs qu'on peut les résumer en cinq classes :

- Les méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM).
- Les méta-heuristiques.
- Les méthodes Pareto.
- Les méthodes Non Pareto.
- Les méthodes hybrides.

##### **5.4.1. Les MCDMs :**

Voir chapitre 1 - 1.5.3.

##### **5.4.2. Les méta-heuristiques :**

Voir chapitre 1- .1.5.2

### 5.4.3. Les méthodes Pareto :

#### 5.4.3.1. Multiple Objectives Genetic Algorithm (MOGA)

Cet algorithme, proposé par Fonseca et Fleming (1993), utilise la notion de dominance pour ranger les individus de la population. Il diffère de l'algorithme génétique standard uniquement dans la manière dont la fitness est assignée pour chaque solution. Pour démarrer l'algorithme, les relations de domination sont d'abord calculées pour chaque solution. Puis, pour une solution  $i$ , un rang égal à un plus le nombre de solutions ni qui dominent la solution  $i$  est attribué. Une fitness est ensuite attribuée à chaque solution en fonction de son rang, les individus avec les rangs les plus faibles ayant les meilleures fitness. Afin de maintenir la diversité entre les solutions non dominées, les auteurs utilisent une fonction de partage (*Sharing*). [Guenounou,2009]

#### 5.4.3.2. Non dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) :

Dans l'algorithme NSGA proposé par Srinivas et Deb (1993), le calcul de fitness s'effectue en divisant d'abord la population en plusieurs fronts en fonction du degré de dominance au sens de Pareto de chaque individu. Les individus non dominés de la population courante constituent le premier front de Pareto. On attribue alors à tous les individus de ce front la même valeur de fitness factice. Cette valeur est supposée donner une chance égale de reproduction à tous ces individus. Mais pour maintenir la diversité de la population, il est nécessaire d'appliquer une fonction de partage sur cette valeur. Ensuite, ce premier groupe d'individus est temporairement supprimé de la population. On recommence cette procédure jusqu'à l'identification des solutions du deuxième front. La valeur factice de fitness attribuée à ce second groupe est inférieure à la plus petite fitness, après application de la fonction de partage sur le premier front. Ce mécanisme est répété jusqu'à ce que l'on ait traité tous les individus. L'algorithme se déroule ensuite comme un algorithme génétique standard. Grâce à sa procédure d'assignement de fitness basée à la fois sur la notion de dominance et la fonction de partage, le NSGA semble le plus approprié à maintenir la diversité de la population et à répartir plus efficacement les solutions sur le front de Pareto. Néanmoins, cet algorithme présente quelques insuffisances en raison de sa complexité de calcul et de sa sensibilité au choix de la valeur  $\sigma_{\text{shar}}$  [Guenounou,2009].

#### 5.4.3.3. Niche Pareto Genetic Algorithm (NPGA) :

Cette méthode proposée par Horn et Nafpliotis (1994) utilise une sélection par tournoi en se basant sur la notion de dominance de Pareto. Le NPGA exécute les mêmes étapes que l'AG standard, la seule chose qui diffère étant la méthode de sélection. A chaque tournoi, deux individus candidats A et B sont pris au hasard dans la population courante. Au lieu de limiter la comparaison aux deux individus (comme c'est le cas pour l'AG standard), une sous population (ou ensemble de comparaison) de taille  $t_{\text{dom}}$  est également choisie au hasard. Les deux candidats sélectionnés sont comparés à chaque individu du sous-groupe. Si l'un des candidats est dominé par l'ensemble de comparaison et le second ne l'est pas, ce dernier est alors positionné dans la population suivante. Dans les autres cas, une fonction de partage est appliquée pour choisir le candidat gagnant. Le paramètre  $t_{\text{dom}}$  permet de contrôler la pression de sélection ou de dominance. L'algorithme NPGA est considéré comme étant l'algorithme le plus rapide

parmi les approches précédentes car à chaque génération la comparaison n'est appliquée que sur une portion de la population. Le principal inconvénient de cet algorithme est qu'il nécessite, en plus de spécifier le paramètre de sharing  $\sigma_{\text{shar}}$ . Un autre paramètre supplémentaire qui est la taille du tournoi  $t_{\text{dom}}$  [Guenounou,2009].

**5.4.3.4. Non dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) :**

Toutes les méthodes que nous venons de présenter ne conservent pas leurs solutions Pareto optimales trouvées au cours des générations. Elles sont dites non élitistes. Pour résoudre cette difficulté, de nouvelles techniques ont été appliquées. Nous avons choisi de présenter uniquement le NSGA-II. En proposant le NSGA II, le chercheur Deb (Deb et al. 2002) a tenté de résoudre toutes les critiques faites sur NSGA : non élitiste, complexité de calcul et utilisation de sharing qui implique le réglage d'un ou plusieurs paramètres. Dans cet algorithme, à chaque génération  $t$  une population de parents ( $P_t$ ) de taille  $N$  et une population d'enfants ( $Q_t$ ) de même taille sont assemblées pour former une population ( $R_t$ ) de taille  $2N$ , Cet assemblage permet d'assurer l'élitisme. La population ( $R_t$ ) est ensuite répartie en plusieurs fronts ( $F_1, F_2,$ ) par une procédure de tri, plus rapide que celle proposée dans la première version de NSGA. Une nouvelle population parent ( $P_{t+1}$ ) est formée en ajoutant les fronts au complet (premier front  $F_1$ , second front  $F_2$ , etc.) tant que ce ceux-ci ne dépassent pas  $N$ . Si le nombre d'individus présents dans( $P_{t+1}$ ) est inférieur à  $N$ , une procédure de crowding est appliquée. La Figure 5-1 illustre le principe de fonctionnement de NSGA-II [Guenounou,2009].

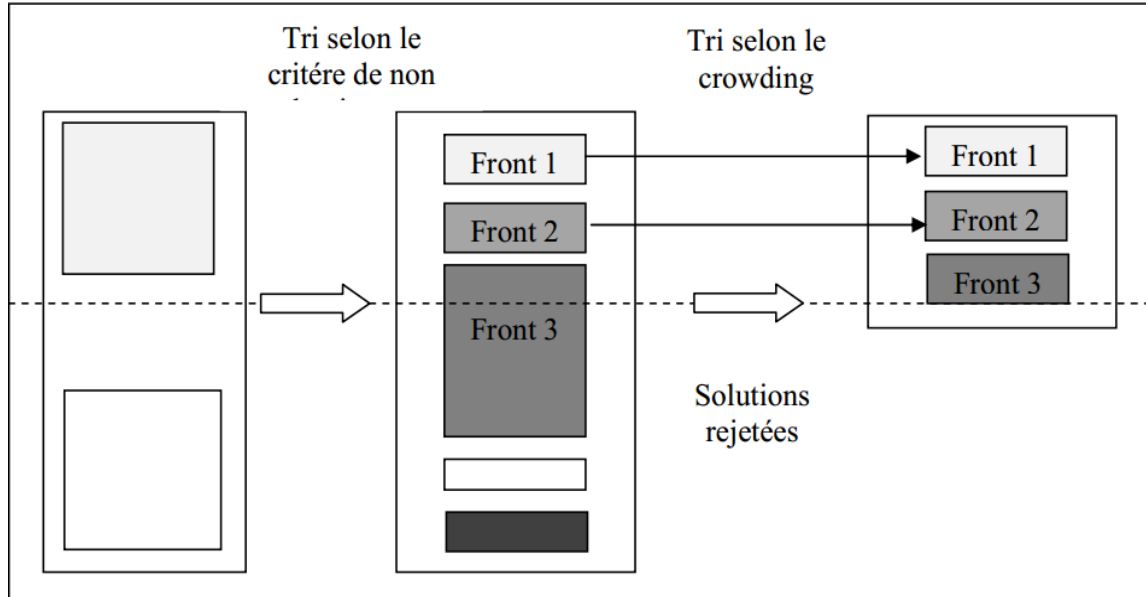


Figure 5-1 : Principe de fonctionnement de NSGA-II.

**5.4.3.5. Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA) :**

En 1998 Zitzler et Thiele proposent une nouvelle méthode d'optimisation multi-objectifs qui possède les caractéristiques suivantes :

- Utilisation du concept de Pareto pour comparer les solutions.

- Un ensemble de solutions Pareto-optimales est maintenu dans une population externe appelée archive.
- La fitness de chaque individu est calculée par rapport aux solutions stockées dans l'archive.
- Toutes les solutions de l'archive participent à la sélection.
- Une méthode de clustering est utilisée pour réduire l'ensemble de Pareto sans supprimer ses caractéristiques.
- Une nouvelle méthode de niche, basée sur Pareto, est utilisée afin de préserver la diversité.

L'avantage essentiel est qu'elle n'exige pas de réglage de paramètres de sharing [Berro, 2001].

#### 5.4.3.6. Pareto Archived Evolution Strategy (PAES) :

Cette méthode a été développée initialement comme une méthode de recherche locale. Les premiers travaux de Knowles et Corne ont montré que cette méthode simple objectif fournissait des résultats supérieurs aux méthodes de recherche basées sur une population. Par conséquent, les auteurs ont adapté cette méthode aux problèmes multi-objectifs. Les particularités de cette méthode sont les suivantes :

- Elle n'est pas basée sur une population. Elle n'utilise qu'un seul individu à la fois pour la recherche des solutions.
- Elle utilise une population annexe de taille déterminée permettant de stocker les solutions temporairement Pareto-optimales.
- L'algorithme utilisé est très simple et inspiré d'une stratégie d'évolution ( $i+1$ ).
- Elle utilise une technique de crowding basé sur un découpage en hyper cubes de l'espace des objectifs [Guenounou,2009].

### 5.4.4. Les méthodes Non Pareto.

Les méthodes non Pareto ne traitent pas le problème comme un problème multi-objectifs. Elles cherchent à transformer le problème initial à un ou plusieurs problèmes mono-objectif. Parmi ces approches on trouve :

#### 5.4.4.1. Les méthodes Agrégées :

##### 5.4.4.1.1. Agrégation par pondération :

Dans cette approche, le but consiste à ramener le problème multicritère à un problème monocritère plus simple à traiter. Cette méthode est la plus simple des méthodes d'optimisation multi-objectifs. La transformation que l'on effectue est la suivante :

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^m w_i * f_i(x)$$

$$\text{Avec } x \in X, \quad w_i \in [0,1] \text{ et } \sum_{i=1}^m w_i = 1$$

$X$  : représente le domaine réalisable.  
 $w_i$  : Appelé le poids, est une pondération associée au critère, cette pondération permet d'exprimer des préférences sur les critères de décision [Avilla, 2006].

#### 5.4.4.1.2. Méthode $\varepsilon$ -contrainte :

Elle est aussi dite méthode du compromis. Elle transforme un problème d'optimisation multi-objectifs en un problème d'optimisation mono-objectif de la façon suivante :

- Choisir un objectif à optimiser prioritairement.
- Choisir un vecteur de contraintes initiales  $\varepsilon$ .

Transformer le problème en gardant l'objectif prioritaire et en transformant les autres objectifs en contraintes d'inégalités comme suit :

$$\begin{aligned} & \text{Minimiser } f_1(x) \\ & \text{Tel que } f_2(x) \leq \varepsilon_2 \dots f_m(x) \leq \varepsilon_m \\ & x \in X \end{aligned}$$

Cette approche a l'avantage par rapport à la précédente dans les problèmes non convexes, mais présente plusieurs inconvénients à savoir :

- La formulation des préférences utilisateur est délicate et nécessite une connaissance approfondie du problème de départ.
- Les contraintes rajoutées compliquent la résolution du problème [Mahdi, K. 2003]

#### 5.4.4.1.3. Méthode de Weighted Metrics

Cette méthode consiste à transformer le problème multi-objectifs en un problème à un seul objectif où l'on cherche à minimiser l'écart relatif par rapport à un point de référence appelé but fixé par la méthode ou le décideur. Il existe plusieurs manières de caractériser la distance entre un point de référence (le but) et un autre, notamment à l'aide de normes [Kammarti, 2006].

Cette méthode est aussi appelée « compromise programming » et « LP-Metric » elle est défini de la manière suivante :

$$\text{Minimiser } \left( \sum_{i=1}^m w_i (f_i(x) - z_i^*)^p \right)^{1/p}$$

La méthode Min-Max représente un cas particulier de cette méthode, elle s'appelle aussi l'approche Tchebychev et elle est formulée par cette équation :

$$\text{Minimiser } \text{Max} \left( \sum_{i=1}^m w_i (f_i(x) - z_i^*) \right)$$

#### 5.4.4.2. Méthode de lexicographique :

Fourman a proposé une méthode dans laquelle les objectifs sont préalablement rangés par ordre d'importance par le décideur. Ensuite, l'optimum est obtenu en minimisant tout d'abord la fonction-objectif la plus importante puis la deuxième et ainsi de suite. Soient les fonctions-objectifs  $f_i$  avec  $i = 1, \dots, k$ , supposons un ordre tel que :  $f_1 > f_2 > \dots > f_k$ . Il faut :

$$\text{Minimiser } f_i(x)$$

$$\text{Avec : } g_j(x) \text{ satisfait : } j = 1, \dots, m$$

La procédure est répétée jusqu'à ce que tous les objectifs soient traités. La solution obtenue l'étape  $k$  sera la solution du problème. L'inconvénient essentiel de cette méthode est la grande importance attribuée aux objectifs classés en premier. La meilleure solution  $f_1$  trouvée pour l'objectif le plus important va faire converger l'algorithme vers une zone restreinte de l'espace d'Etat et enfermer les points dans une niche (ensemble d'individus situés dans un espace restreint) [Berro, 2001].

#### 5.4.5. Les méthodes hybrides :

Afin d'améliorer les performances d'un algorithme, on essaye de le combiner avec une autre méthode. Ce principe général appelé hybridation, peut s'appliquer à plusieurs méthodes. Un cas particulier de l'hybridation entre deux méthodes consiste à combiner un algorithme génétique avec une méthode de recherche locale. Dans une telle hybridation on substitue souvent la mutation par une méthode de recherche locale. Dans le cas des problèmes multi-objectifs on peut citer les méthodes hybrides suivantes :

- La méthode MOTS combinant une population et une recherche Tabou.
- La méthode PSA combinant un algorithme génétique et le recuit simulé.
- La méthode M-PAES intégrant un schéma généralisant l'implémentation d'un grand nombre d'algorithmes hybrides pour l'optimisation multi-objectifs [Mahdi, K. 2003].

#### 5.5. L'approche proposée : LP-Metric method :

Nous proposons comme méthode pour résoudre notre problème d'optimisation multi-objectifs la méthode LP-Metric. L'idée constituée derrière cette méthode est de trouver la solution faisable la plus proche à un point de référence qui est généralement la solution idéale. Quelques auteurs tel que Duckstein [Duckstein, 1984] et Zeleny [Zeleny, 1973] ont appelé cette méthode « compromise programming ». La fonction-objectif est exprimée de la manière suivante :

$$\text{Minimiser } \left( \sum_{i=1}^m w_i (f_i(x) - z_i^*)^p \right)^{1/p}$$

Avec :

- $w_i$  Représente le poids ou bien la valeur d'importance de chaque fonction-objectif, avec  $w_i > 0$ . Quelques auteurs tel que Mirzapour Al-e-hashem et al. [Mirzapour Al-e-hashem et al. 2011-(1)] et Bozorgi-Amiri et al. [Bozorgi-Amiri et al. 2011] ont considéré  $0 < w_i < 1$  où la somme des  $w_i = 1$ , mais l'approche la plus générale est de prendre ces poids comme nombre entier strictement positif. Les poids sont générés généralement par le décideur, pour identifier quel objectif a la priorité d'être vérifié.
- $z_i^*$  Représente la solution optimale de la fonction-objectif  $z_i(x)$  tel que :

$$f_i(x) = \frac{z_i(x)}{z_i^*}$$

Pour simplifier, on prend le cas de deux fonctions-objectif, la fonction LP-Metric s'exprime comme suit :

$$\text{Min} \frac{z_1(x) - z_1^*}{z_1^*} + \frac{z_2(x) - z_2^*}{z_2^*}$$

S'il s'agit de deux fonctions-objectif,  $z_1(x)$  est une fonction de minimisation et  $z_2(x)$  est une fonction de maximisation, la fonction multi-objectifs s'exprime de la manière suivante :

$$\text{Min} \frac{z_1(x) - z_1^*}{z_1^*} - \frac{z_2(x) + z_2^*}{z_2^*}$$

La valeur de  $p$  indique le type de la métrique, pour  $p=1$  : toutes les déviations du point de références  $z_i^*$  sont prises en compte, pour  $1 < p < \infty$  seulement les plus larges déviations sont considérées.

Pour bien simplifier, on prend un simple exemple :

On veut construire une chambre avec les dimensions  $A$  et  $B$ . d'une part on veut minimiser le coût de construction de cette chambre, d'autre part on veut maximiser sa surface. On peut constater que ces objectifs sont contradictoires, maximiser la surface implique la maximisation du coût alors qu'on cherche à le minimiser, en considérant les conditions suivantes :

- Le coût de réalisation d'une unité de mesure de surface = 5 unités d'argents.
- Le diamètre de la chambre ne doit pas dépasser 18. Pour vérifier cela, on utilise la théorie de Pythagore, dont le diamètre carré =  $A^2 + B^2 = 18^2 = 324$ .
- Le périmètre doit être supérieur à 50.

Le problème s'exprime comme suit :

### 1/ Minimisation du coût de construction :

$$Z1 = \text{Min}(A * B * 5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A > 1 \\ B > 1 \\ A^2 + B^2 \leq 324 \\ 2 * A + 2 * B \geq 50 \end{array} \right.$$

### 2/ Maximisation de la surface :

$$Z2 = \text{Max}(A * B)$$

$$\begin{cases} A > 1 \\ B > 1 \\ A^2 + B^2 \leq 324 \\ 2 * A + 2 * B \geq 50 \end{cases}$$

3/ LP-Metric :

$$\text{Min} \frac{Z1 - z_1^*}{z_1^*} - \frac{Z2 + z_2^*}{z_2^*}$$

$$\text{ie:} \quad \text{Min} \frac{A * B * 5 - z_1^*}{z_1^*} - \frac{A * B + z_2^*}{z_2^*}$$

Après faire des simulations sous Lingo10, on a obtenu les résultats suivants :

	Wi	Objectif	A	B	Surface	périmètre	
<b>Z1</b>		570	19	6	114	50	
<b>Z2</b>		196	14	14	196	56	
<b>LP-Metric</b>	1	1	-1.581633	19	6	114	50
	2	1	-1.581633	19	6	114	50
	3	1	-1.581633	19	6	114	50
	>3	1	-1.581633	19	6	114	50
	1	2	-3.280702	14	14	196	56
	1	3	-5.280702	14	14	196	56
	1	>3	<-5.280702	14	14	196	56

**Tableau 5.52** Résultats d'exemple

On peut remarquer que les résultats convergent vers la solution de Z1 de minimisation du coût soit lorsqu'on n'affecte aucune priorité et on donne des poids égaux soit lorsqu'on la favorise. La solution obtenue dans ce cas et dans toutes les instances est stable et s'agit du minimum d'écart entre la solution idéale qui est le point de références.

Lorsqu'on favorise la fonction-objectif Z2 et la donne plus de poids, cet écart commence à augmenter à chaque fois on augmente son poids puisque à chaque fois on s'éloigne de la solution idéale.

## 5.6. Expérimentations :

Nous allons expérimenter les même scénarios (instances) que nous avons générés dans les deux chapitres précédents avec les même contraintes, paramètres et variables de décision dans un seul modèle LP-Métrie, ou nous allons mettre des poids égaux : 1 pour la fonction-objectif du premier modèle et 1 pour la fonction-objectif du deuxième modèle

### 5.6.1. Deux stations :

#### 5.6.1.1. Mono produit :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.6*

- **Résultats :**



	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-2.035981	-2.002648	-2.002145	-2.012551	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> privé	25 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Privé	/
<b>Affectation</b>	0→1→1→2→2→0	0→2→3→3→0	0→4→4→3→3→0	0→5→5→4→4→0	/
<b>Temps d'exécution</b>	4 min 04s	2 min 24 s	6 min 25 s	3 min 02 s	/

Tableau 5.53 Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produit à deux stations

• **Discussion :**

On remarque dans la première instance la solution obtenue est la même que les deux objectifs, dans la deuxième instance la solution choisie est celle du premier modèle (profit) et dans les instances 3 et 5, la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>).

Ce choix est dû à l'écart entre la solution idéale et la solution obtenue, la solution de l'objectif qui a le plus petit écart est celle qui est prise par la méthode LP-Métric.

On remarque que le temps de calcul n'est pas très long dans ce cas (de 3 à 6 min) et la valeur de l'écart est négative, cela peut être expliqué par le fait la valeur de la première fonction-objectif est supérieure à celle du deuxième (le profit en DA et les émissions de carbone en kg).

5.6.1.2. **Multi produit :**

• **Données :**

Voir *Tableau 3.8*.

• **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
	-2.171961	Infaisable	-2.956128	-1.229721	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé		27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation Camion 1</b>	0 →1→1→1→1→0		0 →5→5→7→7→0	0 →9→9→9→9→0	0 →6→6→8→8→0 0
<b>Affectation camion 2</b>	0 →1→1→1→2→0			0 →11→11→11→11→0	→6→8→8→8→0
<b>Temps d'exécution</b>	8 min 32 s		7 min 03 s	9 min 52 s	7 min 56 s

**Tableau 5.54** Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produit à deux stations

- **Discussion :**

On remarque dans la première et la quatrième instance la solution obtenue est la même que les deux objectifs, et dans les instances 3 et 5, la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>). Et puisque dans l'instance 2 les deux modèles précédents n'ont donné aucune solution, dans ce modèle aussi on ne peut pas calculer et obtenir des résultats

On remarque aussi que le temps de calcul est acceptable dans ce cas (de 7 à 9 min).

### 5.6.2. trois stations :

#### 5.6.2.1. Mono produit :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.10*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-1.995522	-1.996525	-1.984141	-1.991642	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> privé	30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation camion 1</b>	O→1→4→6→6→O	O→3→3→5→8→O	O→7→10→11→11→O	O→3→2→9→9→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	5 min 21 s	9 min 29 s	3 min 19 s	5 min 44 s	/

**Tableau 5.55** Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produit à trois stations

- **Discussion :**

On remarque dans la première et la deuxième instance que la solution obtenue est la même que les deux objectifs, dans la troisième et la quatrième instance la solution obtenue est différente des deux solutions des deux modèles mono-objectif, concernant le dernier cas, cette instance ne peut pas être résolue dans les deux modèles précédents donc c'est logique qu'on ne peut pas trouver une solution multi-objectifs (les quantités demandées ne sont pas compatibles avec les capacités des camions).

#### 5.6.2.2. Multi produits :

- **Données :**

Voir *Tableau 3.12*

• Résultats :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-1.9846124	infaisable	-1.981512	-1.955454	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	
<b>Affectation Camion 1</b>	0→2→2→2→2→0		0→2→2→2→2→0	0→6→11→11→11→0	
<b>Affectation camion 2</b>	0→1→1→1→5→0		0 →1→3→2→2→0	0→1→1→1→6→0	
<b>Affectation camion 3</b>	0→1→5→5→5→0		/		
<b>Temps d'exécution</b>	12 min 20 s		6 min 33 s	7 min 17 s	

Tableau 5.56 Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à trois stations

• Discussion :

On remarque dans la première instance la solution obtenue est celle du premier modèle (profit), dans les instances 3 et 4, la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>). Dans la deuxième et la cinquième instance ce n'était pas évident de trouver des solutions dans les deux modèles mono-objectif. Le temps de calcul est acceptable par rapport à celui du modèle de minimisations des émissions de carbone.

5.6.3. quatre stations :

5.6.3.1. Mono produit :

• Données :

Voir *Tableau 3.14*

• Résultats :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-2.057248	-2.155652	-2.015482	-2.316454	-2.485421
<b>Camions utilisés</b>	25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privé	30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation Camion 1</b>	0 →1→1→7→5→0	0 →10→10→10→10→0	0 →7→4→4→4→0	0 →2→1→1→1→0	0 →11→10→10→9→0

<b>Affectation camion 2</b>	O →8→8→8→8→O	O →2→4→6→6→O	O →1→1→3→3→O	O →6→6→3→1→O	/
<b>Temps d'exécution</b>	6 min 14 s	8 min 32 s	13min 11 s	10 min 03 s	14 min 20 s

Tableau 5.57 Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à quatre stations

• **Discussion :**

On remarque dans l'instance 2 la solution obtenue est celle du premier modèle (profit), dans l'instance 1, la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>). Dans l'instance 3 et 4 la solution était un mélange entre les solutions du premier et de du deuxième modèle, il affecté un camion selon le premier et l'autre camion selon le deuxième, et dans la dernière instance il a donnée des résultats totalement différents

5.6.3.2. Multi produit

• **Données :**

Voir *Tableau 3.16*

• **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-2.015485	-2.124525	-1.998912	Infaisable	-2.015445
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé		27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→5→5→O	O →10→6→6→6→O	O →1→1→1→3→O		O →10→10→9→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →8→7→7→7→O	O →4→4→4→10→O	O →3→3→1→7→O		O →11→11→11→11→O
<b>Affectation camion 3</b>			O →7→4→4→4→O		O →7→7→9→9→O
<b>Temps d'exécution</b>	22 min 15 s	20 min 03 s	23 min 57 s		26 min 42 s

Tableau 5.58 Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à quatre stations

• **Discussion :**

On remarque dans l'instance 1, 2, 3 et 4 la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>). Dans la quatrième instance ce n'était pas évident de trouver des solutions dans les deux modèle mono-objectif

5.6.4. cinq stations :

5.6.4.1. Mono produit :

- Données :

Voir *Tableau 3.18*

- Résultats :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-1.859554	-1.931521	-2.013155	-2.00056	-1.953614
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →3→3→4→4→O	O →1→1→1→1→O	O →7→7→7→9→O	O →2→2→5→5→O	O →4→4→2→2→O  O →5→6→1→1→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→2→2→5→O	O →2→3→4→1→O	O →3→8→8→11→O	O →3→6→4→O	
<b>Temps d'exécution</b>	23 min 25 s	21 min 28 s	23 min 29 s	26 min 32 s	18 min 14 s

Tableau 5.59 Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à cinq stations

- Discussion :

On remarque dans l'instance 2 la solution obtenue est celle du premier modèle (profit), dans l'instance 1,3 et 4 la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>) et dans la dernière instance il a donnée des résultats totalement différents. On remarque aussi que le temps de calcul commence à augmenter (de 18 à 26 minutes).

5.6.4.2. Multi produit

- Données :

Voir *Tableau 3.20*

- Résultats :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-2.158455	-2.24841	-2.015481	-1.869451	-1.955125
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal

<b>Affectation camion 1</b>	O →3→3→3→4→O	O →3→4→4→4→O	O →7→7→8→8→O	O →3→3→5→5→O	O →5→5→5→5→O
	O →4→4→5→5→O		O →3→3→3→3→O		O →1→4→4→2→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →1→1→2→2→O	O →1→3→4→2→O	O →11→11→9→O	O →2→5→4→6→O	O →1→6→6→4→O
<b>Affectation camion 3</b>		O →5→5→2→2→O	O →7→9→8→8→O	O →2→2→5→6→O	
<b>Temps d'exécution</b>	1h min 53 s	2h 07 min 06 s	2h 46 min 29 s	1h 41 min 27 s	1h 27 min 14 s

Tableau 5.60 Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à cinq stations

• **Discussion :**

On remarque que à chaque fois la taille des instances la qualité de solution devient plus complexe à juger, par exemple dans l'instance 1 et 4 la solution obtenue est la même que celle du deuxième modèle, mais dans les instances restantes la solution est un mélange de solutions, d'une façon qu'une ou quelques rotations est obtenue à partir du premier modèle et d'autres sont obtenues à partir de l'autre. Le temps de calcul dépasse 1 heure (jusqu'à 2 heures).

5.6.5. six stations :

5.6.5.1. Mono produit :

• **Données :**

Voir *Tableau 3.22*

• **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-1.986132	Infaisable	-2.014842	-2.125245	-1.89425
<b>Camions utilisés</b>	30 m <sup>3</sup> Naftal		27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→3→4→7→O		O →3→9→6→7→O	O →8→2→2→2→O	O →9→9→2→2→O
				O →5→5→9→9→O	
<b>Affectation camion 2</b>			O →4→4→4→4→O		O →3→6→6→6→O
<b>Temps d'exécution</b>	22 min 35 s		41 min 21 s	33 min 23 s	42 min 24 s

**Tableau 5.61** Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à six stations

• **Discussion :**

On remarque dans l'instance 1, 4 et 5 la solution obtenue est celle du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>).

Dans l'instance 3 la solution était un mélange entre les solutions du premier et de du deuxième modèle, il affecté un camion selon le premier et le deuxième et l'autre camion a été acheminé différemment que dans les deux modèles mono-objectif, et dans la deuxième c'était pas possible d'obtenir une solution, cela peut être dû à l'écart entre les deux solutions de ce cas.

**5.6.5.2. Multi produit**

• **Données :**

Voir *Tableau 3.24*

• **Résultats :**

	<b>Instance 1</b>	<b>Instance 2</b>	<b>Instance 3</b>	<b>Instance 4</b>	<b>Instance5</b>
<b>Valeur objective</b>	-2.054815	-2.123682	-2.004672	Infaisable	-2.016875
<b>Camions utilisés</b>	27 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> privé 27 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> Naftal		27 m <sup>3</sup> privé 12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→1→3→3→O	O →10→9→9→9→O	O →3→3→3→9→O		O →7→9→3→O
<b>Affectation camion 2</b>	O →4→4→4→2→O	O →7→8→8→8→O  O →10→5→5→5→O	O →3→7→9→9→O		O →7→9→6→6→O
<b>Affectation camion 3</b>	O →7→7→7→11→O		O →4→4→4→6→O  O →1→1→1→7→O		O →5→5→5→8→O  O →3→7→6→9→O
<b>Temps d'exécution</b>	2h 10 min 32 s	1h 43 min 25 s	2 h 26 min 15 s		2h 13 min 17 s

**Tableau 5.62** Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à six stations

• **Discussion :**

On remarque dans l'instance 1 et 2 la solution obtenue est celle du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>).

Dans l'instance 3 et 5 la solution était un mélange entre les solutions du premier et de du deuxième modèle, il affecté un camion selon le premier et l'autre camion selon le deuxième, on remarque une infaisabilité de trouver une solution dans l'instance 4, car les ce cas n'a pas donné de résultats dans les deux modèles mono-objectif. Le temps de calcul a augmenté par rapport aux cas précédents (jusqu'à 2 heures 26 minutes).

**5.6.6.sept stations**

**5.6.6.1. Mono produit :**

- **Données :**

Voir *Tableau 3.26*

- **Résultats :**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-2.126555	-2.004625	-1.956152	-2.046882	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→2→2→O	O →4→11→10→7 →O	O →3→3→6→6 →O	O →3→8→5→6→ O	
<b>Affectation camion 2</b>	O →9→9→8→8→O	O →9→8→8→8→O	O →1→2→4→9 →O	O →10→7→7→9 →O	
<b>Affectation camion 3</b>	O →11→11→10→10 →O				
<b>Temps d'exécution</b>	2 h 53 min 25 s	1 h 11 min 21 s	2h 27 min 35 s	1h 57 min 42 s	

**Tableau 5.63** Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à sept stations

- **Discussion :**

On remarque dans l'instance 1 et 2 la solution obtenue est celle du premier modèle (profit), dans l'instance 3, la méthode LP-Métric a favorisé la solution du deuxième modèle (émissions CO<sub>2</sub>). On remarque aussi que ce n'était pas possible d'obtenir une solution optimale dans l'instance 5 malgré les deux modèles mono-objectif ont obtenu des résultats, cela peut être expliqué par le fait que la solution idéale (le point de références) est plus loin des deux solutions.



5.6.6.2. Multi produit

- Données :

Voir *Tableau 3.28*

- Résultats :

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance 5
<b>Valeur objective</b>	-1.894511	-1.94515	-1.891552	-2.064815	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privé	27 m <sup>3</sup> privé 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	
<b>Affectation camion 1</b>	0 →1→4→4→10→0 0 →11→11→8→8→ 0	0 →9→9→11→5 →0 0 →7→8→4→10 →0	0 0→3→1→2→0	0 →6→6→6→6→0 0 →7→7→7→7→0	
<b>Affectation camion 2</b>	0 →1→2→11→11 →0	0 →5→5→8→8→0	0 →3→1→6→9→ 0 0 →11→11→4→4 →0	0 →8→10→10→10 →0 0 →5→5→3→3→0	
<b>Affectation camion 3</b>	0 →9→9→8→2→0		0 →9→9→2→2→ 0		
<b>Temps d'exécution</b>	4 h 27 min 51 s	5 h 11 min 35 s	3 h 56 min 18 s	2 h 41 min 14 s	

**Tableau 5.64** Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à sept stations

- Discussion :

On remarque dans l'instance 1 et 4 la solution obtenue est la solution commune entre les deux modèles, dans l'instance 2 et 3 la solution obtenue est celle du premier modèle (profit) où le temps de calcul varie de 2 heures à 5 heures

On remarque que ce n'était pas possible d'obtenir une solution optimale dans l'instance 5 malgré les deux modèles mono-objectif ont obtenu des résultats, cela peut être expliqué par le fait que la solution idéale (le point de références) est plus loin des deux solutions.

5.6.7. onze stations

5.6.7.1. Mono produit :

- Données :

Voir *Tableau 3.30*

• **Résultats**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-1.545351	-1.915512	-2.05456	-1.953525	Infaisable
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	27 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> Naftal	/
<b>Affectation</b>	O →1→4→2→2→O	O →4→7→11→7→O	O →3→3→6→6→O	O →3→8→6→5→O	/
	O →9→9→8→8→O	O →8→8→8→9→O	O →1→4→9→2→O	O →7→7→9→3→O	/
	O →11→11→10→10→O				/
<b>Temps d'exécution</b>	56 min	1h 20 min	75 min	1 h 15min	

**Tableau 5.65** Résultats de LP-Metric de livraison d'un seul produits à onze stations

• **Discussion**

On remarque dans ces résultats que le modèle d'optimisation multi objective a favorisé la solution du premier objectif dans les instances 1 et 3, et dans l'instance 2 il a choisi la solution obtenue par le deuxième modèle.

Concernant l'instance 4, il a affecté un camion selon la solution de premier modèle, et l'autre selon la deuxième, et dans le la cinquième instance, on a pas obtenu des résultats dans les deux premiers modèles alors c'est logique qu'il ne va pas donner des solutions.

**5.6.7.2. Multi produit**

• **Données**

Voir *Tableau 3.32*

• **Résultats**

	Instance 1	Instance 2	Instance 3	Instance 4	Instance5
<b>Valeur objective</b>	-1.68553	-2.06866	-1.698451	-2.987612	-1.984621
<b>Camions utilisés</b>	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal 30 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés	27 m <sup>3</sup> privés 30 m <sup>3</sup> Naftal 12 m <sup>3</sup> Naftal	12 m <sup>3</sup> Naftal 25 m <sup>3</sup> Naftal	30 m <sup>3</sup> Naftal 27 m <sup>3</sup> privés 12 m <sup>3</sup> Naftal
<b>Affectation camion 1</b>	O →1→4→4→10 →O	O →9→9→11→5 →O	O →3→1→2→O	O →6→6→6→6→ O →7→7→7→7→ O	O →3→3→4→4 →O O →4→4→5→5 →O
	O →11→11→8→8 →O	O →7→8→4→10 →O			

<b>Affectati on camion 2</b>	O →1→2→11→11 →O	O →5→10→8→8 →O	O →1→3→6→9→ O →11→11→4→4 →O	O →8→10→10→1 0→O →3→3→5→5→ O	O →1→3→9→11 →O
<b>Affectati on camion 2</b>	O →9→9→8→2→ O		O →9→9→2→2→ O		O→6→6→6→6 →O
<b>Temps d'exécuti on</b>	12h 20min 35 s	10h 15min 23 s	9h 57min 01 s	10 h 22 min 27 s	10h 49min 21 s

**Tableau 5.66** Résultats de LP-Metric de livraison de plusieurs produits à onze stations

• **Discussion :**

On peut remarquer ici que les solutions obtenues dans les deux premiers cas sont les même que les deux modèles, des petits changements dans l'ordre des visites des clients affectés au camions sans changer tout l'acheminement, donc la méthode LP-Metric pouvait combiner entre les deux objectifs sans causer des grands changements dans le système

**5.7. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons proposé une nouvelle approche, nouvelle stratégie pour un transport durable dans cette entreprise, qui est un modèle d'optimisation multi-objectifs dont nos objectifs sont : maximisation du profit et minimisation des émissions CO<sub>2</sub>.

Les résultats obtenus servent à satisfaire les deux enjeux, la solution peut être celle du premier objectif, du deuxième objectif ou même une solution différente des deux résultats des deux objectifs. Parfois ce n'est pas possible d'avoir une solution qui combine entre les deux cas, cela peut être expliqué par le fait que la solution qui est supposée idéale est fort éloignée des deux résultats obtenus précédemment dans ce cas il est pas évident de calculer une solution optimale.

# Conclusion et perspectives

Le transport des marchandises fait une grande partie dans les différentes chaînes logistiques, dont plusieurs chercheurs ont intéressé à étudier et résoudre les problèmes qui se trouvent autour de ce domaine notamment le problème de tournée de véhicule. Le problème de tournée de véhicule était toujours un centre d'intérêt des chercheurs, plusieurs problèmes ont été extraits de VRP classique : multi période, multi produit, multi compartiments, fenêtre du temps, flotte hétérogène et autres.

Dans ce document nous avons trouvé que le problème dans l'entreprise étudiée est un problème de tournée de véhicules multi-compartiment et multi-produit avec une flotte hétérogène des véhicules dans le système de distribution des carburants, où cette entreprise NAFTAL qui est considérée parmi les grandes et les puissantes entreprises dans l'Algérie.

Nous avons pensé à résoudre ce problème en améliorant ce système de distribution par des pistes supplémentaires, nous proposons une nouvelle approche, une nouvelle vision qui s'éloigne de la notion du VRP en développant un modèle efficace spécifique à notre problème, où notre premier objectif est de maximiser le profit, c'est l'objectif qui représente le but de toute entreprise. Le deuxième objectif sert à minimiser les émissions CO<sub>2</sub> dégagées par les véhicules de transport. Plusieurs recherches ont intéressé à ce sujet en minimisant les émissions de carbone pour diminuer l'impact de ces dernières sur l'environnement et pour sensibiliser les entreprises à faire des optimisations qui englobe le côté financier et le côté environnemental.

Cela était l'objet du dernier modèle dans notre travail qui est un modèle d'optimisation multi-objectifs pour obtenir une solution qui satisfait les deux objectifs à la fois, en utilisant une méthode efficace qui a l'avantage que c'est au décideur de prioriser les objectifs à atteindre.

Ce que nous a motivé à entamer ce travail est le fait qu'il n'existe pas assez de travaux dans ce type de problèmes dans le type d'entreprise qu'on a considéré, surtout la minimisation des quantités de CO<sub>2</sub> émises, fières d'être les premiers qui ont réussi à réaliser ce travail en l'appliquant sur un car réel.

Ce travail nous a permis de dégager plusieurs directions que nous souhaitons de continuer à développer et enrichir notre recherche prochainement par les perspectives suivantes :

- Introduire la notion du multi période et de fenêtre du temps pour généraliser le problème.
- Intégration d'une approche d'optimisation à l'aide d'une méta-heuristique l'application sur des systèmes de grande taille.
- Développement d'un algorithme génétique en l'intégrant avec la méthode LP-Metric pour améliorer la qualité des solutions.
- Intégration des méthodes d'aide à la décision multicritère (MCDM) tel que la méthode AHP et TOPSIS.

- Minimisation de la file d'attente lors du chargement des produits dans les véhicules de transport après l'affectation par nos modèles, en utilisant une méthode d'ordonnancement fiable.

# Références bibliographiques

- **[Absi et al. 2012]** N. Absi, S. Dauzère-Pérès, S. Kedad-Sidhoum, B. Penz, C. Rapine (2012). Lot sizing with carbon emission constraints
- **[ADEME,2014]** Etude ADEME. (2014). Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone ®.
- **[AFNOR.1999]** L'Association Française de normalisation (AFNOR). (1999). Logistique :Terminologie. Norme NF X50-600.
- **[Aida, Kaddoussi .2012]** Aida, Kaddoussi. (2012). Optimisation des flux logistiques: vers une gestion avancée de la situation de crise..199 p. thèse préparée dans le laboratoire LAGIS UMR CNRS 8219 a l'Ecole central de Lille.
- **[Akbari Jokaar.2001]**Akbari Jokaar M.P.(2006). 7 decembre 2001 Sur la conception d'une chaine logistique :Une approche globale d'aide a la decision. These de doctorat obtenue a l'Institut National de Polytechnique de Grenoble..
- **[Akbari Jokaar.2002]**Akbari Jokaar M.P.(2002).L'évolution du concept de logistique. Revenue Francaise de Gestion Industrielle .Vol 21/3,p5-22 .
- **[Akhtar et al.2017]** M. Akhtar, M.A. Hannan, R.A. Begum, H. Basri, E. Scavino. (2017). Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid wastecollection and route optimization
- **[Amin, 2016]** N.A. Saidina Amin. (2016). Reducing co2 emissions in biomass power plants using the INCAM model.
- **[Austin.2006]**Austin Baptiste.(2006). memoire fin d'étude ,Paris les méthaheuristique en optimisation combinatoire.
- **[Avilla, 2006]** S. L. Avilla. (2006). Optimisation Multi objective et Analyse de Sensibilité Appliquées à la Conception de Dispositifs, Thèse de doctorat, l'Ecole doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon, France
- **[Behnamian et al. 2014]** J. Behnamian S. M. T. Fatemi Ghomi and M. Zandieh (2014), Realistic variant of just-in-time flowshop scheduling : integration of  $L_p$ -metric method in PSO-like algorithm.
- **[Belghanami .2008]** Belghanami N. (2008). La politique de distribution des produits hydrocarbures cas d'étude NAFTAL district carburant terre de Béchar.
- **[Benyahia, Kizi]** Ben Yahia S, Kizi K. (2016). La gestion du transport du carburant : cas de NAFTAL Béjaia.
- **[Berro, 2001]** A. Berro. (2001). « Optimisation Multi objective et Stratégies d'Evolution en Environnement Dynamique ». Thèse de doctorat, l'université des Sciences Sociales Toulouse I.
- **[Bozorgi-Amiri et al. 2011]**A. Bozorgi-Amiri, M. S. Jabalameli and S. M. J. Mirzapour Al-e-Hashem (2011), A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty
- **[Breuzard ,Fromentin.2004]**Breuzard J.P.,Fromentin D. (2004) Gestion pratique de la chaine logistique :une vision globale des outils de management et de progres. Les Edition demos .

- **[Brown.1981]** Gerald G Brown et Glenn W Graves. (1981). Real-Time Dispatch of Petroleum Tank Trucks. *Management Science*, 27(1) :1932.
- **[Brown.1981]** Gerald G Brown, Carol J Ellis, Glenn W Graves et David Ronen. (1987). Real-Time, Wide Area Dispatch of Mobil Tank Trucks. *Interfaces*, 17(1) : 107120, URL <http://interfaces.journal.informs.org/content/17/1/107.abstract>.
- **[Bruno et al.2010]** Jorge E. Mendoza, Bruno Castanier, Christelle Guéret, Andrés L. Medaglia et Nubia Velasco. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37(11) :1886.
- **[Browne et sackett]** Browne J., Sackett P., Wortmann J.C., (1995). Futur manufacturing systems- toward the extended enterprise, *Computer in Industry* (25).
- **[Cadet .2013]** Cadet D. Optimisation des flux. (2013) .application aux problèmes de distribution en nutrition animale.
- **[Castanier et al.1889]** Jorge E. Mendoza, Bruno Castanier, Christelle Guéret, Andrés L. Medaglia et Nubia Velasco. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37(11) : 18861898.ISSN 03050548.URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054809001713>.
- **[Chatelain et al. 2012]**C. Chatelain, Y. Oufella, S. Adam, Y. Lecourtier et L. Heutte (2012), Optimisation multi-objectifs pour la sélection de modèlesSVM.
- **[Christofides et al.1979]** N Christofides, A Mingozzi et P Toth. (1979). The vehicle routing problem. Pages 315338. Wiley, Chichester.
- **[Cornillier .2008]** Fabien Cornillier, Faye F. Boctor, Gilbert Laporte et Jacques Renaud. (2008). A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem. *European Journal*
- **[Croom et al.2000]**Croom, S., Romano, P., & Giannakis, M. (2000). Supply chain management: an Analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management* , Vol.6, pp. 67-83.
- **[Desrochers et al.1990]** M. Desrochers, J K Lenstraa et M W P Savelsbergh. (1990). A classication scheme for vehicle routing and scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 46(3) :322332,
- **[Duckstein, 1984]** Duckstein, L. (1984). Multiobjective optimization in structural design- The model choice problem. *New directions in optimum structural design (A 85-48701 24-39)*. Chichester, England and New York, Wiley-Interscience, 1984,459–481
- **[Dupuy.2004]**Dupuy.(2004). Analyse et conception d'outils pour la traçabilité de produits agroalimentaires afin d'optimiser la dispersion des lots de fabrication, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Thèse préparée au sein du laboratoire Productique et Informatique des Systèmes Manufacturiers (PRISMa).
- **[Dib,2016]** dib zahéra.(2016). Impact du conditionnement intelligent sur la planification et la traçabilité d'une chaine logistique Agroalimentaire
- **[Figliozzi, 2010]** M. Figliozzi (2010), Vehicle Routing Problem for Emissions Minimization
- **[Fred .1993]** Fred Glover et manual Laguma,USA.(1993).recherche tabou moderne heuristique pour les problème combinatoire.oxford.

- **[Galindo et al. 2014]**E. Miranda-Galindo, J.G. Segovia, S. Hernandez and A. Bonilla-Petriciolet. (2014). Multiobjective Optimization of a Hydrodesulfurization Process of Diesel Using Distillation with Side Reactor.
- **[Ganeshan et al.1995]**Ganeshan, Ram, and Terry P. Harrison.(1995). An Introduction to Supply Chain management. Department of Management Sciences and Information Systems, 303 Beam Business Building, Penn State University, University Park, PA, USA.
- **[Ganeshan et al.1995]**Ganeshan, Ram, and Terry P. Harrison.(1995). An Introduction to Supply Chain management. Department of Management Sciences and Information Systems, 303 Beam Business Building, Penn State University, University Park, PA, USA.
- **[Gilbert.1998]** Gilbert Laporte et Frédéric Semet. (1998). Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem. Cahiers du GERAD G98-54.
- **[Guenounou,2009]** O. Guenounou. (2009). Méthodologie de conception de contrôleurs intelligents par l'approche génétique, application à un Bioprocédé thèse doctorat, l'université de Toulouse
- **[Harmon.1992]**Harmon R.L.(1992). Reinventing the factory 2. The free Press.,
- **[Hendriks et al. 2004]** C.A. Hendriks, E Worrell, D. de Jager, K. Blok, and P. Riemer. (2004). Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry
- **[Hertz et al.1992]** Michel Gendreau, Alain Hertz et Gilbert Laporte. (1992). New Insertion and Post optimization Procédures for the Traveling Salesman Problem. *Operations Research* 40(6) :1086-1094, URL <http://or.journal.informs.org/content/40/6/1086>.
- **[Hoseini et al. 2013]**Z. Hosseini, R.G. Yaghinand M. Esmaili. (2013). A multiple objective approach for joint ordering and pricing planning problem with stochastic lead times
- **[Huang et al.2003]**Huang, G.Q., LAU, J.S.K. et Mak, K.L. (2003). *The impacts of sharing production information on supply chain dynamics : a review of the literature*, *International Journal of Production Research*,2003, Vol. 41, No. 7, pp. 1483-1517.
- **[Hugos.2003]**Hugos M., (2003). Essentials of supply chain management. John Wiley and sons, Inc, New Jersey, USA.
- **[JEAN.D,2010]** JEAN Dipama. (2010). Optimisation multi-objectifs des systèmes énergétiques.
- **[Jih et al.1999]** Jih et al., W. et Hsu, J. (1999). Dynamic vehicle routing using hybrid genetic algorithms. *International Conference on Robotics and Automation*, pages 453–458.
- **[Jung.2000]** Jung, S. and Haghani, A. (2000). Genetic algorithm for a pick-up and delivery problem with time windows. *Transportation Research Record*, 1733(Paper No. 00-0212).
- **[Kammarti,2006]** R. Kammarti. (2006). Approches Evolutionnistes Pour la Résolution du 1-PDPTW Statique et Dynamique, Thèse de doctorat, l'Ecole centrale de Lille et l'université des sciences et technologies de Lille.
- **[Kammarti.2008]** I. Harbaoui Dridi. R. Kammarti. P. Borne et M. Ksouri. (2008). Un Algorithme génétique pour le problème de ramassage et de livraison avec fenêtres de temps à plusieurs véhicules. CIFA 2008, Bucarest (Roumanie), Proc. Article 176.



- **[Kammarti.2009]** Harbaoui Dridi. R. Kammarti. P. Borne et M. Ksouri. Un Algorithme génétique pour l'optimisation du problème de ramassage et de livraison avec fenêtres de temps à plusieurs véhicules. *Automatique Avancée et Informatique Appliquée*, Editura Academiei Române. Pp 143-148, 2009.
- **[Kammarti.2010]** Harbaoui Dridi. R. Kammarti. P. Borne et M. Ksouri. (2010). Multi-objective Optimization For The Dynamic Multi-Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *META'2010*, Tunisie, (Djerba).
- **[Kearney.1994]** Kearney. A.T., (1994). Management approach to Supply Chain Integration, Rapport aux membres de l'équipe de recherche , A.T. Kearney, Chicago.
- **[Kindervater et al. 1997]** G A P Kindervater et M W P Savelsbergh. (1997). Vehicle routing : Handling edge exchanges. In E H L Aarts et J K Lenstra, éditeurs : *Local Search in Combinatorial Optimization*, pages 337-360. Wiley, Chichester.
- **[Koç et al.2014]** Ç. Koç, T. Bektaş, O. Jabali et G. Laporte. (2014). The fleet Size and Mix Pollution- Routing Problem.
- **[Kopfer et Kopfer,2013]** Heiko W. Kopfer, Herbert Kopfe.(2013). Emissions Minimization Vehicle Routing Problem in Dependence of Different Vehicle Classes
- **[LAM Q. D, 2015]** LAM Quoc Dat. (2015). Efficacité énergétique et carbone des différentes formes de distribution au Viêt-Nam et une comparaison avec la France
- **[Lambert Cooper. 2000]** : D.M. Lambert et M.C. Cooper.(2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29, pp 65-83.
- **[Lee et al,2001]** Bambang Kuswandi • Yudi Wicaksono • Jayus • Aminah Abdullah • Lee Yook Heng, [www.gs1ca.org](http://www.gs1ca.org)
- **[Li, Lim.2001]** H. Li et A. Lim. (2001). A metaheuristic for the pickup and delivery problem with time windows. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, volume 13, pages 160– 167.
- **[Li, Lim.2002]** H. Li, A. Lim et B. Rodrigues. (2002). Solving the pickup and delivery problem with time windows using "squeaky wheel" optimization with local search. *SMU Business Conference Paper Series*.
- **[Maamar 2016]** M. Maamar. (2016). Modélisation et optimisation bi-objectif et multi-période avec anticipation d'une place de marché de prospects Internet : adéquation offre/demande
- **[Mahdi, K. 2003]** Mahdi, K. (2003). L'Optimisation Multi-objectifs et l'Informatique Quantique, Mémoire de Magister en informatique. Université de Mentouri Constantine.
- **[Makastoris et al.1996]** Makastoris C., Leach N.P., Richards H.D, Ristic M., Besant C.B. (1996). Addressing the planning and control gaps in semiconductor virtual enterprises, *Proceedings of the conference on Integration in Manufacturing*, 117-129, Galway, Ireland.
- **[Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,2012]** Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.(2012).Guide méthodologique d'application de l'article L. 1431-3 du code des transports.
- **[Mirzapour Al-e-hashem et al. 2011-(1)]** S.M.J. Mirzapour Al-e-hashem, H. Malekly, M.B. Aryanezhad. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty
- **[Mirzapour Al-e-hashem et al. 2011]** S. M. J. Mirzapour Al-e-Hashem, A. Baboli, S. J. Sadjadi, and M. B. Aryanezhad. (2011). A Multiobjective Stochastic Production-

Distribution Planning Problem in an Uncertain Environment Considering Risk and Workers Productivity.

- **[Mirzapour Al-e-hashem et Rekik,2013]** S.M.J. Mirzapour Al-e-hashem, Y. Rekik. (2013). Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option : A green approach
- **[Moffaert et al. 2013]**K. Van Moffaert, M.M. Drugan, A. Nowe. (2013). Scalarized Multi-Objective Reinforcement Learning : Novel Design Techniques.
- **[Mohamadi et Sadeghi 2014]** H. Mohamadi, A. Sadeghi. (2014). Presenting a multi objective model for Supplier selection in order to reduce green house gas emission under uncertainty demand.
- **[Monteiro.2001]**Monteiro T.(2001). Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises: le cas de la relation donneurs d'ordres – fournisseurs, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
- **[Nouira et al. 2014]**I. Nouira, R. Hammami, Y. Frein. (2014). Émissions de carbone dans un modèle de production stockage multi-échelon avec prise en compte des contraintes de délai.
- **[OCDE, 2002]** Etude OCDE. (2002). Stratégies de réduction des gaz à effet de serre émanant du transport routier : méthodes d'analyse.
- **[Olivier .2001]**Olivier D. (2001). complément TD/TP, recherche stochastique.
- **[Ouzizi 2005]**Ouzizi L. (2005). Planification de la production par co-décision et négociation de l'entreprise virtuelle, Thèse de doctorat de l'université de Metz.
- **[Psaraftis1993]** Paul M Thompson et Harilaos N Psaraftis. (1993). Cyclic Transfer Algorithm for Multi-vehicle Routing and Scheduling Problems. *Operations Research*, 41(5) :935946.
- **[Psaraftis.1986]** Jaw, J., Oadini, A., Psaraftis, H., and Wilson, N. (1986). A heuristic algorithm for the multiple-vehicle advance-request dial-a-ride problem with time windows. *Transportation Research*, 20B :243–257.
- **[Quan.2003]** L. Quan et al.et M. Maged. (2003). A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows. *Science direct, European Journal of Operational Research*.
- **[Retel Helmrich et al. 2014]** M.J. Retel Helmrich, R. Jans, W. van den Heuvel, A.P.M. Wagelmans. (2014). The economic lot-sizing problem with an emission capacity constraint
- **[Rohde et al.2000 ]**Rohde, J., Meyr, H. & Wagner, M. (2000). *Die supply chain planning matrix*, in : PPS Management, Vol. 5, No.1, Berlin, pp. 10-15.
- **[Sazvar et al. 2013]** Z. Sazvar, S.M.J. Mirzapour Al-e-hashem, A. Baboli, M.R. Akbari Jokar. (2013). A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products
- **[Semet.2002]** G Laporte et F Semet. (2002). Classical heuristics for the capacitated VRP. In Paolo Toth
- **[Shaw et al. 2012]** K. Shaw, R. Shankar, S.S. Yadav, L.S. Thakur. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain
- **[Shumeet.1994]**Shumeet Baluja.rapport technique.(1994).population based incremental learning .

- [Sol .1994] M. Sol et M. Savelsbergh. (1994). A branch-and-price algorithm for the pickup and delivery problem with time windows. Memorandum COSOR 94-22, Dept. Of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
- [Tayur et al. 2000 ] S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine.(2000). *Quantitative models for supply chain management*. Kluwer Academic Publishers.
- [Thierry , Bel. 2002] : C. Thierry et G. Bel. (2002).Gestion de chaînes logistiques dans le domaine *aéronautique : outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat*. Revue Française de Gestion Industrielle.
- [Thomas , Griffin, 1996 ]: D.J. Thomas, P.M. Griffin.(1996). *Coordinated supply chain management*. European Journal of Operational Research. 94, pp 1-15.
- [Tixier et al.1996]Tixier D., Matche H.,Colin J. (1996). La logistique d'entreprise , vers un management plus compétitif (2eme edition). Edition Dunod, collection Gestion sup. ISBN :2100039075 .
- [Tomas et al.1989]Tomas A,Feo and Marcio. (1989). GCA probabilistic heuristique for computationally difficult set covering probleme.lettre de recherche 8:67,71.
- [Vacic.2002] V. Vacic, M. Tarek et Ph.D. Sobh. (2002). Vehicle Routing Problem with Time Windows. Department of Computer Science and Engineering. University of Bridgeport, USA.
- [Vahdani et al. 2016] B. Vahdani, M. Salimi and B.A. Nadjafi. (2016). A compromise decision-making Model for Multi-objective Large-Scale Programming Problems with a Block Angular Structure under uncertainty.
- [Velasco et al.2006] N. Velasco, P. Dejax, C. Gueret et C. Prins. (2006). Un algorithme génétique pour un problème de collecte bi-objectif. MOSIM.
- [Wagner et al.2000 ]Rohde, J., Meyr, H. & Wagner, M. (2000). *Die supply chain planning matrix*, in : PPS Management,Vol. 5, No.1, Berlin, pp. 10-15
- [Wang et al.2008] C. Wang, M. Larsson<sup>1</sup>, C. Ryman, C.-E. Grip, J.-O. Wikström, A. Johnssonand J. Engdahl.(2008). A model on CO<sub>2</sub> emission reduction in integrated steelmaking by optimization methods
- [Wu et al,2010] Wu W, Simpson, A. R, Maier, Holger R. (2010). Accounting for Greenhouse Gas Emissions in Multi-Objective Genetic Algorithm Optimization of Water Distribution Systems
- [Zeleny,1973] Zeleny, M. (1973). Compromise programming In Cochrane, J. ; Zeleny, M., eds., Multiple Criteria Decision Making, 262–301. University of South Carolina Press, Columbia
- [Zerouk, MOULOUA .2007] Zerouk, MOULOUA .(2007). Ordonnancements coopératifs pour les chaînes logistiques.. 176 p.
- [Lee et Billington.1993 ] HLLee et C. Billington. *Material management in decentralized supply chain*. Operation Research, Vol 41, No 5, 1993.

# Annexes :

## Annexe 1 :

Caractéristiques techniques de divers véhicules de transport routier de marchandises. Source : enquêtes CNR 2010 revus par l'OEET

Catégorie de moyen en de transport	Poids/volume	Usage de moyen de transport	Capacité maximale du moyen de transport	Taux d'utilisation du moyen de transport	Taux de consommation l/100km		Nombre d'unité transportées dans le moyen de transport
					moteur	Groupe froid	
<b>Marchandises diverses</b>							
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Marchandises diverses-longue distance	25 t	50%	34.2		12.50 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Marchandises diverses-régional	25 t	50%	33.8		12.50 t
<b>Grand volume</b>							
<b>Ensemble articulé</b>	26 t PTRA	Grand volume	12 t	50%	30.5		6.00 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Grand volume	25 t	50%	37.5		12.50 t
<b>Spéciaux</b>							
<b>Ensemble articulé</b>	35t PTRA	Porte voiture	15 t	40%	37.0		6.00 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Avec groupe froid	25 t	50%	33.2	7.0	12.50 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Benne TP	25 t	50%	42.7		12.50 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Benne céréalière	25 t	50%	40.5		12.50 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Châssis porte conteneur	25 t	50%	37.3		12.50 t
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTRA	Citerne	25 t	50%	35.3		12.50 t

## Annexe 2 :

Facteurs d'émissions des différents types de véhicules

Catégorie de moyen de transport	Poids / Volume	Usage du moyen de transport	kgCO2e / ...		
			veh.km	tonne.km	m3.km
<b>Express</b>					
<b>VUL</b>	3,5 t PTAC	Express / ramasse, distribution / pli, course	0,547	2,11	-
<b>VUL</b>	3,5 t PTAC	Express / ramasse, distribution / colis	0,547	1,20	-
<b>Porteur</b>	19 t PTAC	Express / traction	0,946	0,378	-
<b>Messagerie</b>					
<b>Porteur</b>	19 t PTAC	Messagerie / ramasse, distribution	0,946	0,38	-
<b>Porteur</b>	19 t PTAC	Messagerie / ramasse, distribution, frigorifique	1,135	0,34	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Messagerie / traction	1,194	0,20	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Messagerie / traction , frigorifique	1,438	0,20	-
<b>Marchandises divers</b>					
<b>Porteur</b>	7,5 t PTR A	Transport de marchandises diverses	0,762	0,847	-
<b>Porteur</b>	12 t PTR A	Transport de marchandises diverses	0,83	0,461	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Transport de marchandises diverses - longue distance	1,19	0,0955	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Transport de marchandises diverses - régional	1,18	0,0945	-
<b>Grand volume</b>					
<b>Ensemble articulé</b>	26 t PTR A	Grand volume	1,07	0,178	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Grand volume	1,31	0,105	-
<b>Spéciaux</b>					
<b>Ensemble articulé</b>	35 t PTR A	Porte voitures	1,32	0,22	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Avec groupe froid	1,38	0,111	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Benne TP	1,46	0,117	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR A	Benne céréalière	1,39	0,111	-

<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR	Châssis porte conteneur	1,29	0,103	-
<b>Ensemble articulé</b>	40 t PTR	Citerne	1,23	0,098	-
<b>Déménagement</b>					
<b>Fourgon</b>	8 m3	Déménagement	0,555	-	0,198
<b>Porteur</b>	45 m3	Déménagement	0,961	-	0,0608
<b>Ensemble articulé</b>	90 m3	Déménagement	1,19	-	0,0379

### Annexe 3 :

Facteurs d'émission des sources d'énergie utilisées

Nature de la source d'énergie	Type détaillé de la source d'énergie	Unité de mesure de la quantité de source d'énergie	Facteur d'émission (kg de CO <sub>2</sub> par unité de mesure de la quantité de source d'énergie)		
			Phase amont	Phase de fonctionnement	Total
Gazole	Gazole routier à la pompe	Litre (ℓ)	0,58	2,49	3,07
	Gazole non routier à la pompe	Litre (ℓ)	0,58	2,49	3,07

### Annexe 4 :

Clients de NAFTAL- Remchi

	Code client	distance	Nom client	Adresse client
1	A1753	30	AIR ALGERIE	PLACE KAIRAOUNE TLEMCEN
2	A1782	14	AISSANI MOSTEFA	07 BOULEVARD DES MARTYRES HENNAYA W. TLEMCEN
3	A4705	30	BENDI HASSANE FETHI	BD MOHAMED V TLEMCEN
4	A5871	50	HAS MOHAMED	CITE MEZOUAR MAGHNIA
5	A8461	30	CHOUKCHOU BRAHAM REDA	ROUTE DE SAF SAF TLEMCEN
6	A9128	7	APC AIN YUCEF	AIN YUCEF
7	A9188	58	APC OULED MIMOUN	OULED MIMOUN
8	A9196	60	APC AIN FEZZA	AIN FEZZA
9	A9225	49	APC BENI MESTER	BENI MESTER
10	A9228	72	APC BENI SNOUS	BENI SNOUS
11	A9307	70	APC DJEBALA	DJEBALA
12	A9329	60	APC GHAZAOUET	GHAZAOUET
13	A9418	50	APC NEDROMA	NEDROMA
14	A9462	63	APC SIDI ABDELLI	SIDI ABDELLI
15	A9470	63	APC SIDI DJILLALI	SIDI DJILLALI
16	A9474	72	APC SIDI MEDJAHED	SIDI MEDJAHED
17	A9533	30	APC TLEMCEN	TLEMCEN

18	A9829	30	C.C.L.S DEPOT	ABOU TACHFINE TLEMCEN
19	B0549	30	PROTECTION CIVILE TLEMCEN	Fg BOUDGHENE TLEMCEN
20	B2718	1	SARL HADJ GHORZI SIDI MOHAMMED	RUE EL ARBI BEN MHIDI REMCHI W. TLEMCEN
21	B5135	58	SECTEUR SANITAIRE O/MIMOU	OULED MIMOUN
22	B6040	14	KHEMMAR CHAIB	RUE DE LA LIBERTE HENNAYA
23	C0714	60	C. A. S. MAGHNIA	MAGHNIA
24	C7014	30	EPE STARR SPA	BP 104 TLEMCEN
25	C7922	72	APC AIN TELLOUT	AIN TELLOUT
26	D1817	60	EPG ENT PORTUAIRE	BP 217 GHAZAOUET
27	D2627	14	APC FELLAOUCENE	FELLAOUCENE
28	D3918	30	EPE SPA EGETHYT	BP 65 ABOU TACHFINE TLEMCEN
29	D4127	30	GIPLAIT UNITE EL MANSOURA	ABOUTECHFINE TLEMCEN
30	D5091	72	APC SOUAHLIA	SOUAHLIA
31	D5545	14	APC HENNAYA	HENNAYA
32	D5555	60	BENTAL MAGHNIA	BP 47 MAGHNIA
33	D6199	30	UNIVERSITE DE TLEMCEN	BP 119 TLEMCEN
34	D6231	14	E.MA.CO HENNAYA	Fg KHEMISTI HENNAYA
35	E4593	63	INERGA SUD	BP 507 HASSI MESSAOUD
36	F0041	13	E.N.N.A	AEROPORT ZENATA
37	F0758	30	ETS.ALGERIENNE DES TEXTILES INDUSTRIELS ET TECHNIQ	ROUTE DE CHATOUANE BP 971 TLEMCEN
38	F0810	30	SNTR COULAGE ADRAR	ADRAR
39	F2009	56	BELHAMIDI AHMED	ROUTE DE NEDROMA MAGHNIA
40	F2041	75	SARL STATION HAMDOUN	SOUANI
41	F2364	60	ERAD (MAIS) MAGHNIA	MAGHNIA
42	F3876	60	LACHGUEUR ABDELLALI	SEBDOU
43	F4420	13	E.G.S.A.O	AEROPORT ZENATA
44	F5369	60	SPA ETS ALGERIENNE DES TISSUS IND.ET TECHNIQUE	RUE EMIR AEK SEBDOU W. TLEMCEN
45	F7248	50	CERTAF SPA	BP 20 MAGHNIA
46	F7804	30	MDN/SRC/ 2EME RM	ORAN
47	F9507	30	S.N.V.I TLEMCEN	ZONE INDUSTRIELLE TLEMCEN
48	F9522	3	O.N.A.B (UAB) REMCHI	ZONE INDUSTRIELLE REMCHI
49	F9566	58	TAIBI ABDELHEQ	22 BD KERRAS AOUED OULED MIMOUN TLEMCEN
50	F9619	14	S.E.R.OR TLEMCEN	RUE Dr DAMEDRDJI TLEMCEN
51	F9654	50	SPA ATLAS CHIMIE	ROUTE TLEMCEN MAGHNIA
52	F9716	30	R.T.A (ENTD) TLEMCEN	TLEMCEN
53	F9754	7	SOC NLE CARREAUX CERAMIQU	BP 312 REMCHI
54	F9760	30	Dion RESERVE DE CHASSE	C 348 Fg KIFFANE TLEMCEN
55	F9761	30	CENTRE CYNEGETIQUE TLEMCE	ZARIFET ROUTE DE SEBDOU TLEMCEN
56	F9786	72	APC BENI BOUSSAID	BENI BOUSSAID
57	F9787	0	APC AIN FETTAH	AIN FETTAH
58	F9790	25	APC AMIEUR	AMIEUR
59	F9799	0	APC AIN KEBIRA	AIN KEBIRA
60	F9809	7	APC EL FEHOUL	EL FEHOUL
61	F9810	72	APC AZAILS	AZAILS
62	F9981	30	INMV INSTIT NAT MEDEC/VET	BP 568 TLEMCEN
63	J5124	81	HANAFI MOHAMMED	BELHADJI BOUCIF EL ARICHA W. TLEMCEN
64	J5148	30	SIH RENAISSANCE	PLATEAU LALLA SETTI LES SERISIERS BP 420 TLEMCEN
65	K1840	55	STATION GD MAGHNIA R1320	MAGHNIA
66	K1842	58	STATION GD OULED MIMOUN R1322	OULED MIMOUN
67	K1843	110	STATION GD MARSET BEN M'H R1323	MARSET BEN M'HIDI
68	K1844	50	STATION GD NEDROMA R1324	NEDROMA

69	K1845	70	STATION GD SOUHLIA R1325	SOUHLIA
70	K1847	90	STATION GD BAB EL ASSA R1327	BAB EL ASSA
71	K1849	58	STATION GD SABRA R1329	SABRA
72	K1850	60	STATION GD BENSEKRANE R1330	BENSEKRANE
73	K1851	118	STATION GD EL ARICHA R1331	EL ARICHA
74	K1852	95	STATION GD SIDI DJILALI R1332	SIDI DJILALI
75	K1853	40	STATION GD HONAINE R1333	HONAINE
76	K1854	19	STATION GD TLEMCEN EL KOUDIA R1334	TLEMCEN EL KOUDIA
77	K1855	1	STATION GD REMCHI R1335	REMCHI (CARREFOUR)
78	K1858	43	STATION GD ZIANIDE R1336	GHOULIAMES AMIEUR TLEMCEN
79	M6045	30	CLIENT DIVERS VENTE DETAIL	
80	M7646	7	SPA GROUPE ETRHB HADDAD	SIDI AHMED REMCHI
81	S1515	30	SCS IMAMA	GARE ROUTIERE IMAMA MANSOURAH
82	S1524	13	SERIR ABDELHAMID	ZENATA TLEMCEN
83	S1535	7	KIBOU HOUCINE	RUE ZAHRAOUILAKHDAR REMCHI TLEMCEN
84	S1536	20	BENBABOUCHE DJILALI	02 RUE MAMAD MED EL FHOUL TLEMCEN
85	S1538	39	SNC ABDOUNE STATION SERVICE	TERNY MANSOURAH
86	S1545	58	REZOUG AHMED	HAI RAHMA SIDI ZOUAOUI OULED MIMOUN TLEMCEN
87	S1547	60	TAHIR AHMED	PORT DE GHAZAOUET TLEMCEN
88	S5625	30	GROUPEMENT CITIC - CRCC	COOPERATIVE 18 FEVRIER VILLA N°98 SAINT HUBERT ORAN
89	S7413	135	SPA ABED MAADEN	RESIDENCE IBN BADIS BT B N)06 IMAMA MANSOURAH TLEMECEN
90	S7425	35	E.P.S.P BENI SAF	POLYCLINIQUE PLAN 11 BENI SAF AIN TEMOUCHENT
91	S7473	19	KALACHE REDA	SIDI MED LARBI HAY KOUDIA TLEMCEN
92	U2350	30	SARL ENTREPRISE DENNOUNI	SIDI BOUSHAK FG SIDI BOUMEDIENNE TLEMCEN
93	U4715	35	MARINE BENI SAF	BENI SAF
94	U6516	30	TLEMSANI DJENNAT Vve SALAH	ABOU TACHFINE
95	U6560	60	MARINE GHAZAOUET MDN	GHAZAOUET
96	U6592	30	SPA SOUHYF	ABOU TACHFINE TLEMCEN
97	U6594	60	TAHIR MOHAMED	RTE DU PHARE GHAZAOUET
98	U6595	70	SARL BRIQUETTERIE ELGHAZI	BP 191 SOUHLIA
99	U7788	75	SOMIBAR	KHEMIS BENI SNOUS TLEMCEN
100	W0215	75	GUEZZANE TAYEB	EL KHEMIS BENI SNOUS TLEMCEN
101	W0295	25	SNC KEBBAS ET CIE	BOUTRAK AIN FETTAH
102	W0306	42	CHAABANE MOHAMED	HAMMAM BOUGHRARA
103	W0313	60	BELBACHIR AICHA Vve DAHOU	RTE NLE No107 DJERABAA MAGHNIA
104	W0333	75	TRANS CANAL OUEST	UNITE SOUANI BP 190 MAGHNIA
105	W0343	30	CABINET WILAYA	Fg PASTEUR TLEMCEN
106	W0355	30	C.H.U TLEMCEN	Bd MOHAMED V TLEMCEN
107	W0362	92	ZIANE ABDELHAMID	30 CITE BOUBEKEUR TAHAR EL GOR SEBDOU
108	W0368	30	C.I.R TLEMCEN	PETIT PERDREAUX TLEMCEN
109	W0497	30	HACHEMI GHOUTI	Fg IMAMA MANSOURAH
110	W0526	60	SAIDI MOHAMED	AIN BENI ADD AIN FEZZA W. TLEMCEN
111	W0559	60	SARL SIDI AMAR	SIDI AMAR GHAZAOUET
112	W0633	58	SARL AIN SEBRA STAT.SERV.	Rte NATIONALE 7 SABRA TLEMCEN
113	W0705	65	C.A.S SIDI MEDJAHED	SIDI MEDJAHED
114	W0706	56	C.A.S HAMMAM BOUGHRARA	HAMMAM BOUGHRARA
115	W0708	30	KHELIF ABDELKADER	BENI BOUBLENE MANSOURAH TLEMCEN
116	W0714	50	BELHABRI BOUAZZA	LEGFAP MAGHNIA



117	W0715	74	SARL HDAYLI	AIN TELLOUT ROUTE SIDI BELABBES TLEMCCEN
118	W0716	69	BOUCHAREB MOHAMMED	CHEBIKIA MAGHNIA W. TLEMCCEN
119	W0717	14	SARL STATION WIDAD SERVIC	V. S. A. OULED KADA HENNAYA
120	W0721	70	SARL STATION SABEK & RAHOUNE	SIDI MEBAREK BENI BOUSSAID W. TLEMCCEN
121	I1132	46	BOUHADI SLIMANE	AMIEUR W. TLEMCCEN
122	W0749	30	SNC GUELLIL et Cie	14, ROUTE DE CHETOUANE
123	W0761	15	ZOUZOU ABDERREZAK	CARREFOUR TAFNA REMCHI
124	W0762	7	SARL STATION SERVICES KHERROUS	AIN YOUCEF REMCHI
125	W0782	35	HEBRI MOHAMED	BENI MESTER TLEMCCEN
126	W0805	90	BOUIZEM NASSER	BAB EL ASSA
127	W0808	99	PVA OUKEDANE LARBI	BOUHFED BAB EL ASSA
128	W0831	10	MAHLIA BOUZIANE	Fg FATMI LARBI REMCHI
129	W0851	7	BRIQUETERIE LA TAFNA SARL	RAKBAT BENI ADDAS REMCHI
130	W0892	30	SARL BELARBI BENALI SERVICES	N°02 RUE DE L'ALN CHETOUANE W. TLEMCCEN
131	W0904	76	ENG ENT NAT DES GRANULATS	SIDI ABDELLI W. TLEMCCEN
132	W0949	60	CDC DAR CHEIKH	SEBDOU
133	W0979	50	CAS MOULAY CHERIF	OULED CHAREF MAGHNIA
134	W0980	72	CAS MEZAOUROU	SOUAHLIA
135	W0991	67	HAMDI ABDELKADER	SIDI SENOUCI SIDI ABDELLI
136	W5103	30	SARL MINOTERIE LA TAFNA	ZONE IND N°9 CHETOUANE TLEMCCEN
137	W5110	25	SARL FRERES GHORZI SERVICE	SIDI CHERIF RN 22 PREMIERE TRANCHE REMCHI W. TLEMCCEN
138	W5154	30	SPA AGRO ROUTE OUEST OAIC	ABOUTECHFINE TLEMCCEN
139	W5161	30	ALG.TELECOM SPA UOT TLEMCCEN	RUE BEDJAOUI CHAOUCHE TLEMCCEN
140	W5172	60	SPA ALZINC	RUE LT MEBARBI MOKHTAR GHAZAOUET
141	W5180	49	SARL S/S SNOUBER	21 BENI YACOUB OULED RIYAH TLEMCCEN
142	W5182	95	SPA ALGRAN	TEDJRTILA SIDI DJILLALI TLEMCCEN
143	Y9831	30	LOGITRANS TLEMCCEN	44 CHEMIN FERNANE HANAFI KOUBA ALGER
144	Z0302	30	ETABLISSEMENT OPUBLIC DE TRANSPORT URBAIN TLM	ABOU TACHFINE TLEMCCEN
145	Z0336	30	BOUDGHENE STAMBOULI DJAMAL	4 RUE HOCHIMIN TLEMCCEN
146	Z0399	1	EPSP REMCHI	REMCHI W. TLEMCCEN
147	Z1675	30	PER CONDOTTE D'ACQUA	BASE VIE SIDI LAHCENE S.B.A
148	Z5730	30	SARL EGTPH DENNOUNI	Z.I. N°60 R.N N°09 CHETOUANE W. TLEMCCEN
149	Z5731	30	SARL C.M.S.A TLEMCCEN	Z.I. N°60 RN N°09 LOCALE N°02 CHETOUANE W. TLEMCCEN
150	Z5741	76	GUERMOUCHE NADIRA EPOUSE KERZABI	SIDI ABDELLI TLEMCCEN
151	Z9363	50	SARL NOUARA SERVICE GHAF FOUR	98 R.N. BAB KHEROUFA DAR YAGHMORACEN TLEMCCEN
152	Z9366	121	BOUKARABILA MOHAMMED	ROUTE NATIONALE N°22 KESDIR NAAMA
153	Z9395	175	BELYAGOUBI BOUBEKEUR	ELGOR SEBDOU W. TLEMCCEN
154	J8654	30	MEDINA	TLEMCCEN
155	J8618	60	COSIDER	GHAZ
156	N3747	35	MAPA	BNI MESTER
157	J8621	55	CHINWA	NEDROUMA
158	J8614	60	SARL LILIA	GHAZAOUET
159	W0803	90	ZEDAZI	BOUKANOUNE
160	S1541	30	MELLAH	TLEMCCEN

<b>161</b>	I1106	75	ENOF BENI SNOUS	TLEMCEN
<b>162</b>	I1129	95	ENOF SIDI DJILLALI	TLEMCEN
<b>163</b>	I1107	50	ENOF MAGHNIA	TLEMCEN
<b>164</b>	I5663	30	SNTF	TLEMCEN
<b>165</b>	I6812	60	GUELLIL	AIN FEZZA
<b>166</b>	I6815	30	UCCLS	TLEMCEN
<b>167</b>	I1132	46	BOUHADI	AMIER
<b>168</b>	I6833	30	GHELLIL	TLEMCEN

# Résumé

**Résumé :** De nos jours, le transport des marchandises joue un rôle indispensable dans la politique des entreprises commerciales, ce secteur a toujours connu plusieurs types de problèmes tel que le problème de tournée de véhicules, de voyageur de commerce et autres. Nous proposons dans le présent document une nouvelle approche pour résoudre le problème de tournée de véhicules compartimentés multi-produit dans une société de distribution des produits pétroliers. Ce document fait l'objet de développer deux modèles d'optimisation mono-objectif, où l'un est un objectif commercial qui consiste à la maximisation du profit et l'autre est un objectif vert qui consiste à la minimisation des quantités de dioxyde de carbone émises par les véhicules lors de la distribution. Un modèle d'optimisation multi-objectifs est proposé pour combiner entre les deux objectifs cités précédemment afin d'obtenir des solutions compromises entre eux en utilisant la méthode LP-Metric, afin d'avoir un transport durable dans le contexte d'une green supply chain.

**Mots clés :** optimisation multi-objectifs, émissions CO<sub>2</sub>, LP-Metric, Naftal

**Abstract :** Nowadays, the transportation of goods plays an important part in the business companies policy, this sector has always known several kinds of problems such as the vehicle routing problem, travel salesman problem and others. We propose in the current paper a new approach to solve the multi-product multi-compartment vehicle routing problem in a petroleum products distribution company. This paper has the purpose of developing two mono objective optimization models, where one of them is commercial objective which is the maximization of the profit and the other one is a green objective which is the minimization of the amounts of the carbon dioxide transmitted by vehicles during the distribution. A multi objective optimization model is proposed to combine among both of the objectives mentioned previously in order to obtain compromise solutions using the LP-Metric method in order to have an enduring transportation in the context of the green supply chain.

**Key words:** multi objective optimization, CO<sub>2</sub> emissions, LP-Metric, Naftal

**ملخص:** في أيامنا هذه، يمثل نقل البضائع دورا هاما في سياسة الشركات التجارية، وهذا القطاع يعرف العديد من المشاكل كجولة السيارة ورجال الأعمال وعدة عوائق أخرى. نقترح في هذا الملف طريقة جديدة من أجل حل مشكل السيارة المجزئة إلى عدة خزانات وتحمل عدة أنواع من البضائع في شركة لتوزيع المواد البترولية. هذا الملف يطور نموذجين رياضيين وحيد الهدف بحيث الأول يعمل على تحقيق هدف تجاري وهو زيادة الربح والثاني هدفه بيئي بحيث يهدف إلى تخفيض مستوى ثنائي أكسيد الكربون المنبعث من سيارات نقل المواد البترولية أثناء عملية التوزيع. وهناك أيضا تحقيق الأمثلية متعددة الأهداف بحيث تجمع بين النموذجين السابقين من أجل الحصول على نتيجة محصورة بين النتائج المتحصل وكل هذا من أجل عملية دائمة في مجال سلسلة النقل الأخضر باستعمال طريقة LP-Metric

**الكلمات المفتاحية:** LP-Metric.Naftal. تحقيق الأمثلية المتعددة الأهداف. انبعاث ثنائي أكسيد الكربون