

Louvain School of Management

Optimisation des synergies pour la réduction du transport à vide

Analyse des aspects géographiques, analyse de la coopération, modélisation de l'optimisation des bénéfices et intégration des points de départ des tournées

Auteurs : BAEYENS Alexandre – HAINAUT David
Promoteur(s) : TANCREZ Jean-Sébastien
Année académique 2019-2020
GEHM2M Master 120 en sciences de gestion, à finalité spécialisée (HD)

Résumé

Dans le contexte économique actuel, il est demandé aux entreprises de réaliser des réductions de coûts. Pour une entreprise logistique, cette question correspond pour une grande part à une réduction des temps de trajets à vide. Chaque déplacement réalisé par un véhicule implique des coûts. On peut séparer ces déplacements en deux types. Pour le premier type, ce sont des déplacements de trajets de livraisons, ils sont inévitables car ils contribuent à la réalisation du chiffre d'affaires. Pour le deuxième type, ce sont des déplacements de retours. Ce sont bien ces derniers que les entreprises désirent limiter.

Cette étude a pour objectif de proposer des pistes d'améliorations afin de réduire les distances de trajets à vide. Pour réaliser cet objectif, nous avons suivi un processus d'analyse d'un système complexe. Ce processus est constitué de trois grandes étapes. La première consiste à décrire la problématique du transport à vide. La deuxième a pour objectif de présenter les outils nécessaires à la réalisation des simulations dans le but de répondre aux différentes questions managériales. Et la troisième consiste à l'application du modèle pour répondre aux quatre questions managériales : l'influence de la géographie, l'influence de la coopération entre deux entreprises, l'approche financière du TAV et une adaptation du modèle mathématique pour pouvoir tenir compte d'un point de départ pour chaque véhicule.

Sur l'ensemble des résultats obtenus, nous retiendrons que l'augmentation des demandes, des dépôts et des distances, favorisent l'optimisation des retours à vide. Nous retiendrons également que du point de vue des retours à vide la coopération entre deux entreprises est toujours favorable. Sur les modèles proposés dans cette étude, nous retiendrons que l'optimisation du bénéfice en prenant en compte la possibilité de ne pas réaliser des demandes possède un point pivot dans l'évolution du prix. Et que pour de faibles distances, il est nécessaire d'imposer un prix minimum pour continuer de réaliser un bénéfice. Nous retiendrons également pour le modèle avec imposition des points de départ que nous ne pouvons pas donner de ligne de conduite quant aux décisions de positionnement des points de départ. Ces décisions doivent faire partie d'une étude d'optimisation spécifique à chaque entreprise vis-à-vis de ses clients.

Dans une démarche d'amélioration du modèle mathématique, nous pourrions ajouter des contraintes qui permettraient de proposer un modèle plus réaliste.

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur Jean-Sébastien TANCREZ, professeur à Louvain School of Management, CORE Université catholique de Louvain, qui a dirigé notre mémoire. Nous le remercions pour tout le suivi dans la réalisation de ce travail, pour tous ses conseils, son soutien et ses encouragements.

Nos remerciements vont également Madame ARCHAMBEAU Geneviève pour nous avoir soutenus et avoir été rapporteur de notre mémoire.

Nous remercions également, l'institution de Louvain School of Management de nous avoir donné l'ensemble des outils matériels nécessaires.

Table des matières

| | |
|--|------|
| Résumé | i |
| Remerciements | ii |
| Table des matières | iii |
| Liste des abréviations utilisées | vi |
| Liste des tableaux | vii |
| Liste des graphiques | viii |
| Liste des illustrations | x |
| Liste des équations et liste des sous contraintes | xii |
| Liste des annexes | xiii |
| Introduction générale | 1 |
| 1. Contexte et problématique du TAV | 4 |
| 1.1. Contexte | 4 |
| 1.1.1. Définition du transport | 4 |
| 1.1.2. Les marchandises transport à charge, à vide ? | 5 |
| 1.1.3. Acteurs de TAV | 6 |
| 1.2. Empty backhauls problem pickup and delivery | 7 |
| 1.2.1. La problématique, les enjeux | 7 |
| 1.2.2. Problématique plurilatérale | 14 |
| 1.3. Modélisation conceptuelle du TAV | 16 |
| 1.4. Conclusion | 24 |
| 2. Formalisation du modèle mathématique | 27 |
| 2.1. Modèle mathématique de simulation de base | 27 |
| 2.1.1. Modèle de base de travail. | 28 |
| 2.2. Base de données | 34 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 2.3. | Méthode heuristique | 35 |
| 2.4. | Mise en œuvre du modèle..... | 36 |
| 2.5. | Conclusion | 37 |
| 3. | Applications et extensions aux questions managériales | 40 |
| 3.1. | Influence des paramètres géographiques sur le transport à vide | 40 |
| 3.1.1. | Présentation de la question managériale et hypothèses | 41 |
| 3.1.2. | Mise en œuvre du modèle pour l'étude géographique..... | 48 |
| 3.1.3. | Conclusion et critiques..... | 54 |
| 3.1.4. | Question pour aller plus loin..... | 55 |
| 3.2. | Coopération base de données | 56 |
| 3.2.1. | Présentation de la question managériale | 57 |
| 3.2.2. | Mise en œuvre de la question managériale | 62 |
| 3.2.3. | Conclusion et critiques..... | 65 |
| 3.3. | Optimisation du bénéfice et possibilité de non-réalisation de demandes | 66 |
| 3.3.1. | Présentation de la question managériale et hypothèses | 66 |
| 3.3.2. | Modèle | 75 |
| 3.3.3. | Mise en œuvre de l'optimisation du bénéfice et de la non-réalisation de demande..... | 79 |
| 3.3.4. | Conclusion et critiques..... | 88 |
| 3.4. | Point de départ chauffeur & retour | 89 |
| 3.4.1. | Présentation de la question managériale et hypothèses | 89 |
| 3.4.2. | Modèle | 96 |
| 3.4.3. | Mise en œuvre du modèle d'optimisation des retours à vide avec les départs de véhicules imposés. | 100 |
| 3.4.4. | Conclusion et critiques..... | 107 |
| 4. | Conclusion générale | 108 |

| | | |
|----|---------------------|-----|
| 5. | Bibliographie | 111 |
| 6. | Annexes | 1 |

Liste des abréviations utilisées

| | |
|----------|---|
| TAV | Transport à vide - Empty backhauls |
| Client | Lieu à destination d'une livraison provenant d'un point de départ « Entrepôt » |
| Entrepôt | Lieu de départ d'une livraison à destination d'un client |
| GES | Gaz à effet de serre |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 – Paramètre de base de la société logistique..... | 42 |
| Tableau 2 – Concentration géographique des dépôts et des demandes | 45 |
| Tableau 3 - Répartition des dépôts et zone des clients spécifiques | 53 |
| Tableau 4 – Concentration des dépôts dans une zone spécifique et répartition des clients..... | 53 |
| Tableau 5 – Concentration dans des zones différentes des dépôts et des clients | 54 |
| Tableau 6 – Résultats de la coopération entre deux entreprises de taille similaire dans une zone commune | 62 |
| Tableau 7 – Résultats de la coopération entre deux entreprises de tailles différentes dans une zone commune..... | 63 |
| Tableau 8 - Résultats de la coopération entre deux entreprises situées dans des zones géographiques différentes..... | 64 |
| Tableau 9 - Résultats de la coopération entre deux entreprises qui ont des dépôts dans des zones spécifiques et des clients répartis | 65 |
| Tableau 10 – Comparaison du modèle de base et du modèle des dépôts imposés | 104 |

Liste des graphiques

| | |
|---|-----|
| Graphique 1 - Évolution du transport de marchandises en Belgique [7]..... | 12 |
| Graphique 2 - Émissions de CO ₂ par secteur (k tonnes équivalent CO ₂ , 2017 [7].. | 13 |
| Graphique 3- Influence de l'augmentation des distances sur le modèle | 48 |
| Graphique 4 – Moyenne des rapports entre les trajets à vide et la distance totale parcourue pour 200 km..... | 50 |
| Graphique 5 - Moyenne des rapports entre les trajets à vide et la distance totale parcourue pour 500 km..... | 50 |
| Graphique 6 – Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre de dépôts pour un rayon de 200 km et 25 demandes | 51 |
| Graphique 7 – Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre des dépôts pour un rayon de 300 km et 25 demandes..... | 51 |
| Graphique 8 - Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre des dépôts pour un rayon de 500 km et 25 demandes..... | 52 |
| Graphique 9 – Évolution de la marge d'une demande de livraison..... | 83 |
| Graphique 10 - Influence du prix sur l'évolution de la marge d'une demande de livraison | 84 |
| Graphique 11 – Influence du temps de chargement sur l'évolution de la marge d'une demande de transport..... | 84 |
| Graphique 12 - Influence du coût horaire sur l'évolution de la marge d'une demande de transport | 85 |
| Graphique 13 – Influence de la quantité de demandes sur l'évolution de la marge | 85 |
| Graphique 14 – Influence sur la marge de l'évolution du prix pour des trajets dépôts-clients inférieurs à 200 km..... | 87 |
| Graphique 15 – Évolution des distances parcourues et des ratios de retour à vide en fonction des cas de points de départ | 105 |

Graphique 16 – Évolution des temps d'accès aux premiers dépôts en fonction des points de départ..... 105

Liste des illustrations

| | |
|---|----|
| Figure 1 - Flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients [9] | 5 |
| Figure 2 - Interactions des acteurs de la chaîne logistique | 7 |
| Figure 3 - Factors behind Empty Transport Flows [5] | 8 |
| Figure 4 - Impacts négatifs du transport de marchandises & du retour à vide | 10 |
| Figure 5 - Flux optimisé des transports entre entrepôts et clients | 14 |
| Figure 6 - Méthodologie de modélisation [4] | 17 |
| Figure 7 - Causes de la problématique de TAV | 18 |
| Figure 8 - Causes des impacts environnementaux..... | 18 |
| Figure 9 - Causes de la partie fonctionnelle | 19 |
| Figure 10 - Causes sociétales..... | 20 |
| Figure 11 - Causes économiques | 21 |
| Figure 12 - Modélisation du système TAV | 22 |
| Figure 13 – Leviers du TAV..... | 23 |
| Figure 14 – Exemple d’espace réduit d’un modèle [13]..... | 28 |
| Figure 15 – Rayon d’action des tests géographique | 43 |
| Figure 16 – Représentation du cas des dépôts qui sont répartis sur la carte et des clients qui sont concentrés dans une zone spécifique | 46 |
| Figure 17 – Représentation du cas des dépôts qui sont répartis sur la carte et des clients qui sont concentrés dans une zone spécifique | 47 |
| Figure 18 - Représentation du cas des dépôts et des clients qui sont concentrés mais dans des zones différentes | 47 |
| Figure 19 – Coopération de deux entreprises de même taille dans une même zone géographique..... | 58 |
| Figure 20 - Coopération de deux entreprises de tailles différentes dans une même zone géographique | 58 |

| | |
|--|-----|
| Figure 21 - Coopération de deux entreprises composées de zones géographiques différentes se chevauchant..... | 59 |
| Figure 22 - Coopération de deux entreprises qui ont des dépôts dans des zones spécifiques et des clients répartis..... | 59 |
| Figure 23- Coopération de deux entreprises qui ont des clients dans des zones spécifiques et des dépôts répartis..... | 60 |
| Figure 24 - Coopération de deux entreprises composées de zones géographiques différentes se chevauchant..... | 61 |
| Figure 25 – Zone géographique de travail de l’entreprise..... | 80 |
| Figure 26 – Flux de transports avec points de départ imposés..... | 90 |
| Figure 27 – Répartition infinie des points de départ..... | 91 |
| Figure 28 – Répartition unique des points de départ..... | 91 |
| Figure 29 – Répartition des points de départ sur une zone géographique..... | 92 |
| Figure 30 - Répartition des points de départ sur deux zones géographiques..... | 93 |
| Figure 31 – Répartition des points de départ sur trois zones géographiques..... | 93 |
| Figure 32 – Répartition dispersée des points de départ..... | 94 |
| Figure 33 – Configuration de chargement des véhicules aux points de départ..... | 96 |
| Figure 34 – Zone géographique de travail de l’entreprise rayon 800 km..... | 100 |

Liste des équations et liste des sous contraintes

| | |
|---|----|
| Équation 1 – Le bénéfice | 67 |
| Équation 2 – Le chiffre d'affaires..... | 67 |
| Équation 3 – Prix du transport | 68 |
| Équation 4 – Coût d'exploitation..... | 68 |
| Équation 5 – Coûts fixes, coûts variables | 68 |
| Équation 6 – Coûts carburant | 69 |
| Équation 7 – Coûts horaires..... | 69 |
| Équation 8 – Coûts de chargements et de déchargements | 70 |
| Équation 9 – Bénéfice, modèle de base | 71 |
| Équation 10 –Bénéfice, non-réalisation..... | 73 |
| Équation 11 – Prix transport minimum | 74 |
| Équation 12 – Évolution de la marge pour une demande de livraison | 83 |
| Équation 13 – Détermination du prix minimal | 88 |
| | |
| NOI s.t. 1 – Demande de transports..... | 71 |
| NOI s.t. 2 – Nombre de trajets non réalisés | 72 |

Liste des annexes

| | |
|---|---|
| Annexe 1- Code informatique de mise en œuvre des modèles d'optimisation des transports à vide | 1 |
|---|---|

Introduction générale

Dans le contexte économique actuel, il est de plus en plus demandé aux entreprises de réaliser des réductions de coûts. Pour une entreprise logistique, cette question de réductions de coûts correspond pour une grande part à une réduction des temps de trajets à vide. En effet, chaque déplacement que réalise un véhicule de livraison implique des coûts liés au transport. Toutefois, on peut séparer ces déplacements en deux types. Pour le premier type, ce sont des déplacements de trajets de livraison qui sont inévitables car ce sont ces déplacements qui contribuent à la réalisation du chiffre d'affaires de l'entreprise. Pour le deuxième type, ce sont des déplacements de retours de livraison. Ce sont bien ces deuxièmes déplacements que les entreprises désirent limiter voire, dans l'idéale, les supprimer. Ces déplacements représentent uniquement des charges pour l'entreprise. Les retours à vide sont influencés par une multitude de paramètres. La question du transport à vide est en réalité très complexe et nécessite des outils pour pouvoir comprendre les facteurs l'influençant.

Cette étude a pour objectif de proposer des pistes d'amélioration afin de réduire les trajets à vide. Pour pouvoir réaliser cet objectif, nous avons dû suivre une démarche de processus d'analyse d'un système complexe. Ce processus est constitué de trois grandes étapes. La première étape consiste à réaliser une analyse de la problématique de la question traitée et d'en proposer une modélisation du système pour en faciliter sa compréhension. La deuxième étape consiste à présenter le modèle mathématique et les outils associés. Et enfin, la troisième étape est destinée à l'application du modèle pour pouvoir donner des pistes d'amélioration. Nous allons traiter chacune de ses étapes dans une structure composée de trois chapitres.

Le chapitre 1 vise à décrire la problématique du transport à vide. Il est composé de trois parties. La première partie consiste à déterminer le contexte dans lequel se définit le TAV en présentant une définition plus générale du transport, en présentant une définition spécifique au TAV et en présentant dans la troisième partie les acteurs du transport à vide. La deuxième partie a pour objectifs de présenter la problématique du « Empty backhauls problem pickup and delivery ». Dans cette partie nous décrivons les enjeux du TAV. Ensuite, la troisième partie consiste à décrire des causes de la problématique du TAV que nous convertirons en modèle conceptuel duquel nous ressortirons les leviers du TAV qui conduiront aux différentes questions managériales.

Le chapitre 2 a pour objectif de présenter les outils nécessaires à la réalisation des simulations dans le but de répondre aux différentes questions managériales. Il est constitué de la présentation du modèle mathématique, de la présentation du fichier de données, de la présentation de la méthode heuristique utilisée et de l'explication de la mise en œuvre du modèle dans le logiciel d'optimisation.

Le chapitre 3 consiste en l'application du modèle pour répondre aux différentes questions managériales. Il est constitué de quatre questions. Chaque question est constituée de la présentation de la question, de la mise en œuvre et de l'analyse. Les questions que nous traitons ont été sélectionnées dans les leviers décrits dans le chapitre un. La première question que nous traitons dans ce document est liée à la géographie. Nous allons parcourir dans cette question les facteurs de la distance des demandes, l'augmentation des demandes, l'augmentation du nombre de dépôts et les localisations des demandes. La deuxième question traite de l'influence de la coopération entre deux entreprises sur les TAV. La troisième question apporte une vision financière du TAV. Nous allons modifier le modèle pour pouvoir exprimer les facteurs du transport à vide sous forme de marge. Nous observerons ensuite l'impact du prix et la possibilité de ne pas réaliser une livraison. Nous déterminerons également un prix minimum à appliquer lorsque les déplacements ne sont pas rentables. La quatrième question consiste à adapter le modèle mathématique pour pouvoir tenir compte d'un point de départ pour chaque véhicule. Cette adaptation apporte au modèle une contrainte qui permet à celui-ci d'être plus réaliste. Nous analyserons les différentes possibilités de localisations des points de départ et leurs impacts sur le TAV.

Pour résumer, nous pourrions observer les impacts géographiques sur le TAV, nous pourrions regarder les impacts de la coopération, nous proposerons un modèle destiné à une utilisation plus financière du TAV et nous compléterons le modèle mathématique par la prise en compte des lieux de points de départ des véhicules.

Chapitre 1

Contexte et problématique du TAV

Sommaire

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Contexte et problématique du TAV..... | 4 |
| 1.1. | Contexte..... | 4 |
| 1.1.1. | Définition du transport..... | 4 |
| 1.1.2. | Les marchandises transport à charge, à vide ?..... | 5 |
| 1.1.3. | Acteurs de TAV | 6 |
| 1.2. | Empty backhauls problem pickup and delivery | 7 |
| 1.2.1. | La problématique, les enjeux | 7 |
| 1.2.2. | Problématique plurilatérale..... | 14 |
| 1.3. | Modélisation conceptuelle du TAV | 16 |
| 1.4. | Conclusion | 24 |

1. Contexte et problématique du TAV

L'objectif de cette partie est d'abord de mettre en situation le contexte du transport à vide. Ensuite, de proposer un modèle conceptuel qui permettra de compléter au mieux le modèle d'optimisation du transport à vide. Ce modèle conceptuel permettra de faire un état des lieux de la situation actuelle et de déterminer des pistes d'amélioration pour la modélisation du TAV.

Dans ce chapitre nous allons commencer par décrire le contexte actuel à l'aide de plusieurs définitions du TAV, les types de marchandises concernées par cette étude et les acteurs du milieu. Ensuite, nous décrirons la problématique de transport à vide. Et enfin, nous proposerons un modèle conceptuel de cette problématique.

1.1. Contexte

1.1.1. Définition du transport

Pour définir correctement le transport à vide, nous allons commencer par définir le transport.

De manière brute, le transport se définit selon le Petit Larousse par : « Une action ou une manière de transporter, de porter d'un lieu dans un autre » [1]. On peut ressortir de cette définition que le transport est une action qui va être réalisée par une personne. Elle consiste à un déplacement d'une marchandise d'un point de départ vers un point d'arrivée. On a donc besoin, pour définir un transport, de déterminer l'acteur du transport, le type de marchandise qui va être transportée et le trajet à effectuer. Pour effectuer le trajet nous avons, selon le SPF Mobilité et transport belge, quatre moyens de transport [2]:

- Le transport routier
- Le transport aérien
- Le transport maritime
- Le transport ferroviaire

Dans cette étude nous allons nous focaliser uniquement sur le transport routier.

D'autres définitions du transport de marchandises sont disponibles, entre autres celle de Laetitia Dablanc [3] qui définit le transport de marchandises comme étant l'action de

transport de biens par ou pour des professionnels. Cette définition permet d'apporter une précision et une limite à l'environnement de cette étude. En effet, on exclut le transport de tourisme et le transport pour les achats privés. Dans cette étude, nous allons nous focaliser sur les métiers logistiques d'un point de vue industriel.

Nous retiendrons finalement dans cette étude que le transport concerne tout transit de marchandises et non de déplacements de passagers. Nous ne considérerons pas de transports de déplacement de personnes de type voiture, vélo, bus, tram, etc....

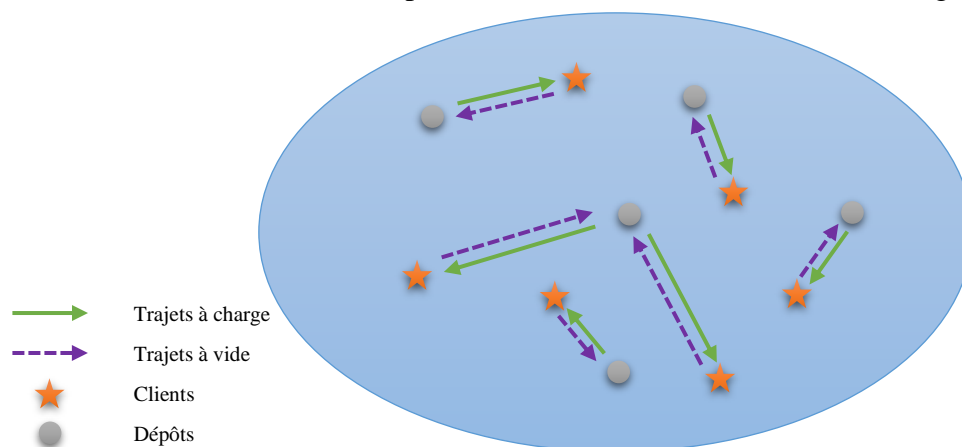
Le transport de marchandises comprend également l'acheminement d'eau, d'électricité ou de gaz au moyen d'une infrastructure propre à ceux-ci. Nous ne tiendrons compte de ces marchandises que lorsqu'elles sont transportées via un réseau routier.

1.1.2. Les marchandises transport à charge, à vide ?

Nous avons défini le transport et les types de transports. Toutefois, avec un regard macroscopique, nous devons prendre en compte deux systèmes de flux : les transports qui livrent de la marchandise et ceux qui retournent au dépôt après la livraison. En d'autres mots, nous ferons dans cette étude une différence entre le transport à charge et le retour à vide.

Ce retour à vide comprend l'ensemble des transports qui sont à destination du transport de marchandises décrit précédemment mais qui font un déplacement dit « à vide » donc qui ne transportent plus de marchandises. La Figure 1 représente les flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients.

Dans ce même type de transport, cette étude ne comprend pas les transports à destination de maintenance. Les transports de véhicules à vide à destination de garages pour



Source : Auteur

Figure 1 - Flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients [9]

l'entretien par exemple, ne sont pas pris en compte car il n'y a pas d'objectif direct de transport de marchandises.

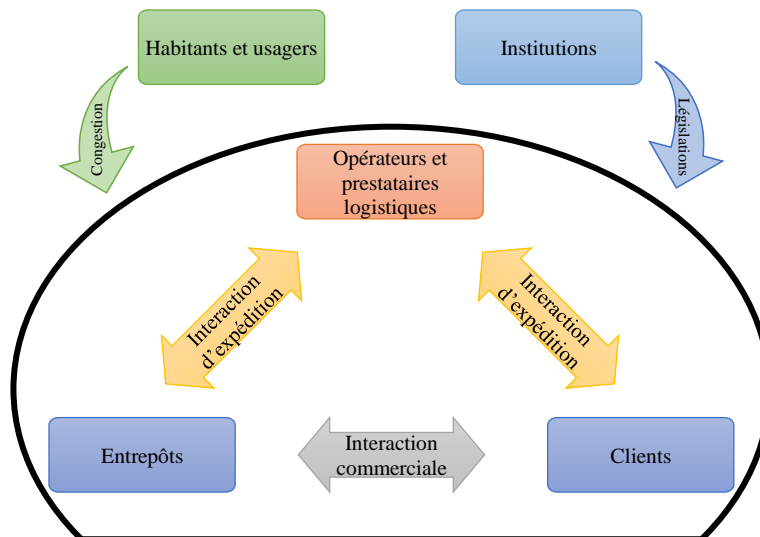
Nous retiendrons le TAV comme étant :

« Le déplacement à vide de véhicules destinés aux transports de marchandises qui n'ont pas pour objectif premier le déplacement de personnes ».

1.1.3. Acteurs de TAV

Un grand nombre d'acteurs interviennent dans le transport à vide. Ils sont en général les mêmes que ceux du transport de marchandises industrielles. La littérature décrit quatre grands acteurs du transport de marchandises [4] : les représentants, les opérateurs de transport, les habitants et usagers et les institutions qui peuvent se définir comme suit :

- Les représentants : ces acteurs sont les maillons de la chaîne logistique par lesquelles les marchandises transitent. Les représentants peuvent avoir une fonction double, une fonction d'expéditeur et une fonction de destinataire. Nous appellerons ces représentants respectivement des entrepôts et des clients,
- Les opérateurs de transport : ce sont des acteurs qui sont directement impliqués par le flux des marchandises. Ces opérateurs sont ceux qui organisent les trajets, le chargement, la gestion des stocks, etc.... Ce sont les prestataires de la chaîne logistique,
- Les habitants et les usagers : ce sont des utilisateurs de l'infrastructure routière. Ils ne vont pas avoir d'impact direct sur la chaîne logistique mais principalement sur les prestataires logistiques. Ils vont également avoir un impact avec les maillons de la chaîne logistique par le biais d'achats de biens ou par le travail,
- Les institutions : comme son nom l'indique, cette catégorie reprend le gouvernement, les organisations régionales, les services techniques, les services de police, etc.... Ce sont l'ensemble des acteurs qui définissent les contraintes du transport.



Source : Auteur

Figure 2 - Interactions des acteurs de la chaîne logistique

Tous ces acteurs ont des interactions les uns par rapport aux autres, comme le montre la Figure 2, ce qui engendre des difficultés logistiques telles que la congestion.

1.2. Empty backhauls problem pickup and delivery

Les entreprises ont de plus en plus des objectifs de diminution de coût, de rentabilité. Cette diminution de coût se retrouve également dans la chaîne logistique car les retours à vide sont une des plus grande contrainte opérationnelle et commerciale dans le transport. Dans ce chapitre, nous allons développer cette problématique et les enjeux liés au TAV pour une entreprise quelconque.

1.2.1. La problématique, les enjeux

Les retours à vide ou empty backhauls sont une problématique à laquelle les entreprises font de plus en plus attention car le TAV représente un facteur coût non négligeable dans la chaîne logistique. En effet, un transport à vide ne génère pas de revenu au cours de son processus et son coût doit donc être absorbé. Selon Rodrigue J-P. dans « The geography of transport systèmes » [5], cinq facteurs expliquent pourquoi des flux de transport sont vides, il illustre ces facteurs par la Figure 3 :

- Les flux déséquilibrés qui sont liés à la demande de transport entre deux sites. Pour la majorité des cas, cette demande n'est pas équilibrée. Lorsqu'un client commande de la marchandise à un entrepôt, il n'y a pas forcément de retour

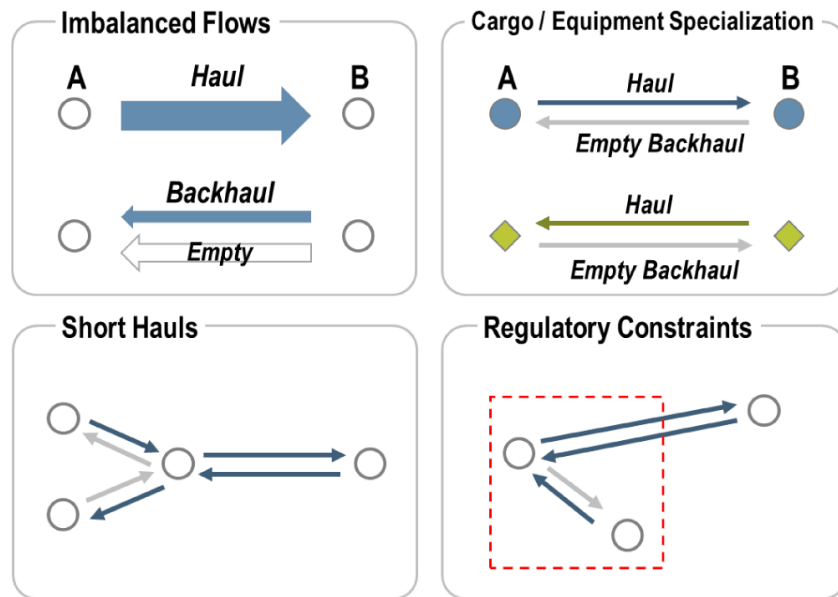


Figure 3 - Factors behind Empty Transport Flows [5]

de marchandise. Il n'y a pas forcément de réciprocity entre un entrepôt et un client. De plus, le déséquilibre peut être également dû à un impact temporel. Si dans une chaîne logistique l'entrepôt est aussi le client du même site, la fréquence de livraisons et les besoins ne sont pas identiques. Il y a donc un décalage temporel qui explique ce déséquilibre. On peut également observer le déséquilibre lorsque l'on regarde une entreprise à un niveau supérieur, on peut penser que les flux logistiques d'entrées et de sorties sont équilibrés sur une période que l'on va appeler longue (mois, semaine, ou jour en fonction de l'entreprise) mais lorsque l'on regarde une fraction de cette période, on se rend compte que les flux ne sont pas équilibrés, les flux peuvent être rentrants le matin et sortants l'après-midi par exemple,

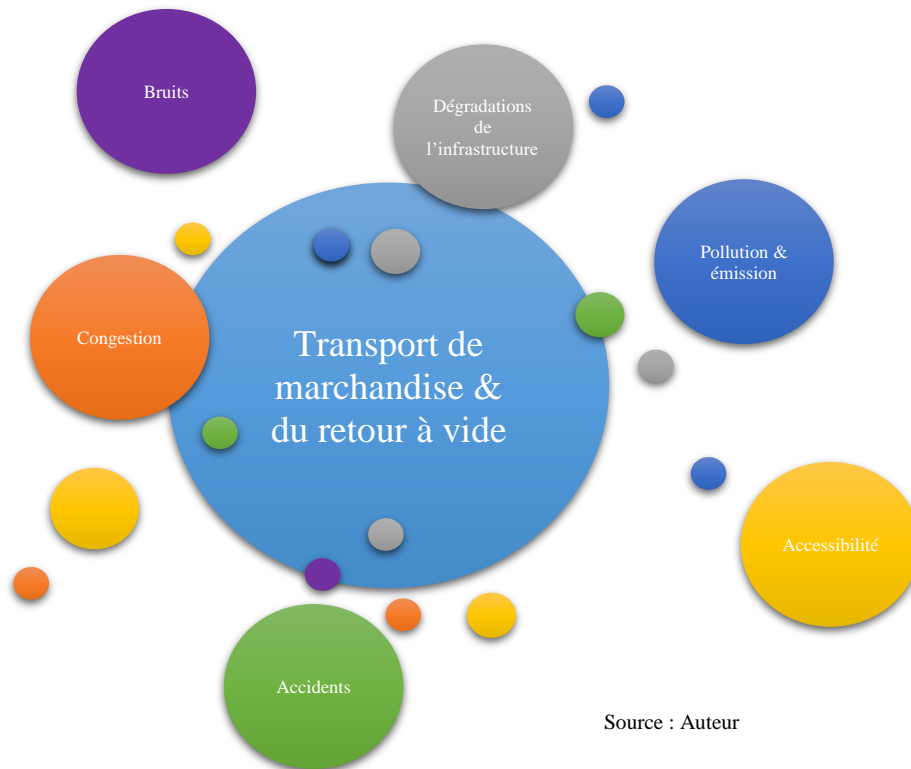
- La spécialisation des véhicules : un grand nombre de marchandises sont transportées avec des modes et des équipements spécifiques. Ainsi, même s'il y a une possibilité d'équilibre entre l'entrepôt et le client, le type de transport ne peut pas convenir. Par exemple, si une entreprise reçoit des tôles d'acier pour sa production et qu'elle doit renvoyer les chutes de découpes, le mode de transport n'est pas similaire. D'un côté, le transport se fera par camion plateau et de l'autre, par un camion-benne. De plus, il est fréquent que le transporteur soit spécialisé dans le transport d'une seule marchandise comme pour le transport en vrac par exemple : le pétrole, les céréales ou les produits

chimiques. Ces transports sont généralement spécifiques et ne sont pas conçus pour transporter autre chose,

- Les trajets courts : une grande partie des flux de transports couvre des petites distances avec une fréquence spécifique telles que les départs et les livraisons locales. Il est donc difficile d'associer à ces transports des opportunités qui pourraient être plus éloignées. Dans ces cas, le fait d'ajouter une étape, ou des nouveaux points de chargement et déchargement, entraînerait une incompatibilité et des retards pour son transport de départ,
- L'aspect économique : une fois la première livraison effectuée, l'opérateur a deux possibilités : chercher un chargement pour son voyage de retour ou retourner à vide. Cependant, il est parfois difficile de trouver un chargement qui génère un revenu suffisant pour compenser les coûts totaux de ce second chargement. Dans ces coûts totaux, nous devons intégrer la distance supplémentaire parcourue jusqu'au second lieu de chargement, le temps de recherche de ce second chargement et le temps de retour au dépôt principal. Un second transport n'est pas toujours économiquement plus rentable qu'un retour à vide,
- Les contraintes liées aux législations : les législations peuvent également empêcher des opportunités de retour non vide ; si on prend le cas de transporteurs pour compte propre, ils ne peuvent pas transporter des marchandises d'une autre société. Ce transport ne fait pas partie de leurs corps business.

Ces facteurs reflètent les différents enjeux du TAV. Selon Boudouin et Morel [6] repris par Delaître [4], les enjeux peuvent être classés selon quatre catégories :

- Les enjeux économiques : si on parvient à diminuer le TAV on pourra augmenter l'efficacité de la chaîne logistique,
- Les enjeux de l'accessibilité et de la mobilité : l'occupation des espaces et leurs fréquentations sont liées à leurs accessibilités du point de vue d'une marchandise mais également du point de vue des personnes,



Source : Auteur

Figure 4 - Impacts négatifs du transport de marchandises & du retour à vide

- Les enjeux fonctionnels : ils sont liés principalement aux politiques d'entreprise,
- Les enjeux environnementaux et sociétaux : en 2020 il n'est plus concevable de ne pas tenir compte des impacts négatifs d'une activité sur son environnement et sur la société en général.

Nous développons chaque enjeu dans les paragraphes suivants. Chaque facteur et enjeu du TAV a des impacts sur la société. Ces impacts sont généralement négatifs du point de vue société bien que le TAV fasse partie du développement et de la croissance. Dans la Figure 4, nous tentons de reprendre les différents impacts négatifs du TAV.

1.2.1.1. Les enjeux fonctionnels

Les enjeux fonctionnels du transport de marchandises assurent l'approvisionnement de toutes les entreprises. Pour chaque approvisionnement, l'ensemble des éléments qui constitue le mécanisme de la chaîne logistique va être parcouru avec, en fonction de la taille de l'entreprise, une échelle et une importance différentes. Pour qu'un transport de marchandises se réalise, il est nécessaire qu'il y ait une multitude d'étapes de préparations.

Chaque étape est liée à un individu ou à une équipe. C'est au niveau de ces étapes que les responsables du transport vont faire des choix qui vont influencer le type, le nombre et la fréquence de transports.

Chaque étape de la logistique est à prendre en compte pour diminuer le TAV. Comme décrit précédemment, pour pouvoir diminuer le TAV, il faut une compatibilité de marchandises mais pas seulement. La politique de fonctionnement de l'entreprise va elle-même influencer le TAV. En effet, si une entreprise choisit pour une question de coût de diminuer ses stocks, elle va devoir augmenter la fréquence de ses livraisons et par le même biais, diminuer les quantités transportées. Le choix du fournisseur est un autre exemple de l'influence de la politique de l'entreprise. Si le fournisseur est local, les distances de livraison seront faibles, le transport fera des trajets courts et sera donc moins flexible à réaliser des tournées pour limiter le TAV. De plus, l'augmentation de points d'arrêt augmente significativement la durée totale du trajet. Pour chaque point de livraison, il est nécessaire de prendre en considération sur le planning un temps de chargement et un temps de déchargement.

1.2.1.2. Les enjeux de l'accessibilité et de la mobilité

Dans le transport de marchandises, les difficultés de mobilité sont généralement dues à la proximité ou non d'une infrastructure routière. Cette infrastructure n'est également pas toujours adaptée au type de transport idéal à la marchandise livrée.

Ajouté à la présence ou non d'une infrastructure, il est de plus en plus courant au fur et à mesure des années, qu'une série de restrictions apparaissent et limitent l'accessibilité des transports vers les entrepôts ou vers les clients. Que ce soient des restrictions de charges, de taille, ou horaire, ces restrictions sont prévues pour améliorer la qualité de vie locale de la population mais cette qualité de vie, ce confort se fait au détriment du développement des entreprises.

Les difficultés d'accès impliquent une augmentation de coût lors des transports de marchandises que les sociétés doivent absorber. Si une entreprise doit livrer dans une zone limitée en poids pas exemple, elle va devoir modifier le type de transport utilisé. La question devra être étudiée par les opérateurs de la chaîne logistique. Ceux-ci vont devoir prendre des décisions qui limitent l'impact sur le coût. Dans ce cas, par exemple, il faudra passer sur un moyen de transport moins chargé. Il va donc falloir augmenter la quantité de transports. Dans

ce même exemple, on peut se poser la question : quand va-t-on effectuer ce changement ? On peut réaliser le changement dès le départ de l'entrepôt, mais on peut également le réaliser au plus proche du client en passant par un entrepôt de passage. Ce sont des leviers qui vont définir la possibilité de diminuer le TAV.

De plus, les problèmes d'accessibilité provoquent des ralentissements et participent davantage à la congestion ce qui engendre une augmentation de la consommation. Cette situation provoque chez les conducteurs des risques de stress et peut provoquer une augmentation des accidents. Cette situation peut également engendrer des usures accélérées des véhicules à la suite d'un usage intensif des systèmes de freins et des systèmes de transmission.

On pense que les difficultés d'accessibilité sont liées uniquement à l'infrastructure routière et aux institutions. Il y a un élément qui peut paraître anodin mais qui joue un rôle non négligeable dans l'accessibilité des points de chargement et déchargement : les contraintes horaires de livraison. De plus en plus d'entreprises limitent les plages horaires de livraisons pour, d'une part, éviter tout risque de plainte du voisinage, mais également pour éviter tant que possible les surcoûts des horaires à pause ou décalés. L'imposition des horaires est une contrainte face à la réduction de transport à vide car le fait de retourner à destination en passant au préalable par un point de chargement peut rendre difficile le retour dans les plages horaires disponibles.

1.2.1.3. Les enjeux environnementaux & sociétaux

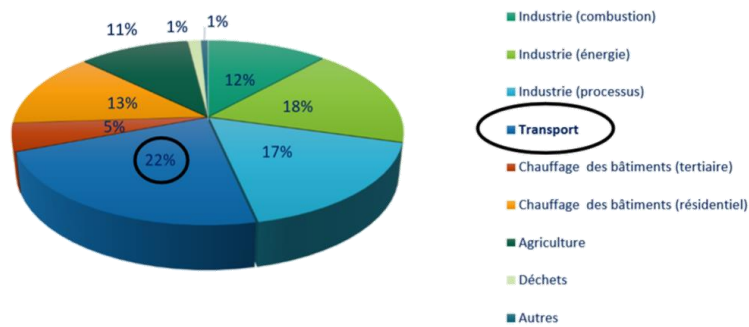
Le transport de marchandises est un élément vital pour une entreprise et pour le bon fonctionnement de l'industrie en général. Dans une politique actuelle de croissance

1.3 Evolution du transport de marchandises en Belgique



Graphique 1 - Évolution du transport de marchandises en Belgique [7]

8.1 Emissions de CO₂ par secteur (ktonnes équivalent CO₂, 2017)



Graphique 2 - Émissions de CO₂ par secteur (k tonnes équivalent CO₂, 2017 [7])

perpétuelle, ce transport de marchandises ne fait que croître comme nous le montre le Graphique 1. Le trafic routier de fret a augmenté de 114% (tonnes km) entre 1990 et 2017 [7]. C'est un phénomène qui augmente la congestion. Il participe également à une augmentation des émissions polluantes (comme les particules fines, les dioxydes d'azote NO₂, les hydrocarbures HC, etc....), des gaz à effet de serre (tels que le dioxyde de carbone CO₂, le méthane CH₄), des nuisances sonores et des vibrations. Dans le Graphique 2, on peut voir la proportion d'émission de CO₂ liée au transport en 2017.

1.2.1.1. Les enjeux économiques

Il n'est pas difficile de comprendre les enjeux économiques des entreprises liés au transport. Les sociétés cherchent à optimiser chaque étape de leurs productions pour réduire les coûts et, de cette manière, augmenter leurs rentabilités. Toutefois, cette optimisation peut et doit prendre en compte un grand nombre de facteurs. Chaque étape de la logistique doit être considérée pour atteindre un coût minimum. Ces différentes étapes ne peuvent pas être considérées séparément. Lorsque l'on veut optimiser la chaîne logistique, il faut prendre en compte tous les maillons si on ne veut pas avoir des effets qui s'annulent les uns par rapport aux autres voire même dégrader la situation. Par exemple, il est facile de penser que limiter le nombre de quais permet de diminuer les coûts. En effet, la diminution du nombre de quais va nécessiter un plus petit nombre de magasiniers et donc diminuer la charge de l'entreprise. Si on regarde plus globalement, le fait de diminuer le nombre de quais va directement influencer le nombre de camions que l'on peut décharger simultanément et par conséquent, va augmenter le temps de déchargement ou de chargement. Cette situation peut donc entraîner des surcoûts. En extrapolant plus loin, le fait d'augmenter le temps de chargement diminue le nombre de transports global que l'on peut recevoir et donc avoir un impact direct

sur les stocks. Le fait de modifier un élément de la chaîne logistique va avoir un impact sur tous les autres éléments. Par le même principe, tout changement sur la chaîne logistique implique une influence sur la production et l'entreprise en général. Il y a par défaut un impact coût quel que soit le changement.

Il est très difficile pour une entreprise de garantir sa croissance tout en gardant la même efficacité. Plus la demande de transports sera élevée, plus il est difficile d'ignorer les surcoûts liés au transport. Pour une entreprise, le fait d'optimiser aura un impact visible lorsqu'il y a un grand nombre de transports. Bien qu'optimiser reste intéressant pour toutes les échelles, toutes les entreprises ne peuvent pas forcément l'appliquer pour, entre autres, des raisons de coûts. Même si l'objectif en optimisant les TAV est une réduction de coût, il y a un coût de départ. Ce surcoût peut-être la paie d'un employé ou il peut-être le coût d'une prestation extérieure par exemple.

1.2.2. Problématique plurilatérale

Le TAV est une problématique complexe qui, pour la résoudre, demande une cohésion entre différentes entreprises et entre différents pays, par exemple, les alliances commerciales entre deux pays. La possibilité de réaliser des tournées de transports avec des chargements et des déchargements en cours de tournées implique des restrictions et des obligations à chaque coopérateur. Sur la Figure 5 un exemple de flux de transport est représenté avec plusieurs chargements et déchargements de marchandises. Les restrictions peuvent être dues aux types de marchandises à transporter, au conditionnement de celles-ci. Elles peuvent également provenir des limites imposées par les autorités ou par la politique

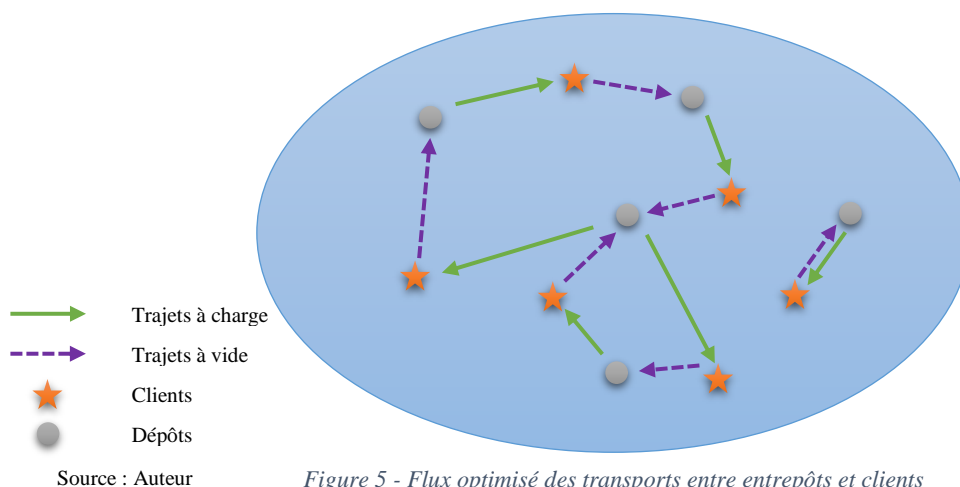


Figure 5 - Flux optimisé des transports entre entrepôts et clients

d'entreprise. Les chaînes logistiques d'une entreprise par rapport à une autre n'ont pas forcément la même taille ou le même fonctionnement.

Par exemple, lorsqu'un transport est en route vers un dépôt ou un client, il peut être confronté à divers imprévus qui vont influencer son planning. Lorsque l'on associe ces imprévus aux restrictions horaires de chargement et de déchargement de plus en plus fréquents dans les entreprises pour des raisons d'optimisation de coûts, on s'aperçoit que c'est un frein supplémentaire à l'optimisation des transports.

De plus, pour que les chaînes logistiques de différentes entreprises puissent travailler ensemble, elles doivent avoir une base de données commune. Cette base de données implique une confiance envers l'autre et une confidentialité des informations. Il est généralement très difficile pour les sociétés de faire suffisamment confiance. Sans compter qu'il peut y avoir des difficultés de litiges suite à des cargaisons abîmées par exemple. On se rend compte qu'il est difficile d'associer les objectifs de deux entreprises différentes.

Nous avons considéré que les entreprises étaient des entreprises de production qui possèdent une infrastructure logistique avec des transporteurs. Cependant, pour éviter le besoin de partage d'informations, il est possible de passer par une société qui réalise uniquement du transport. Cette société peut alors appliquer des principes d'optimisation du TAV sans avoir recours à des partages d'informations sensibles avec d'autres sociétés.

Le passage par une société de transport paraît être la solution la plus appropriée au problème de TAV. Toutefois, pour qu'il soit possible d'améliorer le TAV, la société de transport doit avoir dans son carnet d'adresses un grand panel de clients. En effet, les restrictions liées aux types de marchandises, au conditionnement, sont toujours d'application. Pour pallier à ces restrictions, l'entrepôt doit avoir un panel de clients disponibles qui utilisent le même type de transport. En revanche, l'entrepôt se retrouve plus rapidement confronté à des contraintes liées aux horaires. Une entreprise extérieure ne peut pas décharger ou charger la marchandise en dehors des heures prévues.

Un dernier cas se présente pour les grands groupes qui peuvent se permettre avec leurs propres flottes de réaliser des optimisations de TAV entre ses propres filiales : au sein du même groupe, il y a peu de confidentialité. Il est donc plus facile d'organiser des transports de marchandises optimisés.

Lorsque l'on s'éloigne pour observer l'ensemble de la problématique de TAV, on remarque que la complexité des objectifs des acteurs et la diversité de ceux-ci rendent leurs conciliations impossibles. Dans un objectif de simplification sans dénaturer la problématique, nous allons étudier les cas des dépôts des entreprises de transport mais également les dépôts des grands groupes qui peuvent travailler de manière similaire.

1.3. Modélisation conceptuelle du TAV

La problématique du TAV repose sur des interconnexions d'un grand nombre de variables. Ces liens rendent la situation du transport de marchandises difficile à comprendre et à analyser. Même si l'intuition peut aider à répondre à cette problématique, l'effet ne sera pas toujours souhaité car la solution que l'on pourrait croire meilleure pourrait avoir des impacts contraires. Le modèle va nous aider à mieux comprendre la situation du TAV mais également aider les entreprises à prendre des décisions logistiques.

Pour réaliser ce modèle, nous allons suivre la méthodologie proposée par Delaître L. [4] qui reprend les trois différentes étapes habituelles du processus d'analyse d'un système complexe repris à la Figure 6 qui sont :

- L'analyse causale qui permet d'analyser l'ensemble des causes de chaque problématique de la situation. Cette analyse reflète la perception que l'on a de la réalité,
- La modélisation va, sur base de l'analyse causale, formaliser la situation et faciliter la compréhension du système,

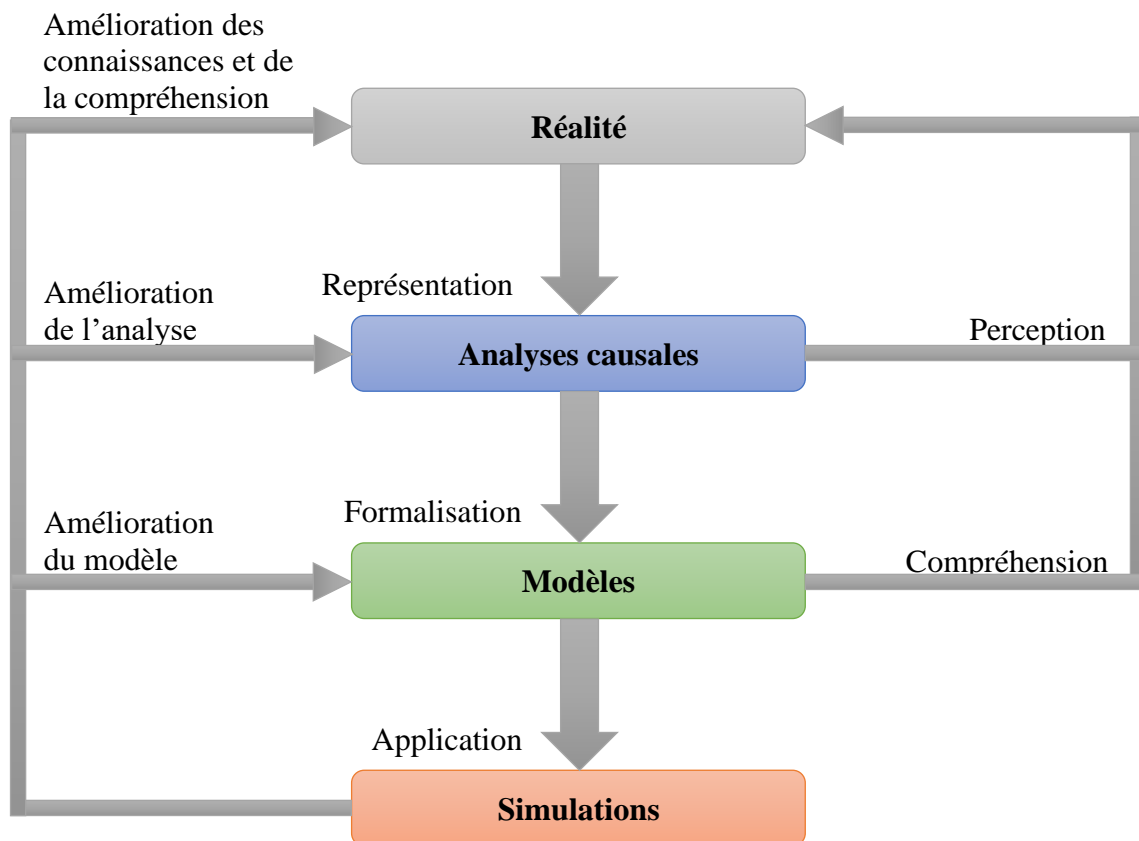


Figure 6 - Méthodologie de modélisation [4]

- La simulation permet d'appliquer le modèle à une situation pour en ressortir une meilleure connaissance du système. De cette manière, par effet de rétroaction, elle permet d'améliorer le modèle.

1.3.1.1. Analyse causale

On réalise une analyse causale car le problème est trop complexe pour le comprendre facilement.

La situation ne permet pas d'elle-même de cerner facilement les comportements passés, présents et futurs.

L'objectif est de faire l'état des différentes variables du problème. Cela permet d'ordonner la représentation du système et de mieux percevoir celui-ci. On va donc décomposer la situation en sous-ensembles qui pourront être analysés aisément de manière individuelle.

On a vu au chapitre 1 que les causes générales de la problématique du TAV sont comme le montre la Figure 7, les causes fonctionnelles, les causes environnementales, les causes sociétales et les causes économiques.

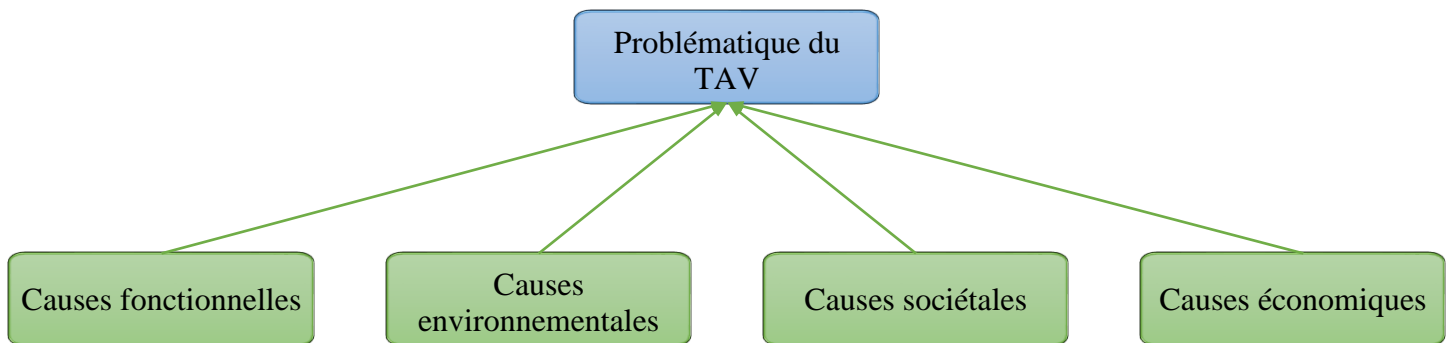


Figure 7 - Causes de la problématique de TAV

Source : Auteur

On va également détailler plus précisément ces différentes causes. Toutefois, nous devons garder un caractère général dans notre analyse. Même si nous voulons analyser le plus finement la situation, nous ne pouvons pas rentrer dans une analyse spécifique à une seule entreprise.

La Figure 8 décrit les impacts environnementaux.

La Figure 9 décrit plus précisément les causes fonctionnelles.

L'arbre représenté dans la Figure 10 approfondit les causes sociétales

Et enfin, la Figure 11 - Causes économiques détaille l'analyse causale économique.

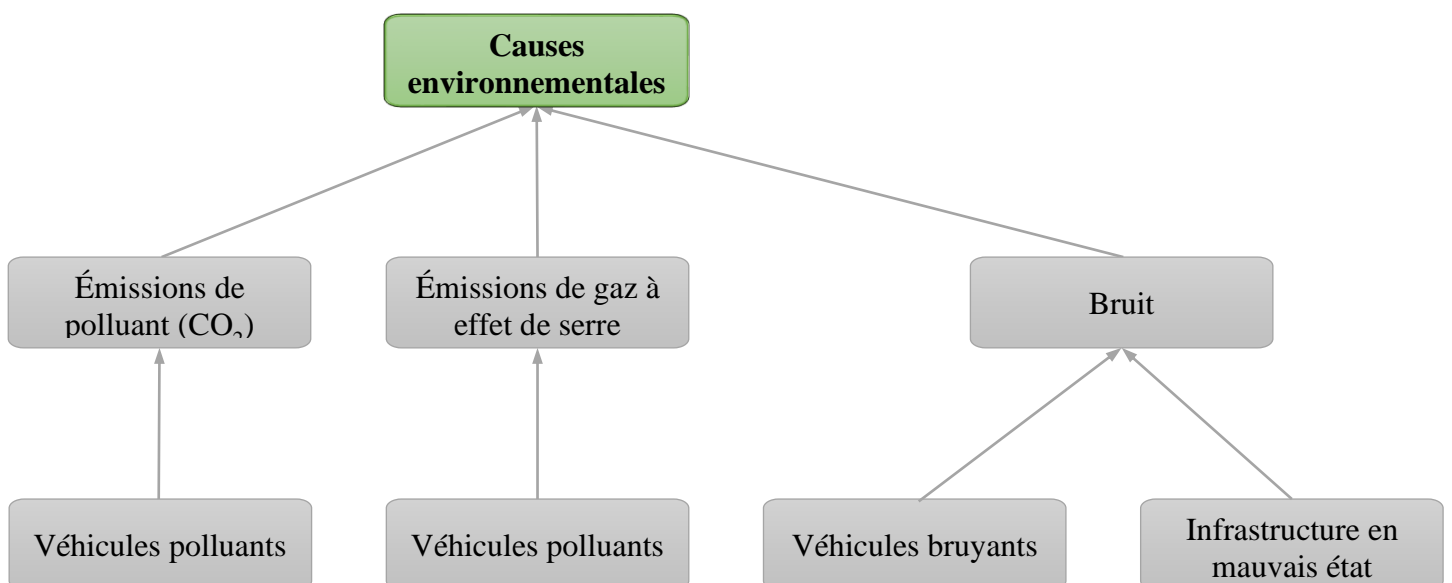


Figure 8 - Causes des impacts environnementaux

Source : Auteur

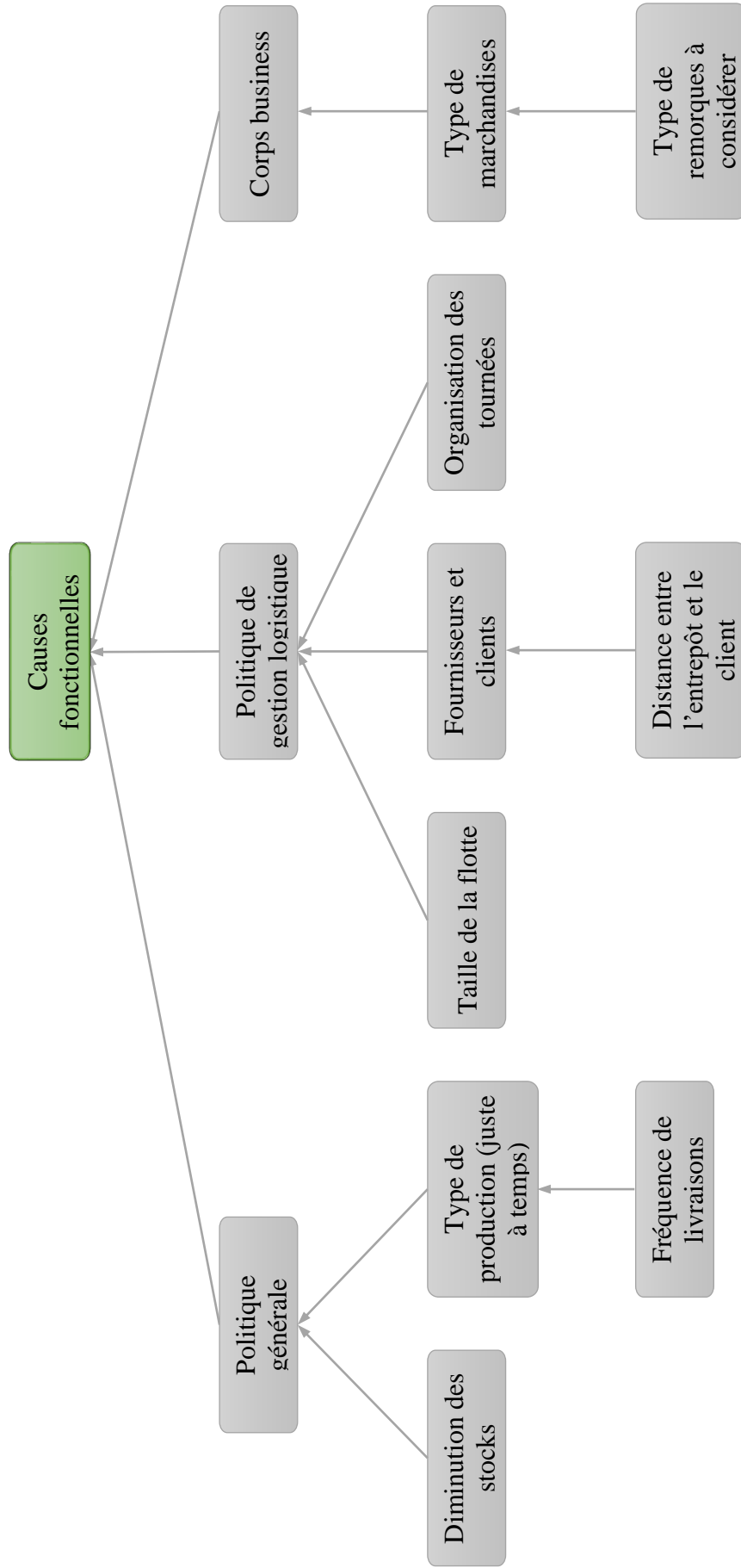


Figure 9 - Causes de la partie fonctionnelle

Source : Auteur

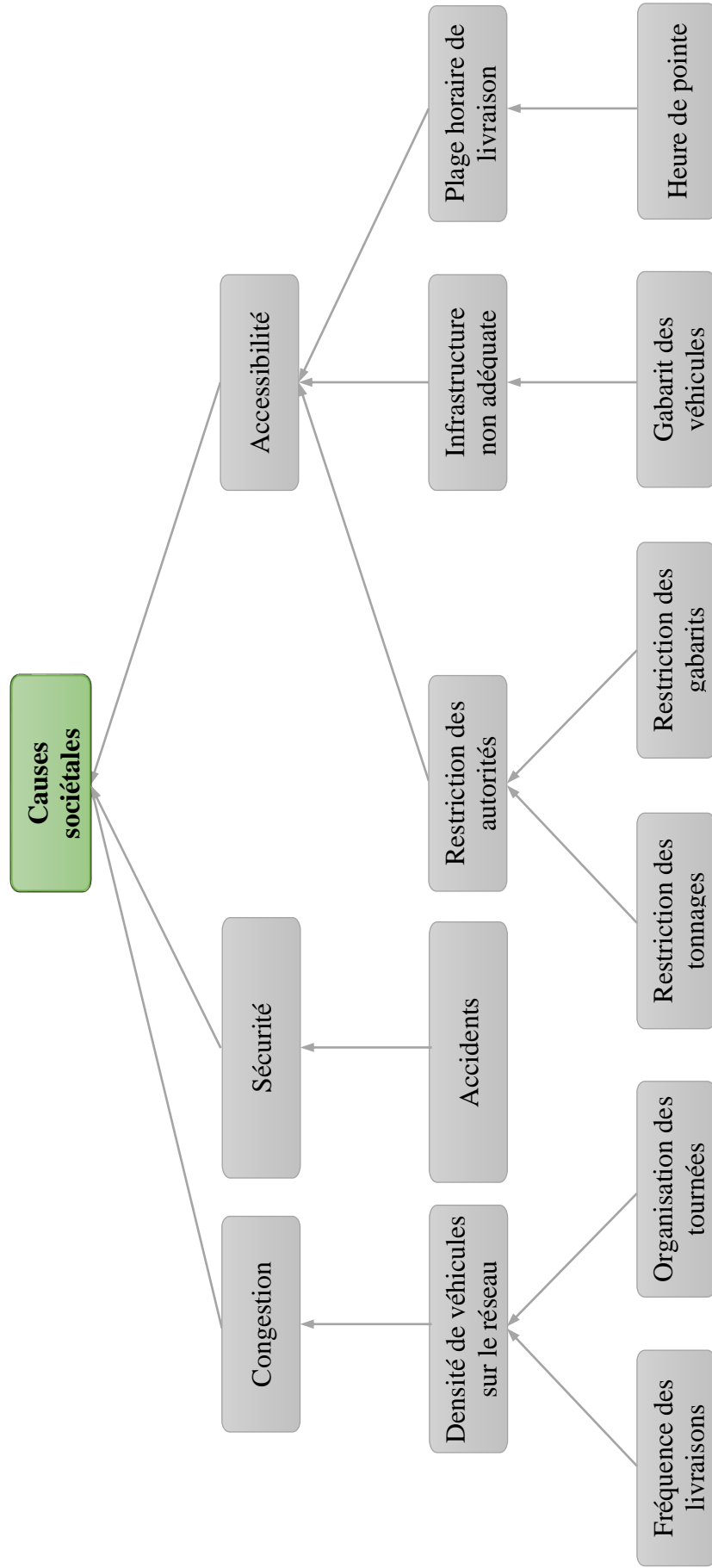


Figure 10 - Causes sociétales

Source : Auteur

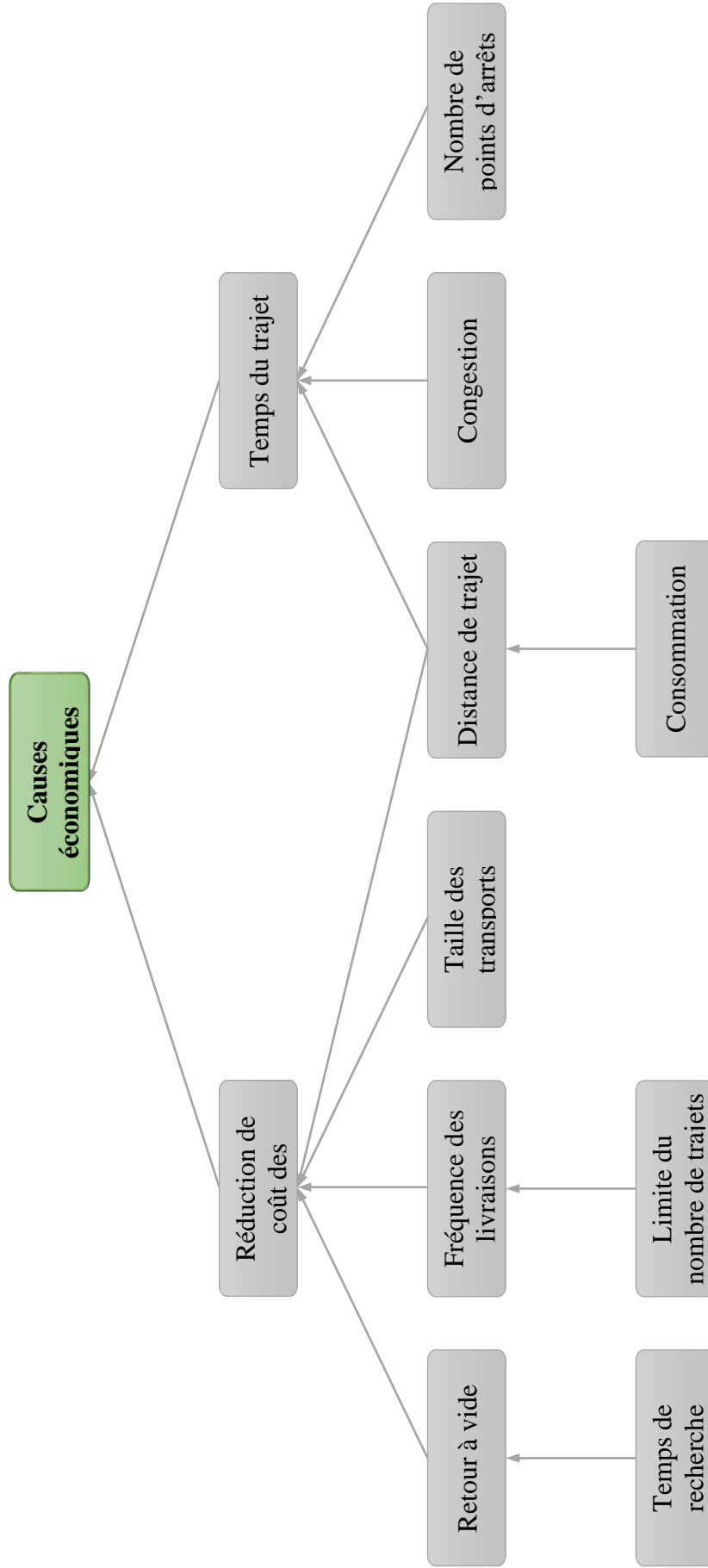


Figure 11 - Causes économiques

Source : Auteur

1.3.1.2. Conceptualisation

Dans le point précédent, nous avons développé sous forme d'arbres les différentes causes de la problématique de TAV. Comme nous montre la Figure 12, nous allons les regrouper en quatre grandes catégories pour identifier les variables de décisions sur lesquelles les entreprises pourront s'appuyer. Les quatre catégories sont :

- L'entreprise : cette catégorie reprend l'ensemble des causes liées à l'organisation de l'entreprise (politique d'entreprise, gestion logistique, le type de marchandises à transporter et le lieu de livraison),
- L'environnement : l'environnement reprend tous les impacts du transport qu'ils soient dus à la pollution ou qu'ils soient liés aux nuisances sonores,
- Les intervenants externes : on sépare les intervenants externes en deux sous catégories. La première reprend les infrastructures urbaines disponibles pour la réalisation du transport. La seconde reprend les intervenants externes tels que les officiels d'un état,
- Le système lié au transport : cette section reprend tout ce qui est directement lié au transport. On va retrouver dans cette catégorie les éléments qui font la caractéristique du transport (le type de véhicule, la durée de la livraison, la distance de livraison, la fréquence de livraison).

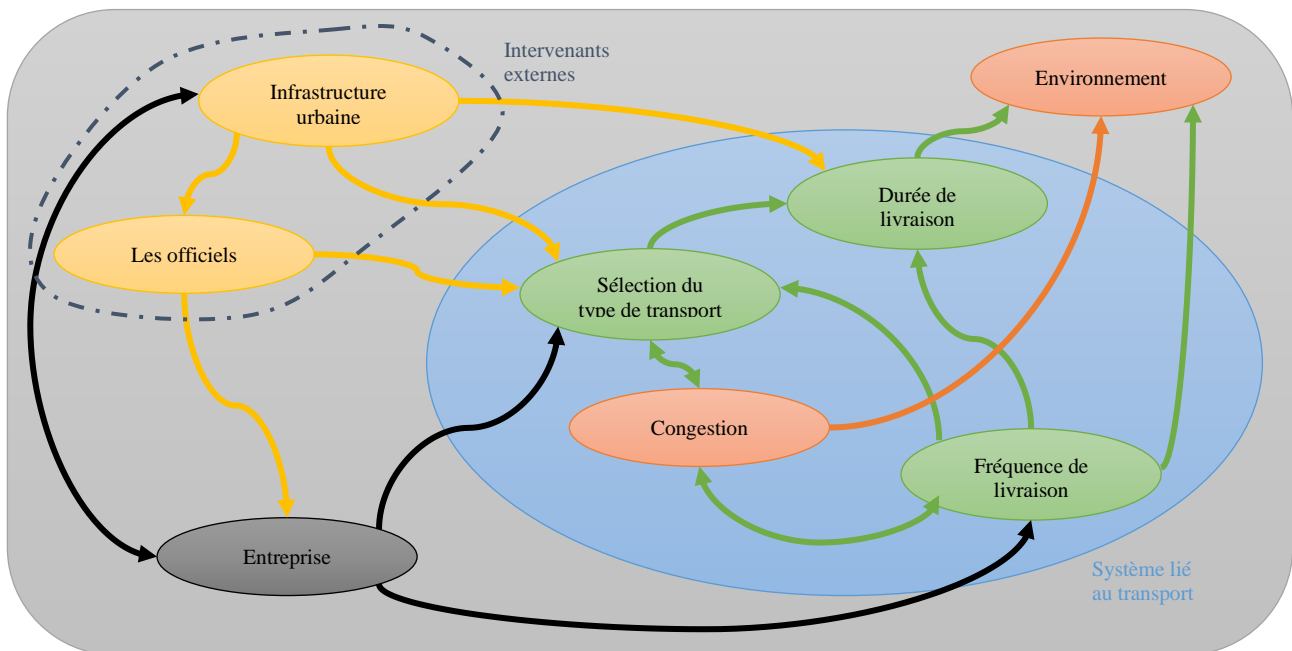


Figure 12 - Modélisation du système TAV

Source : Auteur

1.3.1.3. Les leviers disponibles pour les entreprises

Nous avons classé dans le point précédent quatre catégories dans lesquelles sont repris les leviers dont disposent les entreprises de transport pour agir sur la problématique du TAV. Cependant elles ne peuvent pas agir sur chaque catégorie, nous reprenons dans la Figure 13 les différents leviers du TAV et leurs intervenants. Les entreprises ne pourront pas agir sur les intervenants externes ni sur l'environnement. Les leviers disponibles pour les entreprises de transport se retrouvent dans les catégories de l'entreprise et du système lié au transport. Seules les collectivités locales vont pouvoir agir sur les infrastructures et sur les législations et réglementations.

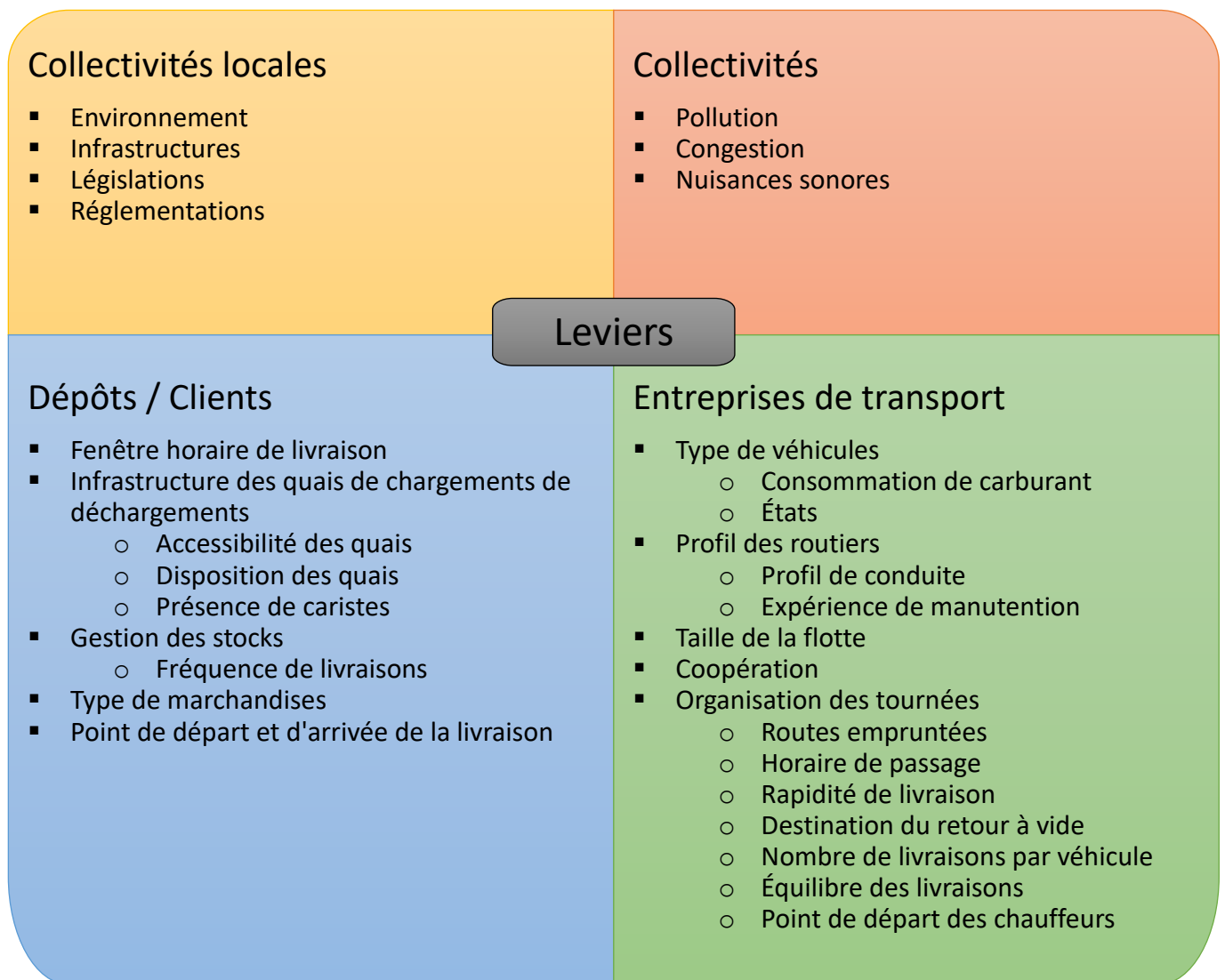


Figure 13 – Leviers du TAV

Source : Auteur

Dans la catégorie de l'entreprise, nous retrouvons d'une part des leviers tels que les horaires d'ouverture des quais de chargement et de déchargement, la disponibilité des caristes, l'accessibilité des quais de chargement et de déchargement, ... D'autre part, les aspects relatifs au produit manutentionné comme le type de marchandise, la gestion du stock. Ces leviers sont sous la maîtrise des points d'échange que sont les clients et les dépôts.

Dans les leviers présents pour l'entreprise de transport, nous pouvons mettre en évidence ceux qui sont liés aux types de véhicules, le profil de conduite du routier et son expertise, la taille de la flotte et pour finir les leviers correspondant à l'organisation des tournées.

Chaque levier a son influence propre sur le transport à vide. Malheureusement, il influence également d'autres leviers ou d'autres aspects économiques des entreprises. Il est donc important de manier ces leviers avec précaution. Nous pouvons montrer que la fenêtre horaire pour la livraison favorise ou défavorise le transport à vide. De plus, il contraint l'organisation des tournées. Un retour chargé peut être appliqué ou abandonné selon la taille de la fenêtre de livraison.

1.4. Conclusion

Pour conclure ce chapitre, nous avons défini pour ce mémoire le transport comme le transit de marchandises via le réseau routier, nous n'intégrons pas le déplacement de passagers dans notre définition du transport. Dans le même principe, le transport à vide se caractérise par le déplacement à vide de véhicules destinés au transport de marchandises et qui n'ont pas comme objectif premier le déplacement humain.

La problématique du transport est complexe car elle dépend de nombreux facteurs comme le déséquilibre des flux, la spécialisation des véhicules, les trajets courts, l'aspect économique, les contraintes liées aux législations. Pourtant, l'enjeu est de taille. Le retour à vide représente un coût à répercuter sur l'ensemble de la chaîne logistique. En outre, les transports sans chargement comportent d'autres enjeux au niveau économique, de l'accessibilité et de la mobilité, environnementaux et sociétaux et fonctionnels. Cependant, il n'est pas aisé de limiter ceux-ci, si l'entreprise ou le groupe ne dispose pas d'un panel d'entrepôts et de clients suffisants. Dans ce cas, elle est dépendante de nombreux facteurs.

Cependant, une entreprise peut utiliser certains leviers afin de diminuer les transports à vide. Nous en avons listé quelques-uns dans le paragraphe précédent. Néanmoins, ceux-ci doivent être utilisés avec beaucoup de précautions car ils n'impactent pas uniquement le transport à vide mais bien toute la chaîne logistique.

La diminution des retours à vide est donc un problème complexe qui requiert des solutions complexes.

Pour notre étude nous retiendrons principalement les leviers liés à la géographie des points de chargements et de déchargements, la coopération de deux entreprises de transport et les points de départ des véhicules.

Chapitre 2

Formalisation du modèle mathématique

Sommaire

| | | |
|--------|--|----|
| 2. | Formalisation du modèle mathématique..... | 27 |
| 2.1. | Modèle mathématique de simulation de base..... | 27 |
| 2.1.1. | Modèle de base de travail. | 28 |
| 2.2. | Base de données..... | 34 |
| 2.3. | Méthode heuristique | 35 |
| 2.4. | Mise en œuvre du modèle..... | 36 |
| 2.5. | Conclusion | 37 |

2. Formalisation du modèle mathématique

Ce chapitre consiste à présenter les différents outils nécessaires pour la simulation de nos questions managériales que l'on traitera dans le chapitre 3.

Dans l'objectif de minimiser le TAV, nous avons besoin de trois éléments. Le premier de ces outils est un modèle de simulation qui représente la réalité du transport de marchandises. Le deuxième élément est une base de données. Cette dernière doit être suffisamment complète pour permettre de réaliser plusieurs tests tout en gardant une simplicité d'utilisation. Le dernier élément consiste à associer le modèle mathématique, la base de données et l'utilisation. Pour ce dernier point, il est également important de prévoir un moyen d'augmenter l'efficacité du calcul. Il s'agit d'une heuristique. Bien que l'on utilise un ordinateur, les performances de la machine ne sont pas systématiquement suffisantes pour calculer l'optimum. L'heuristique permettra de faciliter les calculs.

Lorsque nous aurons présenté les différents outils de simulation, nous expliquerons la mise en œuvre de ceux-ci. Ensuite, nous passerons en revue les concepts utilisés dans le codage du programme Fico Xpress. Une fois ce point terminé, nous serons suffisamment équipés pour parcourir les différentes analyses réalisées et pour parcourir les modifications que nous apporterons au modèle de base.

2.1. Modèle mathématique de simulation de base

L'outil de simulation est un modèle mathématique qui reprend les principaux paramètres et variables liés au transport à vide et qui a pour objectif premier de minimiser les distances parcourues par des véhicules de transport. Cet outil nous a été fourni par notre promoteur M. Tancrez. C'est un modèle mathématique linéaire que nous avons analysé et que nous nous sommes approprié ce qui nous a permis par la suite de le modifier afin de réaliser nos différents tests. Certaines extensions du modèle nécessitent peu ou pas de modifications du modèle existant. D'autres en revanche nécessitent un retravail complet des formules mathématiques pour arriver au résultat escompté.

La réalisation d'un modèle mathématique est complexe car il est nécessaire de reprendre les variables importantes au modèle. Si l'on prend trop de variables, nous risquons de surcharger le modèle dans des calculs inutiles. Cependant, si l'inverse se produit et que

le modèle ne compte pas suffisamment de variables, il est probable que celui-ci ne rende pas bien compte de la réalité. Il serait alors trop simple. Il en est de même pour la paramétrisation du modèle. Lorsque l'on définit les paramètres d'un modèle, nous réduisons son espace de résolution. Nous avons pu voir dans la seconde édition du livre « Optimization in operation research de Ronald L. Rardin » que lorsque l'on définit les paramètres d'un modèle, nous réduisons son espace de résolution. Nous pouvons voir, à titre d'exemple, l'espace réduit de la mise en application Two Crude Petroleum dans la Figure 14. Au contraire, si le modèle est trop contraint, il est possible que la solution n'existe pas, par manque d'espace de résolution. Trop de paramétrisation du modèle a pour conséquence d'alourdir celui-ci. Dans

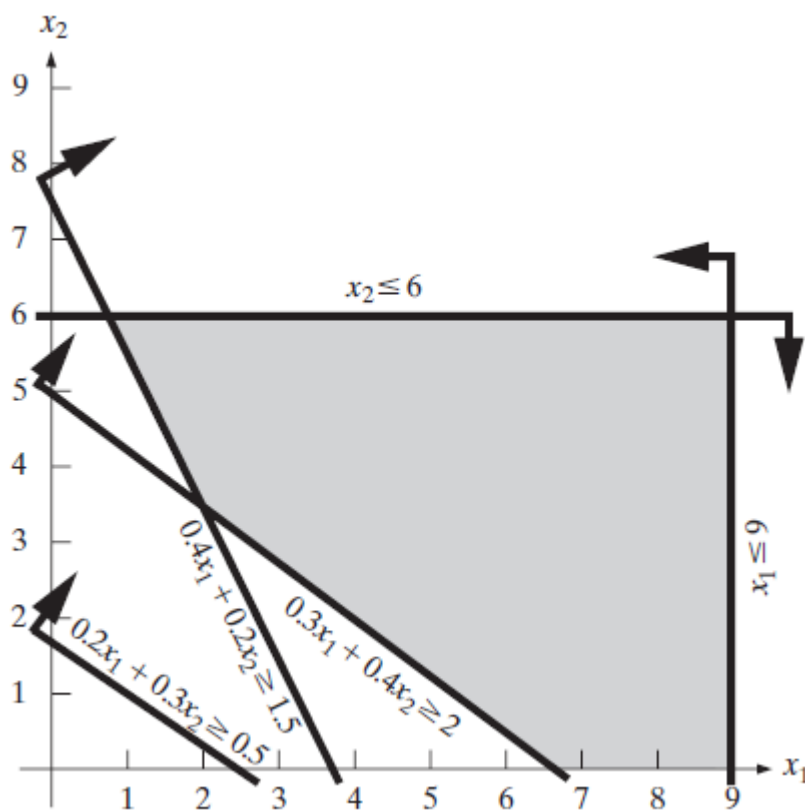


Figure 14 – Exemple d'espace réduit d'un modèle [13]

certains cas, des contraintes peuvent être retirées car elles sont redondantes. Lors de la réalisation de ce mémoire, nous avons eu ce cas de contraintes redondantes. Ces dernières ont été retirées.

2.1.1. Modèle de base de travail.

Le modèle mathématique fourni se compose d'un sous modèle et du modèle principal. Ces deux modèles sont structurés comme suit. Tout d'abord, nous avons l'ensemble de notations. Cet ensemble comprend les indices et les ensembles, les paramètres

et les variables du modèle mathématique. Ensuite, nous avons le modèle et ses sous contraintes.

2.1.1.1. Sous modèle

Le premier modèle est utilisé comme première base de calcul pour limiter la quantité de calculs du modèle suivant. Ce premier modèle est très simple, il est composé de 2 indices et ensembles, de 2 paramètres, d'une variable et de 3 sous-contraintes.

2.1.1.1.1. Indices et ensembles

$a \in S_A = \{1, 2, \dots, N_A\}$ Ensemble des points de chargement « a » nommé dépôt.

$b \in S_B = \{1, 2, \dots, N_B\}$ Ensemble des points de déchargement « b » nommé client.

2.1.1.1.2. Paramètres

$Dist_{ab}$ Tableau reprenant l'ensemble des distances entre les points dépôts et les points clients.

$Trips_{ab}$ Tableau reprenant l'ensemble des demandes de livraison entre les points dépôts et les points clients.

2.1.1.1.3. Variables

y_{ba} Variable reprenant les trajets retour qui sont décidés. Trajet allant du client « b » vers le dépôt « a »

2.1.1.1.4. Modèle

L'objectif de ce sous modèle est de minimiser la distance totale parcourue. La distance totale parcourue est la somme de tous les trajets demandés et les déplacements de retour. Le modèle va déterminer les trajets retour « y_{ba} » pour que la distance totale parcourue soit la plus faible possible. On peut constater que ce sous modèle ne tient pas compte d'éventuels véhicules. Le fait d'ajouter un véhicule compliquerait les calculs et c'est

bien ça que l'on veut éviter. Le nombre de véhicules sera ajouté par la suite dans le modèle de base.

$$\min \sum_{a,b} (Dist_{ab} * Trips_{ab}) + \sum_{a,b} (Dist_{ab} * y_{ba})$$

2.1.1.1.5. Sous contrainte

$$\sum_b y_{ba} = \sum_b Trips_{ab} \quad \forall a \in S_A$$

Sous contrainte qui nous permet de conserver les flux aux points de chargement « dépôt », « a ».

$$\sum_a y_{ba} = \sum_a Trips_{ab} \quad \forall b \in S_B$$

Sous contrainte qui nous permet de conserver les flux aux points de déchargement « client », « b ».

$$y_{ba} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall a \in S_A, b \in S_B$$

Sous contrainte nous permettant de définir « y_{ba} » comme un nombre entier positif.

Nous verrons par la suite comment est utilisé ce sous modèle.

2.1.1.2. *Modèle de base*

Nous allons maintenant présenter le modèle de base. On peut décrire ce modèle comme étant le vrai modèle de base. Il est composé de l'ensemble des paramètres, variables et sous contraintes qui permettent au modèle de se rapprocher d'une situation réelle.

Ces éléments prennent en considération une grande partie des facteurs qui impactent les tournées de camions. Ces éléments comprennent les dépôts, les clients, les véhicules, ou missions de véhicules, la distance entre les dépôts et clients ainsi que les voyages nécessaires entre ces derniers. Nous pouvons également ajouter le temps de chargement et de déchargement, la vitesse des camions et le temps d'accès.

Ce modèle de base est composé de 3 indices et ensembles, de 8 paramètres, de 3 variables et de 9 sous contraintes.

2.1.1.2.1. Indices et ensembles

- $a \in S_A = \{1, 2, \dots, N_A\}$ Ensemble des points de chargement « a » nommé dépôt.
- $b \in S_B = \{1, 2, \dots, N_B\}$ Ensemble des points de déchargement « b » nommé client.
- $v \in S_V = \{1, 2, \dots, N_V\}$ Ensemble des véhicules « v » disponibles pour réaliser les tournées.

2.1.1.2.2. Paramètres

- $Dist_{ab}$ Tableau reprenant l'ensemble des distances entre les points dépôts et les points clients.
- $Trips_{ab}$ Tableau reprenant l'ensemble des demandes de livraison entre les points dépôts et les points clients.
- Tch Temps estimé pour le chargement d'un camion à un entrepôt.
- Tde Temps estimé pour le déchargement d'un camion chez un client.
- Vit Vitesse moyenne estimée pour l'ensemble des véhicules.
- $TMax$ Temps maximum de conduite pour un véhicule.
- M Nombre de chargements maximum qu'un véhicule peut réaliser lors d'une tournée.
- Tac Temps fixe nécessaire à un véhicule pour arriver au premier dépôt « a » de sa tournée.

2.1.1.2.3. Variables

| | |
|------------|--|
| x_{ab}^v | Variable reprenant pour chaque véhicule le nombre de trajets du dépôt « $a \in S_A$ » vers le client « $b \in S_B$ » qui sont décidés. |
| y_{ba}^v | Variable reprenant pour chaque véhicule le nombre de trajets du client « $b \in S_B$ » vers le dépôt « $a \in S_A$ » qui sont décidés. |
| v_v | Variable qui définit si le véhicule « v » est utilisé. Variable valant 1 si le véhicule est utilisé, valant 0 sinon. |

2.1.1.2.4. Modèle

L'objectif de ce modèle est le même que pour le sous modèle. Il consiste à déterminer la distance minimale à parcourir. Nous pouvons observer qu'il y a trois éléments présents dans cette optimisation. Le premier reprend l'ensemble des déplacements de livraisons demandés. Le deuxième élément reprend les trajets retour et le troisième élément reprend la distance d'accès de chaque véhicule à son premier point de dépôt.

$$\min \sum_{a,b,v} (Dist_{ab} * x_{ab}^v) + \sum_{a,b,v} (Dist_{ab} * y_{ba}^v) + \sum_v Vit * Tac * v_v$$

Maintenant que la fonction de base est placée, nous pouvons ajouter des sous contraintes pour que le modèle se rapproche de la réalité.

2.1.1.2.5. Sous contrainte

$$\sum_v x_{ab}^v = Trips_{ab} \quad \forall a \in S_A, b \in S_B$$

Sous contrainte qui nous permet d'imposer au modèle le nombre de demandes transports que l'on doit réaliser.

$$\sum_b x_{ab}^v = \sum_b y_{ba}^v \quad \forall a \in S_A, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : le nombre de livraisons arrivant au client « b » doit être égal au nombre de livraisons partant du même client.

$$\sum_a x_{ab}^v = \sum_a y_{ba}^v \quad \forall b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : le nombre de livraisons partant du dépôt « a » doit être égal au nombre de transports revenant à ce même dépôt.

$$\begin{aligned} & \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dist_{ab}}{Vit} + Tch \right) * x_{ab}^v \right) \\ & + \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dsit_{ab}}{Vit} + Tde \right) * y_{ba}^v \right) \quad \forall v \in S_V \\ & \leq TMax \end{aligned}$$

Sous contrainte de limite de temps de trajet : la durée totale du trajet d'un véhicule ne peut pas excéder « Tmax ». Dans cette sous contrainte, nous reprenons les temps de trajet des dépôts vers les clients, les temps de trajet des clients vers les dépôts, les temps de chargement et les temps de déchargement.

$$\sum_{a,b} x_{ab}^{v-1} \geq \sum_{a,b} x_{ab}^v \quad \forall v \in \{2,3, \dots, N_V\}$$

Sous contrainte de priorisation des véhicules : elle permet d'imposer au modèle d'utiliser prioritairement les véhicules déjà utilisés.

$$\sum_{a,b} x_{ab}^v \leq M * v_v \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte d'utilisation du véhicule et de chargement : elle permet d'imposer un nombre maximal de livraisons que peut réaliser un véhicule qui est utilisé. Elle définit également la valeur de « v » qui est égale à 1 si le véhicule est utilisé et égal à 0 sinon.

$$x_{ab}^v \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall a \in S_A, b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « x_{ab}^v » comme un nombre entier positif.

$$y_{ba}^v \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall a \in S_A, b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « y_{ba}^v » comme un nombre entier positif.

$$v_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « v_v » comme un nombre binaire.

2.2. Base de données

Pour pouvoir réaliser les calculs d'optimisations, il faut fournir au modèle mathématique une source de données. Cette source de données doit contenir l'ensemble des paramètres décrits dans le modèle de base. On doit donc pouvoir y retrouver les informations suivantes :

- Le nombre de points de chargement possible
- Le nombre de points de déchargement possible
- Le nombre de véhicules disponibles
- Le temps de chargement
- Le temps de déchargement
- La vitesse de déplacement
- Le temps d'accès
- Le temps maximum de conduite
- Le nombre de chargements maximal
- Un tableau reprenant pour chaque dépôt et chaque client le nombre de demandes de livraison
- Un tableau reprenant la distance entre chaque dépôt et chaque client

La présentation de la base de données importe peu pour le programme du moment qu'il a toutes les informations. Pour nous faciliter la tâche lors de la réalisation des essais, nous sommes partis sur la réalisation d'un fichier Excel. Celui-ci comporte une feuille reprenant le tableau des demandes de livraisons, une feuille reprenant le tableau des distances entre chaque dépôt et chaque client et une feuille reprenant les autres informations. Lorsque l'on veut ajouter des paramètres supplémentaires, nous pouvons soit ajouter au fichier Excel une nouvelle feuille si l'information est un tableau, par exemple, si on veut

ajouter des points de départ qui varient selon les véhicules, soit ajouter une ligne dans la feuille comprenant les autres données lorsque l'information est une seule valeur fixe.

Les feuilles comportant les tableaux sont constituées de la liste des dépôts dans la première colonne. Tandis que la liste des clients est reprise sur la première ligne. Les distances entre les villes « dépôts » et les villes « clients » ou les demandes de livraisons sont reprises à l'intersection de la ligne et de la colonne correspondante. La mise en commun de ces deux feuilles nous donne notre matrice pour les voyages à effectuer entre les dépôts et les clients.

2.3. Méthode heuristique

Nous venons de voir que nous avons deux modèles, un premier qui est très simple et un deuxième plus complet. Le fait d'avoir deux modèles nous permet de pouvoir réaliser une heuristique. En effet, avec l'étendue des données qui sont disponibles dans la base de données, on peut très rapidement comprendre que le modèle ait des difficultés pour donner un optimum. Une heuristique a été utilisée pour éliminer du calcul les données inutiles.

L'heuristique se compose de deux parties. La première partie est assez succincte. Il s'agit d'une minimisation des trajets aller et des trajets retour avec le minimum de paramétrisation possible. Dans cette première minimisation, les seules contraintes sont la conservation des flux entrants et sortants des dépôts et des clients. C'est l'application du sous modèle que nous avons vu précédemment.

Dans la seconde partie, le programme transfère les résultats de la première minimisation afin de diminuer les données de calculs. Le nombre de contraintes y est plus élevé. Il est donc plus facile pour la seconde minimisation de repartir d'une solution approchée.

Les données utilisées dans le sous modèle consistent en un tableau de demandes de transports et un tableau de distances. Ces tableaux sont définis par un point de départ, un entrepôt, et un point d'arrivée, un client. Lors du lancement du sous modèle, celui-ci va convertir ces tableaux de « x » lignes et de « y » colonnes en deux tableaux. Le premier va reprendre toutes les données du trajet de livraison, trajet du dépôt vers le client. Il sera composé d'un nombre de lignes équivalent au nombre de demandes de livraisons du point « a » vers le point « b » et de 4 colonnes. Ces 4 colonnes correspondent au point de départ

« a », au point d'arrivée « b », à la quantité de demandes de livraisons de « a » à « b » et de la distance entre le point « a » et le point « b ». Le deuxième tableau va être structuré de la même manière à la différence que ce ne sont plus les trajets aller mais les trajets retour qui sont utilisés. Ces deux nouveaux tableaux seront utilisés par le modèle de base pour réaliser son optimisation. Lors de l'utilisation du sous modèle, nous supprimons les données des dépôts et les données des clients qui ne sont pas utilisées.

2.4. Mise en œuvre du modèle

Un calcul d'optimisation serait très difficilement réalisable manuellement. C'est pourquoi nous utilisons le logiciel d'optimisation Fico Xpress. Ce logiciel de programmation est particulièrement adapté aux calculs d'optimisation. Qui dit logiciel de programmation dit également langage de programmation spécifique. Nous avons dû commencer par prendre connaissance du langage Xpress Mosel avant de pouvoir adapter et modifier le programme.

L'application du modèle de base dans le langage Xpress Mosel se fait de manière similaire à une programmation C⁺⁺. Nous allons retrouver les structures classiques qui sont une fonction « main », des sous fonctions, des déclarations, des initialisations.

La structure de notre programme va comporter une première étape de déclaration de variables et d'initialisation de celles-ci à l'aide du fichier Excel. Une fois les variables créées, on passe à la deuxième étape qui consiste en l'heuristique. La fonction « main » appelle la sous fonction d'optimisation du sous modèle. Cette sous fonction est constituée de modèles et des sous contraintes. Elle fait appel à une sous fonction d'affichage qui permet de convertir les données et de les rendre accessibles à la prochaine fonction qui contient le modèle de base.

Une fois que les données sont converties, la fonction « main » va lancer la fonction d'optimisation du modèle de base. Cette fonction est constituée de la récupération des données du sous modèle, des déclarations des variables locales, du modèle, des sous contraintes et de l'appel de la fonction d'affichage du résultat.

Pour terminer, la fonction d'affichage va afficher les résultats de l'optimisation et des tournées sur la fenêtre de sortie du logiciel Xpress. Elle va également préparer les données pour les récolter dans un nouveau fichier Excel. Lorsque les données sont prêtes pour le fichier Excel, une fonction d'écriture va initialiser les données dans le fichier Excel.

La récupération des données dans un fichier Excel permet une plus grande facilité de traitement des résultats mais aussi de pouvoir les utiliser rapidement. L'ensemble du code de programmation est repris dans l'Annexe 1.

2.5. Conclusion

Nous venons de décrire tous les outils nécessaires à l'application du modèle. Nous pouvons dès à présent appliquer le modèle à des questions managériales. Nous pouvons également adapter le modèle, si nécessaire, pour répondre aux questions managériales.

Dans le prochain chapitre, nous allons dans certains cas exploiter le modèle de base et dans d'autres cas, nous allons le modifier. La structure des fichiers de données sera constituée de la même manière avec une feuille Excel dédiée au tableau de données. Lors de l'adaptation des modèles, nous utiliserons la même structure qui est décrite dans la mise en œuvre.

Chapitre 3

Applications et extensions aux questions managériales

Sommaire

| | | |
|--------|--|----|
| 3. | Applications et extensions aux questions managériales | 40 |
| 3.1. | Influence des paramètres géographiques sur le transport à vide | 40 |
| 3.1.1. | Présentation de la question managériale et hypothèses | 41 |
| 3.1.2. | Mise en œuvre du modèle pour l'étude géographique..... | 48 |
| 3.1.3. | Conclusion et critiques..... | 54 |
| 3.1.4. | Question pour aller plus loin..... | 55 |
| 3.2. | Coopération base de données | 56 |
| 3.2.1. | Présentation de la question managériale | 57 |
| 3.2.2. | Mise en œuvre de la question managériale | 62 |
| 3.2.3. | Conclusion et critiques..... | 65 |
| 3.3. | Optimisation du bénéfice et possibilité de non-réalisation de demandes | 66 |
| 3.3.1. | Présentation de la question managériale et hypothèses | 66 |
| 3.3.2. | Modèle | 75 |
| 3.3.3. | Mise en œuvre de l'optimisation du bénéfice et de la non-réalisation de demande..... | 79 |
| 3.3.4. | Conclusion et critiques..... | 88 |
| 3.4. | Point de départ chauffeur & retour | 89 |

| | |
|--|-----|
| 3.4.1. Présentation de la question managériale et hypothèses | 89 |
| 3.4.2. Modèle | 96 |
| 3.4.3. Mise en œuvre du modèle d'optimisation des retours à vide avec les départs de véhicules imposés. | 100 |
| 3.4.4. Conclusion et critiques..... | 107 |

3. Applications et extensions aux questions managériales

Dans ce chapitre, nous allons traiter quatre questions managériales qui ont été relevées dans le chapitre 1. L'objectif pour chacune de ces questions est de pouvoir apporter des pistes de solution dans le but d'améliorer les connaissances sur les transports à vide.

Nous allons, dans un premier temps traiter deux questions sans modification du modèle mathématique. Ensuite, nous traiterons deux autres questions qui conduisent à une modification du modèle mathématique.

Nous cherchons à apporter d'une part des pistes d'amélioration du transport à vide et d'autre part nous désirons proposer des modèles qui reflètent un peu plus la réalité des besoins d'une entreprise de transport.

- La première question qui sera traitée est une question sur l'influence des paramètres géographiques vis-à-vis des distances à vide réalisées par les véhicules.
- La deuxième question traite de l'influence de la coopération entre deux entreprises de transport.
- La troisième question nous conduit à modifier le modèle pour pouvoir analyser la question des retours à vide sur base des bénéfices et des coûts.
- La quatrième question a pour objectif de proposer un modèle mathématique qui prend en compte les différentes possibilités de localisation des points de départ des tournées de véhicules.

3.1. Influence des paramètres géographiques sur le transport à vide

Dans le transport à vide, l'aspect géographique revêt un point particulier. Chaque entreprise est différente. Leur base de données de clients l'est également. Il existe une multitude de possibilités de trajets entre les dépôts et les clients. Pourtant, certains éléments peuvent aisément être mis en évidence. En effet, il est facile de comprendre que l'implantation des dépôts et des clients joue un rôle important dans la quantité des retours à vide. De même, on peut aisément appréhender que lorsque le nombre de demandes augmente dans une certaine zone, il sera plus facile de réaliser des boucles afin d'augmenter l'utilité des véhicules.

Dans ce chapitre, nous nous attacherons à l'étude de différents paramètres géographiques qui ont une influence sur le retour à vide. Parmi ces paramètres nous pouvons considérer la distance entre les dépôts et les clients que nous appellerons également rayon d'action, la quantité de demandes, la variation du nombre de dépôts et la concentration des contraintes.

3.1.1. Présentation de la question managériale et hypothèses

Tout d'abord, nous nous sommes demandé quel est l'impact de la distance à proprement parler pour une société de transport. Nous voulons savoir si lorsqu'une entreprise augmente son rayon d'action il est possible de diminuer le pourcentage de retours à vide. Nous voulons déterminer si, avec l'augmentation de la distance, nous aurons un optimum qui donnerait une courbe ou au contraire est-ce que l'augmentation de la distance nous révélerait plutôt l'allure d'une droite croissante. Le pourcentage de trajets à vide augmenterait ainsi proportionnellement avec la distance.

Ensuite, nous nous sommes demandé si l'augmentation de la demande favorise toujours la diminution des retours à vide. Au premier abord, cette question est triviale mais reste cependant un point dont nous voulons nous assurer. Dans le même sens, nous voulons savoir si cela est valable pour des rayons d'action différents.

Pour poursuivre, nous avons cherché à déterminer si une augmentation du nombre de dépôts dans un rayon d'action donné permettait d'atteindre un optimum pour le pourcentage de trajets à vide effectués.

Pour finir, notre dernier questionnement porte sur la localisation de la demande. Que se passerait-il si la demande est localisée à un endroit particulier ? Est-ce que cela entraînerait beaucoup d'allers-retours comme nous le supposons ? Plusieurs cas sont possibles par rapport à cet aspect de concentration des demandes. Ceux-ci seront expliqués plus amplement dans le point suivant sur les hypothèses de travail.

3.1.1.1. *Caractéristiques et paramètres principaux liés à la géographie*

Nous prenons comme base de travail une entreprise qui est située dans le nord de la Belgique et qui réalise des transports jusqu'à un rayon de 1900 kilomètres autour de Bruxelles. L'entreprise que nous allons étudier possède jusqu'à 20 véhicules et peut répondre jusqu'à une centaine de demandes à une distance moyenne de 800 kilomètres. Pour

déterminer l'impact des aspects géographiques, nous devons fixer certains paramètres. Ceux-ci sont repris dans le Tableau 1.

| | Valeurs |
|-------------------------------|---------|
| Nombre de véhicules | 20 |
| Temps de chargement | 0.5 h |
| Temps de déchargement | 0.5 h |
| Vitesse | 70 km/h |
| Temps maximum de conduite | 56 h |
| Nombre de chargements maximum | 10 |

Tableau 1 – Paramètre de base de la société logistique

Nous allons faire varier le rayon d'actions de l'entreprise, pour cela nous limiterons notre base de données aux dépôts et clients qui se situent à une certaine distance de notre base opérationnelle. Le nombre de dépôts et de clients variera donc également.

Afin de produire plusieurs résultats, nous utiliserons une série de valeurs générées de manière aléatoire par un fichier Excel. Les demandes seront toujours égales à 25, 50 ou 100, selon les cas étudiés. Cette demande aléatoire permet de modifier les zones de départ et d'arrivée. Cela nous donne ainsi un panel de possibilités quasiment infini. Nous réaliserons ensuite une moyenne de ces résultats pour avoir un résultat représentatif et limiter l'impact des cas particuliers.

3.1.1.2. Augmentation des distances

Nous partons toujours du même point de départ. Il s'agit d'une zone portuaire située dans le nord de la Belgique. Dans les différents tests effectués, nous garderons un nombre de demandes égal à 25. Nous limitons le nombre de demandes afin de réduire le temps de calcul machine sur le logiciel Fico Xpress. Cela nous permet également d'éviter des voyages non réalisés lorsque l'on augmente les distances. Nous augmentons petit à petit notre rayon d'action autour de notre base opérationnelle. Les tests sont réalisés avec une distance de 100,

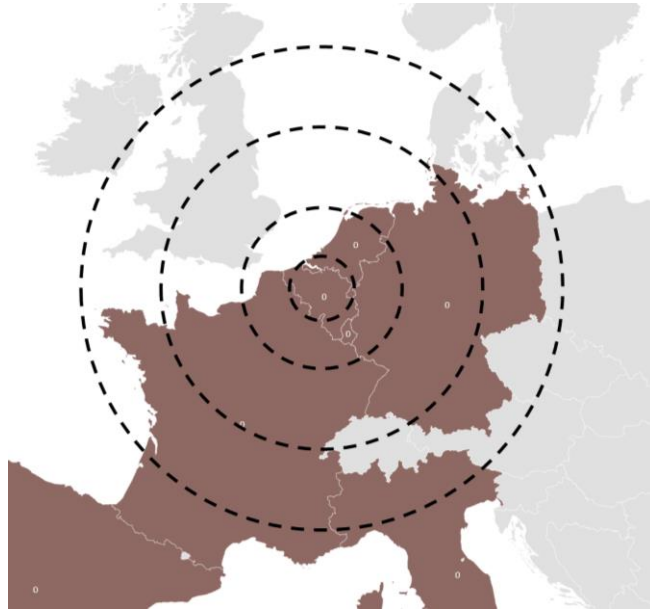


Figure 15 – Rayon d'action des tests géographique

200, 500, 800 et 1000 km comme illustrés sur la Figure 15. Le rayon maximal de 1000 km nous assure des résultats exempts de voyages non réalisés « Noi ».

Les résultats attendus sont, soit une courbe avec un minimum soit une droite croissante.

3.1.1.3. Augmentation des demandes

Dans cette partie, nous utilisons deux bases de données utilisées dans le test précédent. Nous reprenons la base de données à 200 km ainsi que celle de 500 km. Nous réalisons pour cette expérience trois tests avec des demandes différentes. Ces demandes sont de 25, 50 et 100. Notre but est de vérifier que plus nous avons de demandes et plus le modèle pourra diminuer les distances à vide.

3.1.1.4. Augmentation du nombre de dépôts

Une augmentation du nombre de dépôts représente une amélioration pour la diminution du transport à vide. En effet, il semble logique de considérer qu'un nombre plus important d'entrepôts permette plus de possibilités de réaliser des boucles. En est-il vraiment ainsi quel que soit le nombre de dépôts ?

Pour cette expérimentation, nous reprenons les bases de données pour des rayons géographiques de 200, 300 et 500km. Le nombre de demandes sera fixé à 50. Nous avons

remarqué après des tests préalables que ce nombre de demandes favorisait une courbe plus lisse sans entraîner de ralentissements dans le calcul par le logiciel.

Pour une zone géographique spécifique, nous modifions donc le nombre de dépôts en conservant le nombre de clients et le nombre de demandes. Par ce biais nous pourrions tracer la courbe correspondante. Notre hypothèse de départ est que l'augmentation tend à diminuer les distances parcourues à vide.

3.1.1.5. Concentration des demandes

Nous avons regroupé dans cette hypothèse plusieurs cas de concentrations de demandes. En effet, nous avons relevé plusieurs cas de concentrations géographiques. Celles-ci sont regroupées dans le Tableau 2.

| Cas | | Clients | | Dépôts | | Remarques |
|-----|-----------------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|--|
| | | Concentré 200 km de rayon | Dispersés | Concentré 200 km de rayon | Dispersés | |
| 1 | Même zone | x | | x | | Réduction du modèle de base à un rayon de 200km |
| 2 | Même zone | | x | | x | Modèle de base |
| 3 | Même zone | x | | | x | Production partout en Europe et clients dans un pays |
| 4 | Même zone | | x | x | | Production d'un pays et exportation partout en Europe |
| 5 | Zone différente | x | | x | | Un pays vers un autre |
| 6 | Zone différente | | x | | x | Nord de l'Europe vers le sud de l'Europe |
| 7 | Zone différente | x | | | x | Dépôt Nord de l'Europe et clients dans le sud |
| 8 | Zone différente | | x | x | | Dépôts dans un pays au nord de l'Europe et clients dans le sud de l'Europe |

Tableau 2 – Concentration géographique des dépôts et des demandes

Dans cette partie nous ne nous intéresserons pas aux cas 1,2, 6, 7 et 8.

Les cas 1 et 2 ont déjà été traités dans le paragraphe précédent sur la variation des distances. Les cas 6,7 et 8 ne nous semblent pas intéressants à étudier. Ils représentent des variantes du cas 5 qui sera traité. Le cas 6 est similaire au cas N°5.

Cas 3 : Les clients sont regroupés dans une zone et des dépôts répartis dans l'Europe.

Dans ce cas-ci nous avons repris l'ensemble de notre base de données. Nous avons ensuite limité celle-ci aux clients situés dans un rayon de 200 km autour d'une ville. La Figure 16 explique le cas de manière plus succincte. Nous pouvons observer que les clients sont contraints dans une zone spécifique tandis que les dépôts sont répartis sur l'ensemble de la zone géographique, y compris dans la zone des clients.

Nous avons limité notre nombre de demandes à 25 pour des raisons de simplicité de calcul pour la machine. Ce cas peut être représentatif pour une production européenne pour un groupe de clients d'un pays.

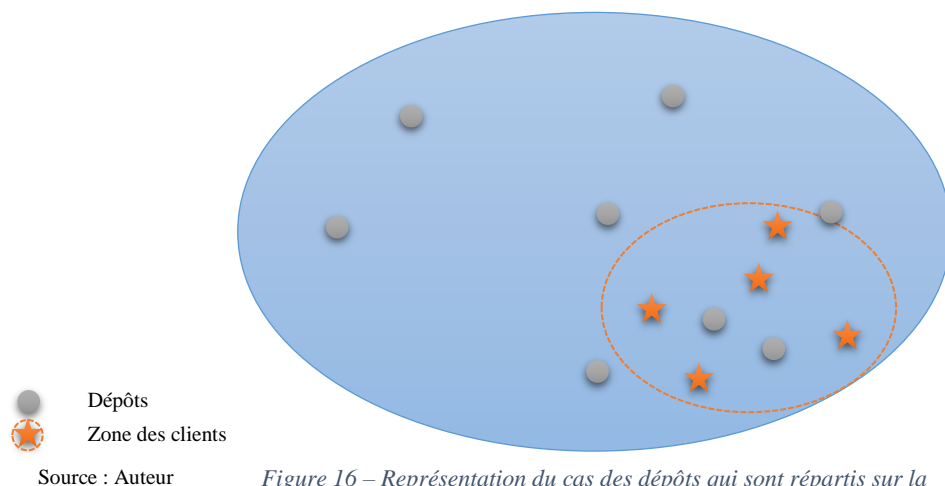


Figure 16 – Représentation du cas des dépôts qui sont répartis sur la carte et des clients qui sont concentrés dans une zone spécifique

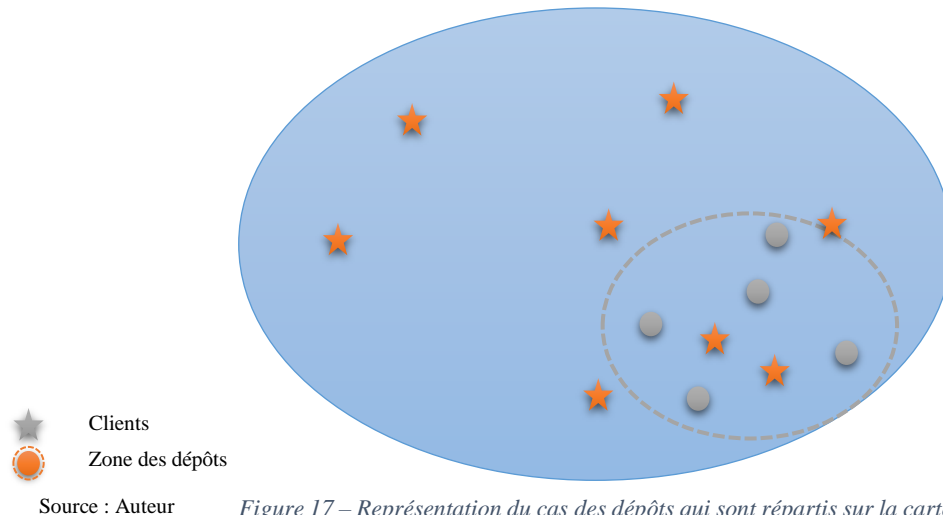


Figure 17 – Représentation du cas des dépôts qui sont répartis sur la carte et des clients qui sont concentrés dans une zone spécifique

Cas 4 : Les dépôts sont concentrés et les clients partout en Europe.

En respectant le même principe appliqué au cas précédent, nous prenons l'ensemble de notre base de données. Nous limitons ensuite les dépôts à un rayon de 200 km autour de la même ville que dans le cas précédent. Dans ce cas-ci, nous limitons également le nombre de demandes à 25. Ce cas est représentatif pour une production d'un pays qui exporte en Europe. Nous pouvons observer la représentation de cette situation dans la Figure 17.

Cas 5 : Clients et dépôts sont concentrés mais dans des zones différentes

Dans cette série de tests, nous avons limité notre base de données avec les dépôts ciblés autour d'une ville et les clients centrés autour d'une autre ville. Nous avons donc une zone de dépôts et une zone de clients. Comme nous le montre la Figure 18, ces deux zones s'entrecroisent en partie afin de ne pas trop contraindre le modèle. On peut assimiler ce cas

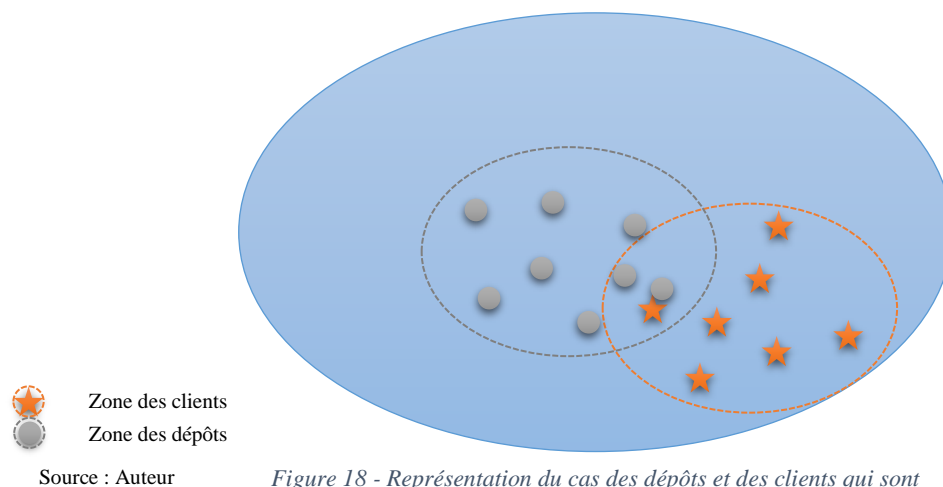


Figure 18 - Représentation du cas des dépôts et des clients qui sont concentrés mais dans des zones différentes

à une vente de biens entre un pays et un autre tel que la Belgique et les Pays-Bas. Le nombre de demandes est identique aux deux cas précédents.

Nous nous attendons à récupérer des résultats avec beaucoup de voyages à vide et donc une efficacité réduite des boucles opérées.

3.1.2. Mise en œuvre du modèle pour l'étude géographique

3.1.2.1. Augmentation des distances

Nous pouvons voir dans le Graphique 3, les résultats moyens des tests effectués. Les résultats correspondent à la courbe espérée. Nous avons bel et bien un optimum possible pour une distance entre 200 et 300 km.

Si nous prenons le temps de détailler un peu ce graphique, nous pouvons observer en bleu, la distance totale parcourue, en orange, la distance parcourue à vide et la courbe grise qui est la différence entre la courbe bleue et la courbe orange. Pour terminer, la courbe en



Graphique 3- Influence de l'augmentation des distances sur le modèle

jaune reprend le pourcentage de trajets parcourus à vide. Il s'agit du quotient entre la courbe orange et la courbe bleue.

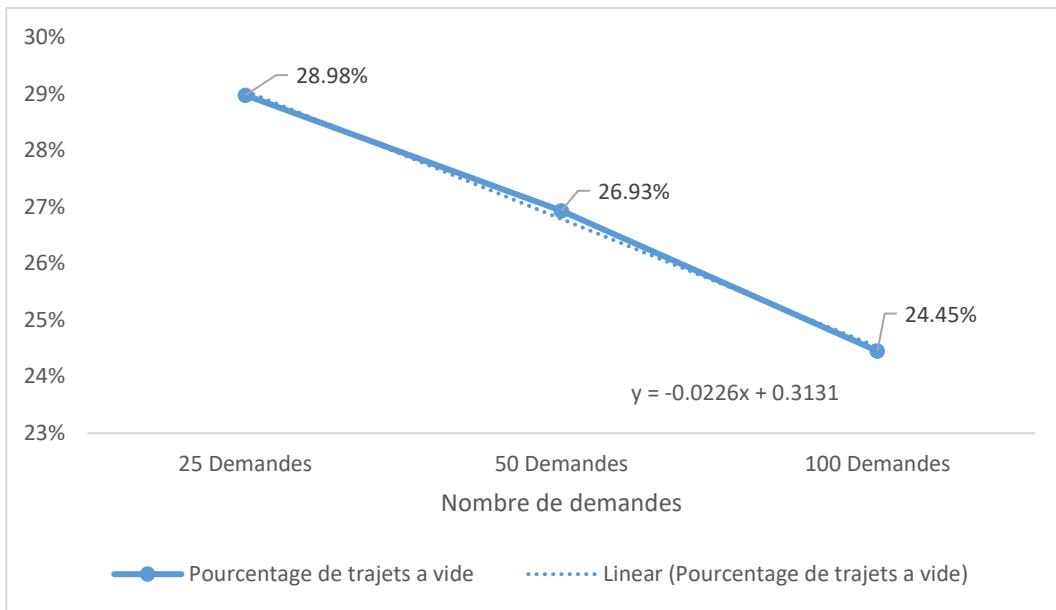
Nous voyons la distance totale augmenter rapidement. La distance à vide quant à elle augmente moins rapidement au début mais elle augmente relativement bien par la suite. La courbe grise montre bien l'augmentation de la différence entre la distance totale parcourue et la distance parcourue à vide. Dans cette différence, nous pouvons observer une forte augmentation au départ suivie par une augmentation plus modérée. Ainsi, si nous prolongeons cette courbe nous arrivons à une droite croissante. La courbe de pourcentage de trajets à vide baisse au début du graphique. Nous avons donc un optimum qui devrait se situer entre 200 et 300 km pour cette base de données.

Nous n'avons pas pu continuer les tests sur des distances plus importantes car au plus nous augmentons les distances et au plus nous avons de possibilités d'avoir des demandes non réalisées. Ces « Noi » perturbent les données récoltées et ne constituent pas une base saine pour pouvoir tirer des conclusions. Nous tenions tout de même à savoir vers quelle valeur tendait notre pourcentage de transports à vide. Nous avons donc utilisé les courbes de tendance pour extraire cette information. Selon nos calculs, la valeur tend vers 35%, toujours en augmentation, mais très modeste. Cependant, il ne s'agit que d'une extrapolation que nous n'avons pas réussi à confirmer.

3.1.2.1. Augmentation des demandes

Dans cette partie de l'analyse, nous avons, pour rappel, utilisé deux bases de données rétrécies pour nos tests. Les bases de données sont celles limitées à 200 et à 500 km autour de notre base opérationnelle.

Le Graphique 4 et le Graphique 5 montrent la variation moyenne du pourcentage de trajets à vide lors de l'augmentation de la quantité de demandes. Nous pouvons remarquer que plus le nombre de demandes augmente et plus le pourcentage de retours à vide diminue.

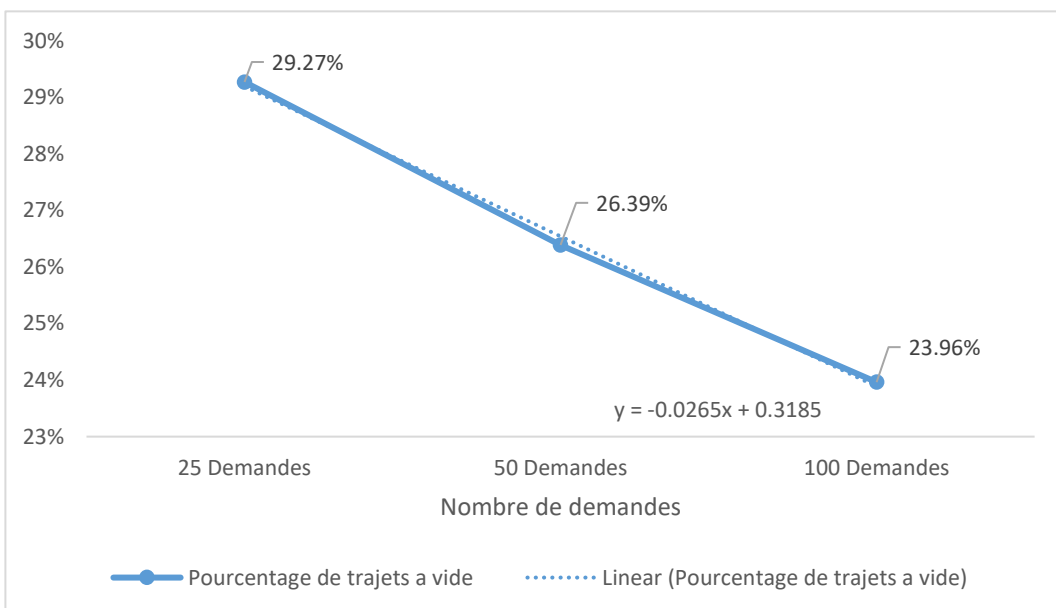


Graphique 4 – Moyenne des rapports entre les trajets à vide et la distance totale parcourue pour 200 km

Cela s’explique aisément par l’augmentation des possibilités de boucles et donc par la diminution des distances de retours à vide réalisés.

Nous pouvons remarquer avec les équations des courbes de tendance que la diminution est plus importante pour la base de données à 500 km que pour celle à 200 km. En effet, l’équation de la courbe à 200 km est $y = -0.00226x + 0.313$ tandis que celle pour 500 km est $y = -0.00265x + 0.319$.

Notre hypothèse de départ est vérifiée. Nous n’avons pas eu de point minimum lorsque nous avons multiplié par quatre la demande.

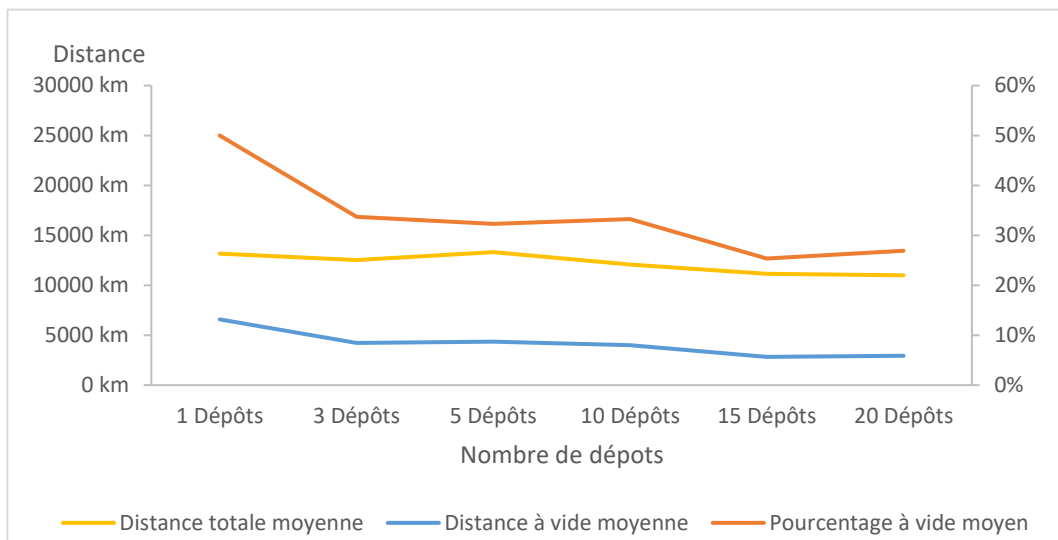


Graphique 5 - Moyenne des rapports entre les trajets à vide et la distance totale parcourue pour 500 km

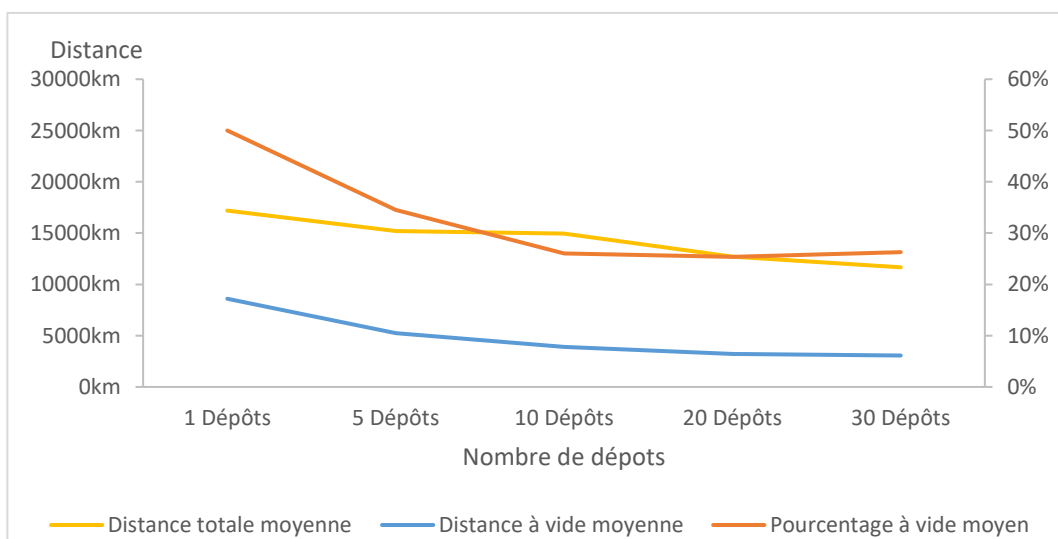
3.1.2.1. Augmentation des dépôts.

Le Graphique 6, le Graphique 7 et le Graphique 8 reprennent les résultats moyens sur les variations du nombre de dépôts pour des zones géographiques spécifiques de 200, 300 et 500 km de rayon autour d'une ville.

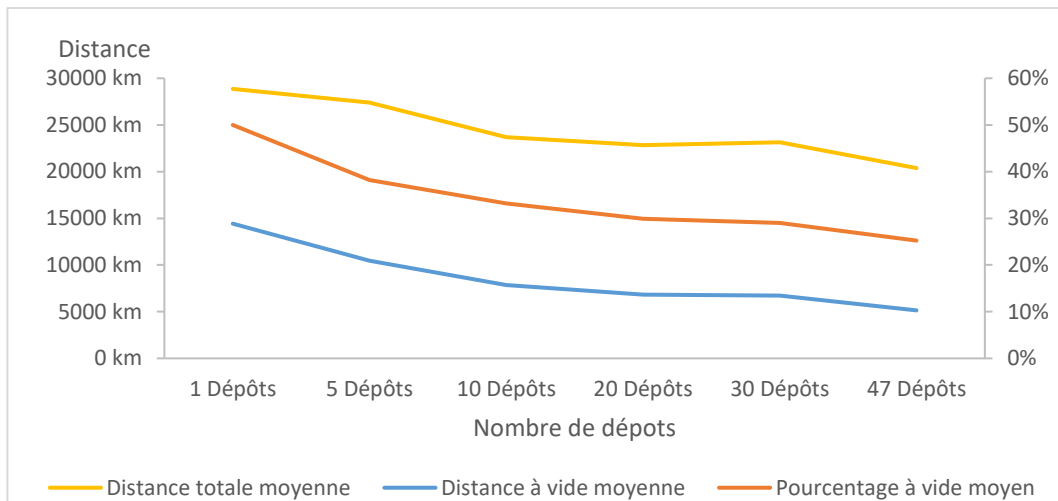
Dans le Graphique 6, nous pouvons observer une diminution des distances totales parcourues et des distances totales parcourues à vide. Comme prévu, l'augmentation du nombre de dépôts signifie que le modèle réalisera plus facilement des tournées avec plusieurs points de livraisons et diminuera les trajets à vide. Le Graphique 8 nous fournit le même type d'informations.



Graphique 6 – Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre de dépôts pour un rayon de 200 km et 25 demandes



Graphique 7 – Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre des dépôts pour un rayon de 300 km et 25 demandes



Graphique 8 - Évolution des distances totales parcourues à vide en fonction de l'évolution du nombre des dépôts pour un rayon de 500 km et 25 demandes

3.1.2.2. Concentration des demandes

Pour rappel, nous traitons dans cette partie trois cas de concentration de demandes différentes.

- Lorsque les dépôts sont répartis dans l'ensemble de la zone et les clients sont regroupés dans une partie de la zone.
- Lorsque les dépôts sont regroupés dans une partie de la zone et les clients sont répartis dans l'ensemble de la zone.
- Lorsque les dépôts et les clients sont regroupés chacun dans leurs propres zones.

Cas 1. Les clients sont regroupés dans une zone et les dépôts répartis dans l'Europe.

Dans cette série de tests, les résultats confirment ce que nous avons préalablement cité dans les hypothèses. La quantité de retours à vide est importante. La moyenne est de 42% pour les trajets de retours à vide. Nous sommes donc proches d'un cas d'une entreprise qui effectue des allers-retours.

Nous pouvons observer dans le Tableau 3, le rapport obtenu entre le trajet à vide et la distance totale parcourue. Ce résultat est proche d'un aller-retour.

| | Moyenne |
|-------------------------------|----------|
| Distance totale | 16992 km |
| Distance totale à vide | 7127 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 41,5 % |

Tableau 3 - Répartition des dépôts et zone des clients spécifiques

Cas 2. Les dépôts sont concentrés et les clients partout en Europe.

Ce cas de figure est similaire au cas précédent. Cependant, ce ne sont plus les clients qui sont concentrés mais les dépôts.

Comme prévu dans nos hypothèses, la quantité de trajets à vide est importante. Nous observons dans le Tableau 4, la valeur moyenne du rapport de transports à vide et de la distance totale parcourue.

| | Moyenne |
|-------------------------------|----------|
| Distance totale | 19386 km |
| Distance totale à vide | 8665 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 44,6 % |

Tableau 4 – Concentration des dépôts dans une zone spécifique et répartition des clients

Cas 3. Clients et dépôts sont concentrés mais dans des zones différentes

Dans ce dernier cas de figure, nous avons des dépôts et des clients répartis en deux zones distinctes. Ce cas peut être assimilé à l'exportation d'un pays vers un autre. Les deux zones s'entrecroisent mais pas totalement.

Les résultats obtenus correspondent à notre hypothèse de base, à savoir que nous aurons beaucoup de trajets à vide. Cela se confirme lorsque l'on regarde dans le Tableau 5 le pourcentage de trajets effectués à vide. Il s'établit en moyenne à 47,8%.

| | Moyenne |
|-------------------------------|----------|
| Distance totale | 12739 km |
| Distance totale à vide | 6098 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 47,8 % |

Tableau 5 – Concentration dans des zones différentes des dépôts et des clients

En conclusion, nous pouvons voir que la concentration des demandes ne favorise pas les retours à vide. Une entreprise qui ne dispose que de certains clients ou dépôts condensés dans une certaine zone peut tout aussi bien utiliser une méthode aller-retour sans perdre trop de profit.

3.1.3. Conclusion et critiques

Dans cette conclusion nous reprenons l'ensemble des facteurs qui influencent positivement et négativement la quantité de retours à vide. Ainsi, il sera plus facile pour une entreprise de déterminer s'il est intéressant pour elle, ou non, de passer par cet algorithme de réduction des retours à vide.

3.1.3.1. Facteurs influençant de manière positive les retours à vide

Nous ressortons trois facteurs positifs : la distance entre les points de dépôts et les points de clients, le nombre de demandes de transports et le nombre de dépôts disponibles.

La distance

Nous avons pu voir que la distance avait un impact sur les retours à vide. Plus nous augmentons la distance dans la zone géographique traitée et plus l'intérêt diminue. Est-ce vraiment le cas ? Non. En effet, 35% de transports à vide pour des distances de 1000 km peut sembler un coefficient faible. Cependant, cela représente énormément d'économies pour l'entreprise.

Il est donc intéressant d'utiliser un algorithme de réduction des retours à vide dès que possible pour une entreprise, surtout si elle dispose d'une demande et d'un nombre de dépôts suffisants.

Le nombre de demandes

Le nombre de demandes influence favorablement la réduction des retours à vide, peu importe la zone géographique. La quantité de demandes limite cependant l'utilisation du programme car nous augmentons le nombre de données à traiter. Il est donc nécessaire de disposer du matériel adéquat pour pouvoir traiter toutes ces informations.

Le nombre de dépôts

Dans les tests effectués, nous avons pu voir que le nombre de dépôts disponibles pour effectuer des boucles était important. Selon les résultats observés, il est nécessaire de disposer d'un maximum de dépôts. Cependant, nous nous intéressons dans ces tests à la réduction du transport à vide et cela ne représente qu'une fraction des données nécessaires à la décision d'ajouter des dépôts. Ce point sera discuté plus amplement dans le point 4.4.6

Nous pourrions retrouver les mêmes résultats pour une augmentation du nombre de clients. Nous nous sommes focalisés sur le nombre de dépôts afin de déterminer s'il était possible d'atteindre un optimum.

3.1.3.2. *Facteurs influençant négativement le retour à vide*

Nous ressortons un facteur négatif sur les retours à vide : la concentration des demandes.

La concentration des demandes

L'unique point étudié qui ne favorise pas la diminution des retours à vide, ou du moins avec une faible influence, est la concentration des demandes. Pour une entreprise, avoir des clients concentrés ou des dépôts concentrés ne favorise pas l'utilisation de boucles de retour. Il pourrait être nécessaire d'ajouter des dépôts dans la zone de clients ou des clients dans la zone proche des dépôts. L'utilisation d'un programme de réduction des retours à vide comme celui que nous avons utilisé n'aurait qu'un impact limité sur l'économie de l'entreprise.

3.1.4. Question pour aller plus loin

Distance

Nous avons réalisé des tests avec un certain nombre de demandes. Ce nombre était de 25. Nous avons limité les distances car nous avions des voyages non réalisés qui

perturbaient nos données. Si l'étude se poursuivait nous pourrions réduire le nombre de demandes ou retravailler le programme pour éviter les « Noi » et ainsi confirmer ou infirmer le pourcentage de retours à vide maximum.

Nombre de demandes

Si nous augmentons à l'infini le nombre de demandes vers quelle valeur du pourcentage de retours à vide allons-nous tendre ?

Nombre de dépôts

Nous avons pu confirmer que l'augmentation du nombre de dépôts favorisait une diminution du pourcentage de retours à vide. Cependant, avec notre base de données actuelle nous n'avons pas pu déterminer clairement de point minimum.

En outre, l'augmentation du nombre de dépôts n'est pas une décision simple. Cette décision doit se baser sur d'autres facteurs tels que la localisation et l'optimisation des coûts. Il pourrait être intéressant d'insérer l'optimisation des retours à vide dans un programme d'optimisation des coûts qui reprend le coût fixe d'un dépôt. Le nombre optimum de dépôts serait ainsi déterminé selon l'efficacité qu'il permet d'augmenter, tout en limitant les coûts totaux, son coût fixe pour l'entreprise.

3.2. Coopération base de données

La coopération est la mise en commun de données de deux entreprises. Celles-ci partagent des informations afin de réduire les coûts de transport. Elles s'échangent, par exemple, la liste de leurs partenaires commerciaux, la localisation de leurs entrepôts ou encore leurs itinéraires de tournées de camions.

Il n'est pas évident de collaborer entre entreprises surtout lorsque l'autre compagnie œuvre dans le même secteur d'activité. Cela engendre des réticences et un questionnement. Est-ce que la coopération entre entreprises permet réellement de générer un bénéfice ? Quels sont les avantages réels de la mise en commun des données ? Toutes ces questions sont justifiées car elles mettent en jeu le futur d'une entreprise.

Plusieurs entreprises ont déjà passé ces freins à la coopération. Ces compagnies se focalisent sur leur core-business et utilisent la coopération pour des activités tierces comme le transport. Il est même possible d'assister à une coopération entre deux concurrents directs.

Cela s'appelle de la coopération. À titre d'exemple, la société Hankel s'est associée avec le groupe Reckitt-Benckisser pour maximiser l'utilité de leurs camions. Par ce procédé, les deux entreprises ont diminué de 20% leurs dépenses de logistique [8].

Les avantages de la coopération sont multiples. Tout d'abord, nous avons une diminution du nombre de transports à vide. Par conséquent, nous avons également une diminution des coûts liés au transport ainsi que la réduction des gaz à effet de serre (GES). Ensuite, il est également possible de diminuer le nombre de transporteurs nécessaires car l'utilité des camions est améliorée.

Ainsi, nous allons démontrer dans ce chapitre les avantages en termes d'augmentation de l'efficacité du transport. Cette amélioration sera perceptible par la réduction du pourcentage de trajets à vide.

3.2.1. Présentation de la question managériale

Tout d'abord nous avons voulu déterminer l'amélioration que nous avons lorsque nous associons les bases de données de deux entreprises.

Ensuite, nous nous sommes posé la question de l'association de deux compagnies mais de tailles différentes. Nous pensons voir une amélioration de l'utilité des transports mais dans une moindre mesure que le cas précédent.

De plus, nous voulons savoir comment réagit le pourcentage de transports à vide lorsque l'on écarte les deux entreprises. Celles-ci partagent une zone commune d'échange mais pas l'entièreté.

Pour finir, que se passerait-il si les entreprises qui s'associent disposent de dépôts concentrés dans deux zones distinctes et des clients dispersés dans une plus grande zone géographique ?

Nous avons relevé plusieurs cas possibles pour la coopération. Nous les listons et expliquons ces différentes possibilités ci-dessous.

Tout d'abord, nous commençons par un cas simple. Comme nous le montre la Figure 19, nous avons deux entreprises identiques qui disposent d'une liste de dépôts et de clients

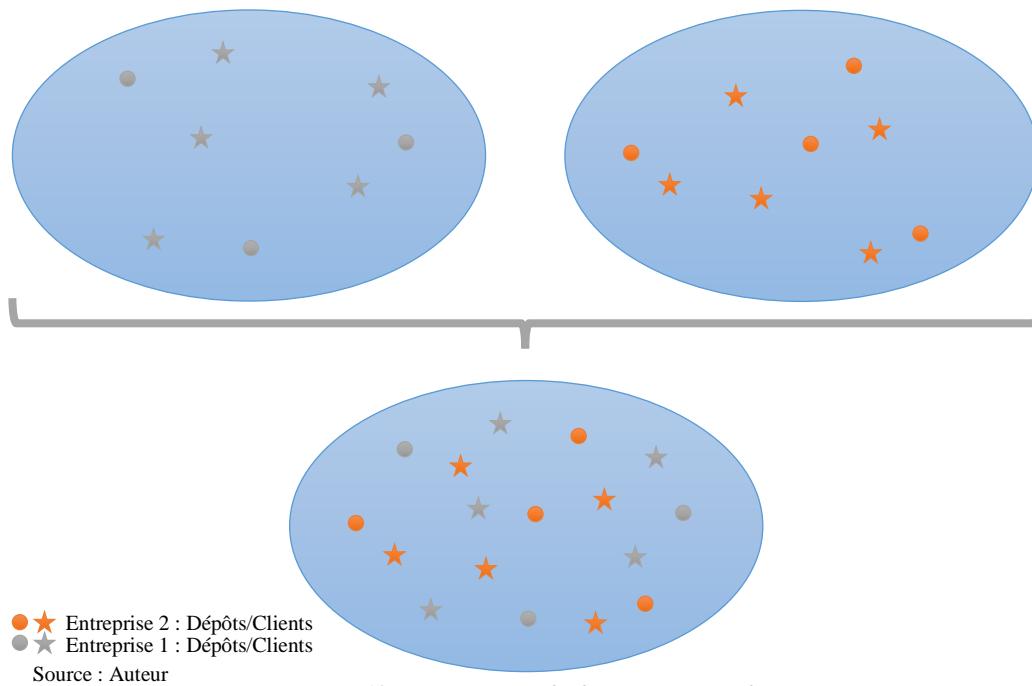


Figure 19 – Coopération de deux entreprises de même taille dans une même zone géographique

parfois avec les mêmes clients. Ces deux groupes opèrent dans la même zone géographique. (Cas 1)

Ensuite, dans la Figure 20, nous avons un cas d'une entreprise plus petite comprise dans la zone d'action de la première. (Cas 2)

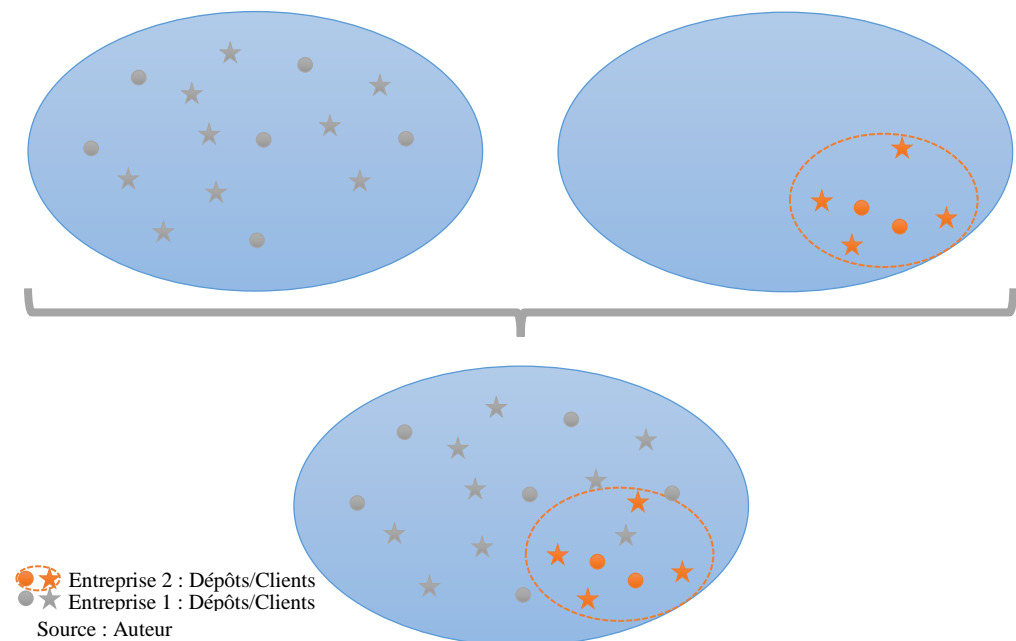
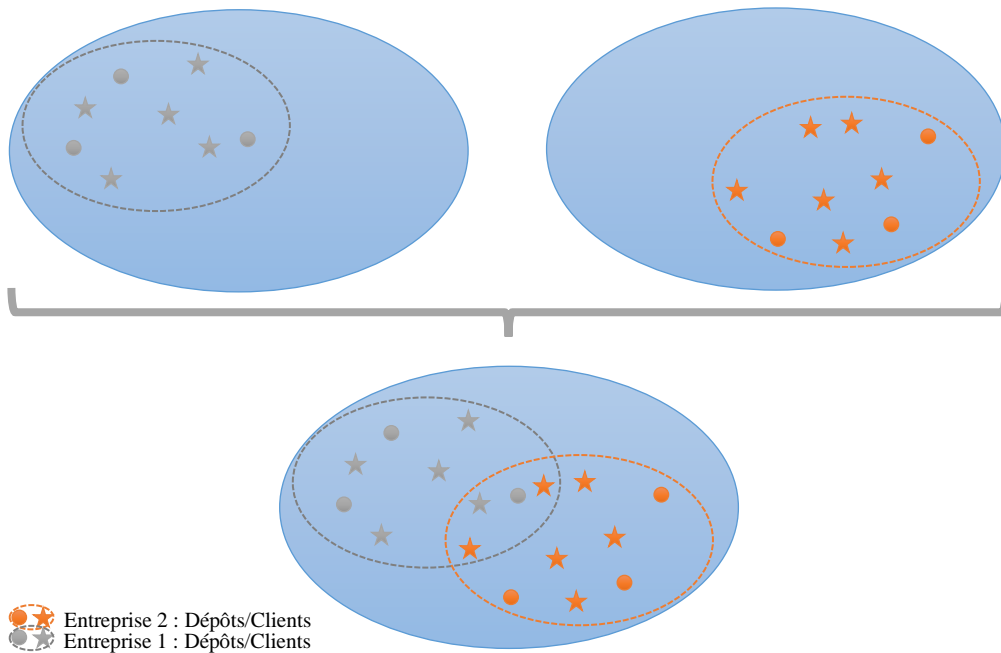
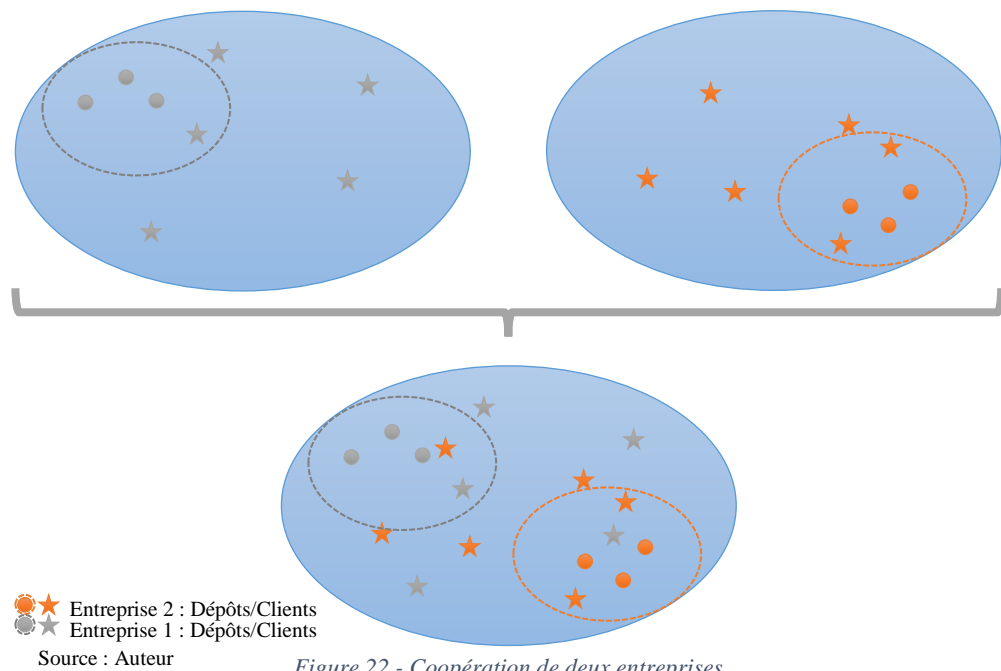


Figure 20 - Coopération de deux entreprises de tailles différentes dans une même zone géographique



Source : *Figure 21 - Coopération de deux entreprises composées de zones géographiques différentes se chevauchant*

Pour continuer, nous prenons le cas de deux entreprises éloignées l'une de l'autre. La Figure 21 nous montre que ces deux entreprises ont des zones géographiques différentes et leur zone de travail s'entrecroise sur une certaine portion. (Cas 3)



Source : Auteur *Figure 22 - Coopération de deux entreprises qui ont des dépôts dans des zones spécifiques et des clients répartis*

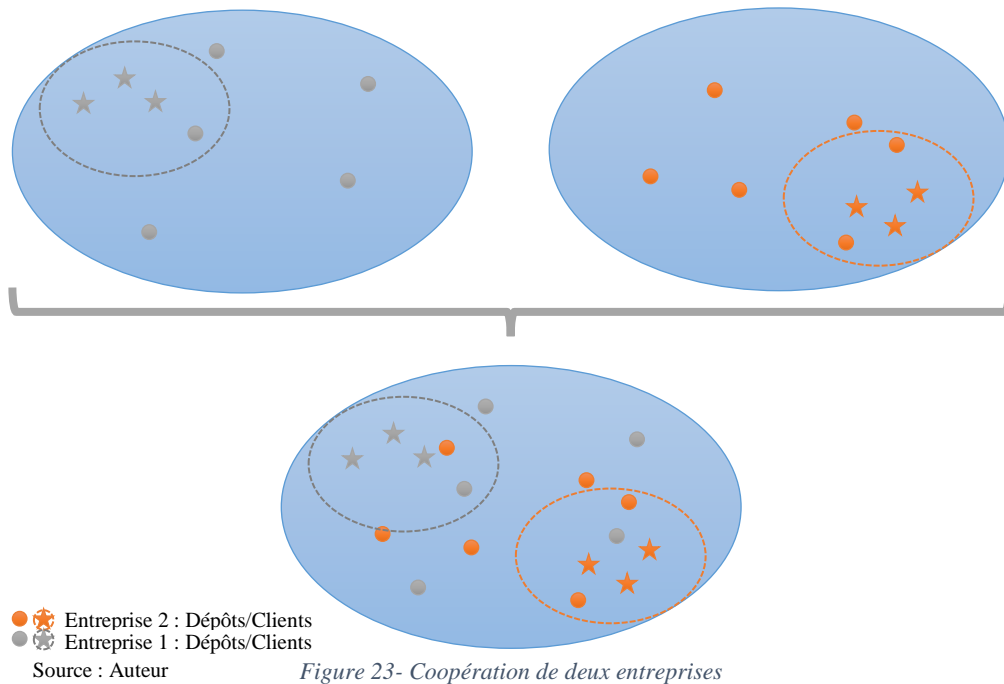


Figure 23- Coopération de deux entreprises qui ont des clients dans des zones spécifiques et des dépôts répartis

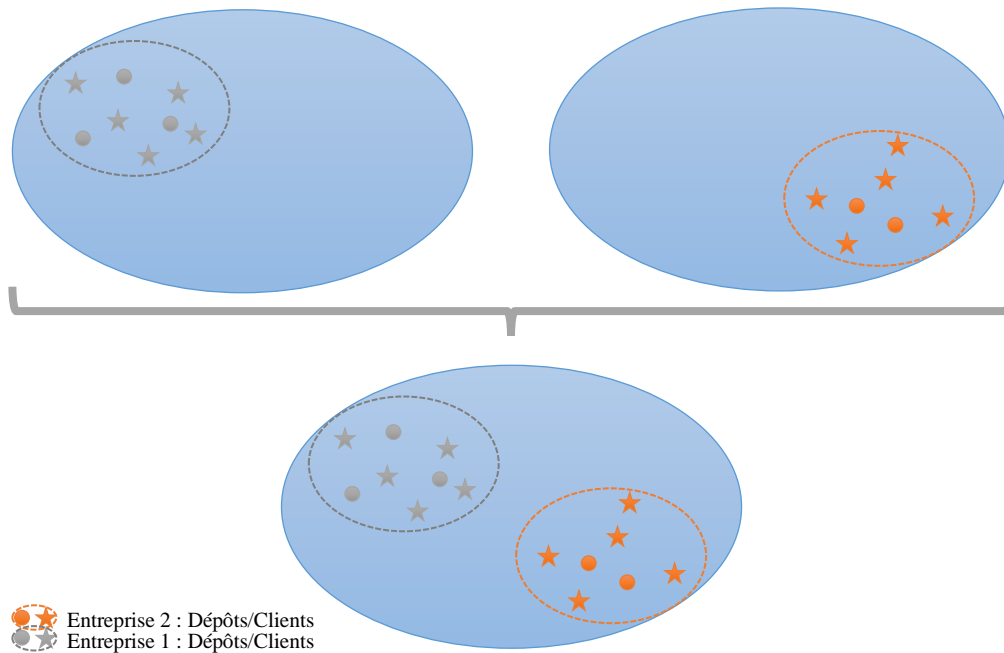
Après cela, comme nous le montre la Figure 22, nous avons la possibilité de deux entreprises dont les clients sont répartis sur un large territoire et leurs dépôts respectifs sont concentrés dans deux zones distinctes. (Cas 4)



Dans la même idée, il est possible que le cas inverse se produise. La Figure 23 nous montre le cas où les clients sont concentrés dans une certaine zone et les dépôts sont dispersés sur l'ensemble du territoire. (Cas 5)

Pour finir, il peut se présenter un cas où les deux entreprises sont complètement séparées géographiquement. On peut observer ce cas dans la Figure 24.(Cas 6)

Dans l'ensemble des cas répertoriés, nous nous intéressons aux cas 1,2,3, et 4. Le cas 5 est une variante du cas N°4. Il devrait donc donner des résultats similaires. Le cas 6 est un cas extrême. Les deux entreprises n'ont pas de relations entre elles. Il n'est donc pas possible de réaliser de boucles. L'avantage peut résider dans la centralisation des charges administratives pour diminuer les coûts fixes, mais ce n'est pas l'objet de notre étude.

Pour le premier cas nous avons deux entreprises de même taille qui coopèrent pour augmenter l'efficacité de leur service logistique. Pour cela, nous avons sélectionné la base de données d'un rayon de 500 km centrée autour d'une ville de départ. Cette base de données sera séparée en deux pour simuler l'intégration d'une entreprise avec une autre. Nous avons



 Entreprise 2 : Dépôts/Clients
 Entreprise 1 : Dépôts/Clients

Source :

Figure 24 - Coopération de deux entreprises composées de zones géographiques différentes se chevauchant

choisi cette base de données car elle contient suffisamment de localisations aussi bien en termes de clients que de dépôts. De plus, nous ne surchargeons pas le programme avec trop d'informations à traiter. Les demandes pour chacune des deux entreprises seront de 25. Une fois les deux bases de données intégrées nous aurons un total de 50 demandes identiques aux deux séries de 25 demandes de chaque entreprise. Nous prévoyons une diminution du pourcentage de trajets à vide.

Pour le deuxième cas, l'une des entreprises est plus petite que l'autre. Nous avons repris la même base de données que précédemment mais en réduisant le nombre de dépôts et clients dans une des deux « entreprises ». Nous nous attendons à une amélioration des distances à vide mais dans une moindre mesure que le cas précédent. En effet, le plus grand groupe de données aura de plus grandes possibilités de réaliser des boucles mais dans une zone restreinte.

Pour le troisième cas, les deux entreprises n'ont pas la même zone d'activité. Géographiquement, elles s'entrecroisent en partie. Nous avons sélectionné deux villes dans notre base de données générale et repris les dépôts et clients dans un rayon d'action autour de celles-ci. Nous les avons ensuite associées pour voir l'influence de la coopération. Nous avons toujours 25 demandes par entreprise pour une demande finale de 50 lors de la coopération.

Dans notre dernier cas, nous avons repris l'ensemble de notre base de données regroupant l'Europe en créant deux entreprises fictives, l'une avec des dépôts concentrés dans un rayon de 200 km autour de deux villes distinctes. Les clients sont répartis sur l'ensemble de la base de données. Comme pour les cas précédents, chaque entreprise fictive a au départ 25 demandes et nous les combinons pour avoir 50 demandes au total.

3.2.2. Mise en œuvre de la question managériale

Cas 1. Entreprises de même taille dans une zone commune

Suite à la réalisation de plusieurs tests, nous avons extrait une moyenne de nos résultats.

| | Moyenne entreprise 1 | Moyenne entreprise 2 | Moyenne coopération |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Distance totale | 11910 km | 10548 km | 20385 km |
| Distance totale à vide | 4160 km | 3056 km | 5143 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 34,9% | 29% | 25,2% |
| Nombre de camions | 4 | 4 | 7 |

Tableau 6 – Résultats de la coopération entre deux entreprises de taille similaire dans une zone commune

Le Tableau 6 nous montre l'avantage que représente la coopération. En effet, pour deux entreprises identiques qui appliquent déjà la minimisation des retours à vide, il y a une nette amélioration sur l'utilité des transports. Même dans le cas d'entreprises très optimisées nous avons pu voir une amélioration des résultats. La distance totale parcourue diminue en moyenne de presque 10% sur l'ensemble de nos tests. La distance parcourue à vide diminue elle d'approximativement 30%. Le nombre de camions diminue également, en moyenne, il est possible d'utiliser un camion de moins.

Il est possible de réaliser une corrélation par rapport au chapitre précédent. Dans le cas présent nous avons une augmentation des dépôts, des clients et des demandes pour une zone géographique donnée. Comme démontré, l'augmentation de dépôts ou de clients

favorise une diminution des trajets à vide. Il en est de même pour les demandes. En théorie une coopération sera donc toujours bénéfique.

Cas 2. Entreprise plus petite contenue dans le rayon d'action d'une autre

Après quelques tests nous retirons les moyennes présentées dans le Tableau 7.

| | Moyenne entreprise 1 | Moyenne petite entreprise | Moyenne coopération |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| Distance totale | 15966 km | 5517 km | 20385 km |
| Distance totale à vide | 4364 km | 1877 km | 5143 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 27,3% | 34% | 25,2% |
| Nombre de camions | 5 | 2 | 7 |

Tableau 7 – Résultats de la coopération entre deux entreprises de tailles différentes dans une zone commune

Nous pouvons observer que la coopération représente toujours un net avantage pour la petite entreprise. L'avantage est moins important pour la grande entreprise comme nous le pressentions. La grande entreprise a toujours un intérêt à réaliser de la coopération même si cette dernière est moins attractive lorsqu'il s'agit de s'associer avec une petite entreprise. La diminution pour le grand groupe représente tout de même 2,1% des trajets à vide et 5% de trajets total. En termes de coût logistique, ce n'est pas négligeable.

Cas 3. Deux entreprises identiques de zones géographiques différentes.

Pour poursuivre, le Tableau 8 regroupe les moyennes des résultats pour la coopération de deux entreprises localisées dans des zones différentes.

| | Moyenne entreprise 1 | Moyenne entreprise 2 | Moyenne coopération |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Distance totale | 12949 km | 13311 km | 24175 km |
| Distance totale à vide | 3814 km | 3558 km | 5881 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 29,5% | 26,7% | 24,3% |
| Nombre de camions | 4 | 4 | 8 |

Tableau 8 - Résultats de la coopération entre deux entreprises situées dans des zones géographiques différentes

En observant le tableau, nous pouvons remarquer que les deux entreprises bénéficient de la coopération. Cette amélioration est moins forte que dans le cas N°1. Il est tout de même intéressant de remarquer que la distance totale et la distance parcourue à vide sont plus basses que la somme des deux moyennes respectives. Les deux compagnies gagneraient donc 8% sur la distance totale et 20% sur les distances à vide. Plus les zones seront éloignées l'une de l'autre, plus il sera difficile de combiner des tournées entre les dépôts et les clients des deux entreprises. Dans le cas extrême, nous nous retrouverons avec le cas 6 où il n'y aura pas d'interaction entre les véhicules de la première entreprise et les véhicules de la deuxième.

Cas 4. Deux entreprises dans des zones géographiques différentes avec des clients dispersés et des dépôts concentrés.

Pour finir, le Tableau 9 expose les résultats obtenus lors des tests de ce cas 4.

| | Moyenne entreprise 1 | Moyenne entreprise 2 | Moyenne coopération |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Distance totale | 19469 km | 20419 km | 34980 km |
| Distance totale à vide | 8040 km | 9421 km | 13729 km |
| Pourcentage de trajets à vide | 41,3% | 46,1% | 39,2% |
| Nombre de camions | 6 | 7 | 11 |

Tableau 9 - Résultats de la coopération entre deux entreprises qui ont des dépôts dans des zones spécifiques et des clients répartis

La coopération donne des résultats intéressants même dans ces conditions particulières. Nous pouvons observer une amélioration de toutes les données pour la diminution des retours à vide. Les réductions de trajets à vide vont directement être impactées par la localisation des clients des entreprises. Si l'entreprise « A » doit réaliser une livraison qui est localisée dans la zone de l'entreprise « B », il est évident que le camion ne rentrera pas à vide mais chargera une livraison pour l'entreprise « B ». Plus les clients des entreprises seront proches de la zone de la seconde entreprise, plus il sera possible de diminuer les trajets à vide.

3.2.3. Conclusion et critiques

Nous avons vérifié l'impact de la coopération pour deux sociétés de transport. Les résultats montrent que la coopération favorise aussi bien la diminution de la distance totale parcourue et, dans une plus grande mesure, la distance à vide. Il est même observable dans certaines analyses qu'il est possible de réduire le nombre de transporteurs nécessaires.

Ce chapitre s'intéresse à la réduction des retours à vide. Pour une entreprise, d'autres facteurs sont à prendre en compte pour l'installation d'un système de coopération avec une autre entreprise. En outre, d'après l'analyse de ce chapitre, l'échange d'informations entre entreprises est bénéfique sur de nombreux points.

Nous pourrions continuer notre analyse du cas 3. Si deux entreprises sont éloignées, on pourrait déterminer la distance minimale entre les deux zones d'activités qui empêcherait la coopération.

3.3. Optimisation du bénéfice et possibilité de non-réalisation de demandes

Dans un objectif de rapprochement plus économique du modèle vis-à-vis d'une entreprise, nous allons développer, dans ce chapitre, l'impact d'une demande non réalisée. Nous n'allons plus regarder les résultats suivant un objectif d'optimisation de distances parcourues à vide. Nous allons orienter les résultats vers un regard sur les bénéfices réalisés. Dans un premier temps, le modèle va donc être modifié à destination de l'optimisation du bénéfice. Dans un second temps, nous allons ajouter la possibilité au modèle de ne pas réaliser certaines demandes. Ensuite, nous parcourrons les différents paramètres qui peuvent influencer le résultat du bénéfice.

Dans cette question managériale, nous désirons découvrir l'impact sur le choix du prix de vente d'un déplacement. Nous nous attendons à ce que plus le prix est élevé, plus il sera accepté par le modèle de réaliser un maximum de transports.

Nous désirons également observer les influences des différents paramètres du calcul du bénéfice tels que les taux tarifaires horaires ou kilométriques. Nous devrions observer des comportements opposés au point précédent.

3.3.1. Présentation de la question managériale et hypothèses

Aux vues du grand nombre de types d'entreprises différentes qui peuvent exister et afin de restreindre les exercices de tests, nous allons nous limiter à une entreprise qui possède sa propre flotte. Ce choix se fait sur ce type d'entreprise car ce sont elles qui régulièrement recherchent à optimiser leurs bénéfices sur base de la diminution des transports à vide. C'est un des piliers majeurs d'optimisation de bénéfice de ce type d'entreprise comparé à d'autres types qui peuvent réaliser des optimisations majeures dans d'autres domaines.

3.3.1.1. *L'optimisation du bénéfice*

La recherche de l'optimisation en maximisant le bénéfice de cette question nous impose de représenter les bases du calcul de bénéfice. Le bénéfice n'est autre que la

différence entre l'ensemble des sources de revenus de l'exploitation et tous les coûts liés à cette création de revenus. Nous pouvons écrire l'Équation 1 :

$$\text{Bénéfice} = \sum (\text{Sources de revenus}) - \sum (\text{Coûts d'exploitation})$$

Équation 1 – Le bénéfice

En considérant que notre seule source de revenus pour notre entreprise est liée à la réalisation d'une demande de transport, on peut considérer que notre source de revenus est composée du chiffre d'affaires. Ce chiffre d'affaires que l'on nommera « CA » provient du revenu réalisé pour chaque réponse donnée à une demande de transport. Nous pouvons écrire l'Équation 2 :

$$\text{Bénéfice} = \sum (CA) - \sum (\text{Coût d'exploitation})$$

Équation 2 – Le chiffre d'affaires

Il est rare pour une entreprise que les demandes de transport aient une distance similaire. C'est pourquoi nous avons choisi de déterminer le prix du transport en fonction de la distance à parcourir. Nous déterminons un prix du déplacement qui est défini en fonction de la distance qui sépare le point de départ, le dépôt, et le point d'arrivée, le client. Vu que le client n'est pas responsable du trajet que le véhicule effectuera lors du trajet retour, la distance retour, client vers dépôt, n'est pas considérée dans le calcul du chiffre d'affaires. Cette distance de retour doit être considérée dans le choix du prix au kilomètre du transport.

Les demandes de transports ne sont pas non plus composées de chargements identiques. Dans une analyse qui comprendrait l'influence de chargement du camion, il faudrait également impacter le chiffre d'affaires en fonction du taux de remplissage de la remorque. Ce taux de remplissage peut être choisi en fonction de la surface au sol et/ou du poids. Nous n'allons pas parcourir l'impact du taux de chargement du camion car nous considérons que lorsqu'il y a une demande de transport, le véhicule effectue un trajet unitaire et donc peut être considéré rempli à un taux maximal de cent pour cent. Sur base du prix de déplacement, nous pouvons écrire l'Équation 3 :

$$\text{Bénéfice} = \sum (\text{Prix du transport} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) - \sum (\text{Coût d'exploitation})$$

Équation 3 – Prix du transport

Nous venons de parcourir les sources de revenus du calcul du bénéfice, nous allons maintenant parcourir les différents coûts de l'exploitation.

Deux grandes catégories de coût existent dans une exploitation. Les coûts fixes qui sont inhérents à la quantité de demandes de transport et les coûts variables qui sont directement impactés par le type et la quantité de demandes de transport. Nous pouvons réécrire l'Équation 2 en Équation 4 :

$$\text{Bénéfice} = \sum (CA) - \sum (\text{Coûts variables}) - \text{Coûts fixes}$$

Équation 4 – Coût d'exploitation

Les coûts fixes sont multiples pour une entreprise de transport, ils sont sous forme de frais de locaux, sous forme de frais administratifs comptable, ... Nous n'avons pas la prétention de pouvoir décrire précisément les coûts fixes d'une entreprise de transport. Il serait donc difficile d'évaluer correctement ces coûts. C'est pourquoi nous n'allons pas les inclure dans l'analyse du bénéfice. Vu que les coûts fixes ne sont pas influencés par les demandes de livraisons et les distances à parcourir, les coûts fixes ne vont pas influencer l'interprétation des résultats de l'analyse. Les coûts fixes peuvent être retranchés au bénéfice calculé après l'analyse. Excepté dans l'Équation 5, nous ne parlerons plus de coûts fixes par la suite du document.

Les coûts variables, quant à eux, sont également multiples. Pour pouvoir interpréter les résultats, il est nécessaire d'intégrer fidèlement les coûts variables dans l'analyse. Pour limiter le nombre de paramètres des coûts variables, on va se focaliser sur deux ensembles. Ces deux ensembles vont représenter la majorité des coûts variable. [9] Nous allons décrire dans l'Équation 5 les coûts variables suivant deux facteurs : un facteur de temps et un facteur de coûts d'utilisation matériel.

$$\text{Bénéfice}_{\neq \text{Coût fixe}} = \sum (CA) - \sum (\text{Coûts temps} + \text{Coûts matériel})$$

Équation 5 – Coûts fixes, coûts variables

Les coûts liés à l'utilisation du matériel sont dépendants et proportionnels à la distance qu'un véhicule va effectuer pour réaliser ces livraisons. Nous allons déterminer un facteur coûts qui sera multiplié par la distance à parcourir par le véhicule. Pour simplifier les hypothèses sur les coûts proportionnels d'utilisation du matériel, nous ne prendrons en compte que la consommation en carburant des véhicules. Dans un cas spécifique appliqué à une société, afin de prendre en considération d'autres paramètres qui sont proportionnels à la distance parcourue, nous pourrions élever la valeur du facteur coûts que nous appelons « Coûts carburant ». Notre hypothèse de simplification n'influencera pas les tendances majeures du facteur coûts d'utilisation des véhicules mais elle bridera la rapidité et l'importance de ces facteurs. Sur base de cette hypothèse, nous pouvons écrire l'Équation 6 :

$$Bénéfice = \sum (CA) - \sum (Coûts temps) - \sum (Coûts carburant * Distance totale)$$

Équation 6 – Coûts carburant

Les coûts liés à un facteur de temps quant à eux ne sont pas tous liés à la distance que les véhicules vont parcourir. C'est pourquoi nous les avons dissociés des coûts d'utilisation du véhicule. En repartant de l'Équation 5, on va pouvoir décrire par l'Équation 7 les coûts horaires. Les coûts horaires sont constitués d'une durée de temps et d'un paramètre coûts que l'on peut choisir en fonction du coût horaire d'un employé d'une entreprise. Dans un principe similaire au point sur les coûts liés à l'utilisation du matériel, il est possible d'augmenter le taux horaire sans influencer les tendances du facteur temps.

$$Bénéfice = \sum (CA) - \sum (Temps de livraison * Coûts horaire) \\ - \sum (Coûts matériel)$$

Équation 7 – Coûts horaires

Nous avons maintenant notre coût horaire qui est basé sur le taux horaire moyen d'un employé. Nous devons également nous pencher sur la notion du temps de trajet. Dans le cadre d'une livraison, il est aisé de ressortir un temps moyen que va mettre le véhicule à se rendre aux lieux de livraison et de ressortir un temps de retour vers le dépôt. Ces temps sont directement liés à la vitesse moyenne du véhicule et de la distance à parcourir. Vu que nous avons un facteur de distance, nous pourrions associer ce temps au paramètre de coût matériel.

Toutefois, dans cette étude nous préférons dissocier les deux. Ce choix n'influence en aucun cas les résultats.

Dans la notion de temps de trajet, nous devons prendre également en considération les temps qui ne sont pas liés au trajet en tant que tel. Ces temps sont dépendants du nombre de points de livraison. Dans ces temps, nous pouvons retrouver les temps de chargements, les temps de déchargements, les temps d'accès au quai, les temps liés à l'administratif, ... Nous allons rassembler l'ensemble de ces temps en deux facteurs de temps : un temps de chargement et un temps de déchargement. En considérant les temps de trajet, nous avons un temps lié au trajet aller et un temps lié au trajet retour. Sur base de ces hypothèses, nous pouvons écrire l'Équation 8 :

$$\begin{aligned}
 \text{Bénéfice} = & \sum (CA) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de chargement} \right) \right. \\
 & \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de déchargement} \right) \right. \\
 & \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) - \sum (\text{Coûts matériel})
 \end{aligned}$$

Équation 8 – Coûts de chargements et de déchargements

Nous venons de parcourir les éléments principaux du calcul du bénéfice que nous allons utiliser ultérieurement dans cette étude. Nous sommes bien conscients que ces éléments ne reprennent pas l'ensemble des paramètres qui influencent une entreprise de transport. Cependant, nos hypothèses nous permettent de proposer un support de base d'analyse des différents paramètres. L'ajout d'autres paramètres n'influencera pas les interprétations de base de l'analyse du modèle. Sur base des équations suivantes : Équation 3, Équation 6 et Équation 8, nous pouvons réécrire l'Équation 1 en Équation 9 :

$$\begin{aligned}
\text{Bénéfice} = & \sum (\text{Prix du transport} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) \\
& - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de chargement} \right) \right. \\
& \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) \\
& - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de déchargement} \right) \right. \\
& \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) \\
& - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}})
\end{aligned}$$

Équation 9 – Bénéfice, modèle de base

3.3.1.2. Non-réalisation d'une demande

Dans l'Équation 9 qui est notre modèle de base du calcul du bénéfice, nous pouvons observer que l'entreprise peut obtenir des résultats négatifs lorsqu'elle va vouloir optimiser le bénéfice. Elle obtiendra des résultats négatifs lorsque les revenus seront plus faibles que les coûts associés. Bien que mathématiquement ce soit correct, une entreprise a toujours pour objectif de réaliser des bénéfices et non des pertes. C'est pourquoi nous allons donner la possibilité au modèle de ne pas réaliser certaines demandes de transport. Pour que le modèle accepte de ne pas réaliser une demande, nous devons modifier et ajouter les sous contraintes suivantes :

- NOI s.t. 1 : Nous permet d'imposer au modèle le nombre de demandes transports que l'on doit réaliser. L'ajout du paramètre « noi_{ab} » permet au modèle de ne pas réaliser certaines demandes.
- NOI s.t. 2 : Nous permet de définir « noi_{ab} » comme un nombre entier positif.

$$\sum_v (x_{ab}^v) + noi_{ab} = Trips_{ab} \quad \forall a \in S_A, b \in S_B$$

NOI s.t. 1 – Demande de transports

$$noi_{ab} \in \mathbb{Z}^+$$

$$\forall a \in S_A, b \in S_B$$

NOI s.t. 2 – Nombre de trajets non réalisés

Le modèle va donc pouvoir choisir s'il accepte de réaliser une demande ou non. Par exemple, il ne va pas réaliser de déplacements qui ont une distance trop grande. Dès que le modèle va avoir une demande qui n'entre pas dans les critères du modèle, cette demande sera alors transférée dans les demandes non réalisées. L'ajout de cette possibilité va également permettre au modèle de choisir s'il réalise le trajet sur base du chiffre d'affaires d'une demande de transport et des coûts associés. En effet, vu que le modèle a pour objectif de maximiser le bénéfice, il va pouvoir sélectionner uniquement les demandes de transports qui ont un ratio positif. Si on fait un rapprochement avec les distances, on peut observer qu'il y a une distance minimale à réaliser pour qu'une demande crée un bénéfice. Nous allons avoir deux cas spécifiques :

- Lorsque le revenu est trop faible : dans le modèle de base si le chiffre d'affaires est trop faible par rapport aux coûts, le résultat du transport sera une perte. Lorsque l'on donne la possibilité au modèle de ne pas réaliser le transport, celui-ci va choisir de transformer la perte en un bénéfice nul en ne réalisant pas le trajet.
- Lorsque le revenu est suffisamment élevé pour réaliser un bénéfice, le modèle acceptera naturellement de réaliser le transport car le résultat du transport sera un bénéfice.

3.3.1.3. Pénalité de non-réalisation d'une demande

En donnant la possibilité au modèle de ne pas réaliser une demande, nous acceptons que l'entreprise n'accepte pas toutes les demandes des clients. Ce choix amène à se poser la question sur la réputation de l'entreprise. En effet, si l'entreprise choisit de ne pas répondre à une demande d'un client, il est possible que celui-ci décommande d'autres trajets qui sont habituellement réalisés. Il est possible également que le client ne revienne plus vers l'entreprise et parte à la concurrence. C'est pourquoi nous avons choisi d'ajouter une contrainte supplémentaire liée à la non-réalisation d'une demande. Il y a de multiples manières de pénaliser la non-réalisation d'une demande. Cette pénalité peut être choisie en fonction du client : s'il est régulier, s'il est nouveau, s'il crée beaucoup de demandes, ... Elle peut également se faire en fonction de la demande en tant que telle : si la demande est une

longue distance par exemple. Vu que nous ne nous référons pas à une entreprise particulière, nous ne pouvons pas évaluer l'impact d'un client par rapport à un autre, c'est pourquoi nous allons pénaliser notre modèle sur base de la distance de chaque demande qui aurait été à parcourir. Nous allons ajouter à l'Équation 9 la contrainte de non-réalisation. Ce qui nous donne l'Équation 10 :

$$\begin{aligned}
 \text{Bénéfice} = & \sum (\text{Prix du transport} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de chargement} \right) \right. \\
 & \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de déchargement} \right) \right. \\
 & \quad \left. * \text{Coûts horaire} \right) - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) \\
 & - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}) \\
 & - \sum (\text{Coûts perte client} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}})
 \end{aligned}$$

Équation 10 – Bénéfice, non-réalisation

Avec l'ajout de la contrainte de non-réalisation, nous pouvons apercevoir rapidement que le modèle acceptera à présent une perte. Le modèle va favoriser la réalisation d'une demande même si le résultat final sera une perte. Dans cette démarche, la perte acceptée de la réalisation d'une demande non rentable est estimée plus faible que les pertes que causeraient les impacts de la non-réalisation de la demande.

3.3.1.4. Prix du transport minimum

Bien que nous ayons vu dans le point précédent qu'il peut être préférable de réaliser une perte plutôt que de ne pas répondre à une demande de transport, une entreprise de transport a toujours comme objectif de réaliser un bénéfice. C'est pourquoi nous allons ajouter au modèle une contrainte qui permet d'imposer un prix minimum au transport. Ce prix minimum doit pouvoir subvenir au coût du transport mais aussi aux coûts provenant du temps de chargement et au temps de déchargement. Le fait d'imposer un prix minimum d'un

transport permet à l'entreprise de ne pas refuser une demande de transport. La décision sera reportée chez le client qui va, en fonction des prix, juger s'il accepte de payer un prix plus élevé ou non. De ce fait, l'image de l'entreprise de transport ne sera pas impactée. On va ajouter au modèle un paramètre « PrixMin » qui déterminera si on utilise un prix au kilomètre ou si on utilise un prix forfaitaire. Ce paramètre vaudra 1 si la distance du dépôt vers le client est suffisante et qu'il n'y a pas besoin d'appliquer un prix minimum et il vaudra 0 si la distance est insuffisante. On peut compléter l'Équation 10 et écrire l'Équation 11 :

$$\begin{aligned}
 \text{Bénéfice} = & \sum (\text{Prix du transport} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}} * \text{Paramètre min}) \\
 & + \sum (\text{Prix minimum} * (1 - \text{Paramètre min})) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de chargement} \right) \right. \\
 & \left. * \text{Coûts horaire} \right) \\
 & - \sum \left(\left(\frac{\text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}}{\text{Vitesse}} + \text{Temps de déchargement} \right) \right. \\
 & \left. * \text{Coûts horaire} \right) - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}}) \\
 & - \sum (\text{Coûts carburant} * \text{Distance}_{\text{Client} \rightarrow \text{Entrepôt}}) \\
 & - \sum (\text{Coûts perte client} * \text{Distance}_{\text{Entrepôt} \rightarrow \text{Client}})
 \end{aligned}$$

Équation 11 – Prix transport minimum

Avec ce nouveau modèle, lorsque la distance est trop faible et donc crée un revenu trop faible, le modèle sans prix minimum imposé choisira de réaliser une perte. Avec la contrainte du prix minimum, le modèle acceptera de réaliser la demande de transport avec un prix plus élevé. L'ensemble des demandes qui pourraient être non réalisées sur base de la différence entre le prix du transport et les coûts associés seront converties par le modèle en trajet réalisé sur base d'un tarif plus élevé.

3.3.2. Modèle

Maintenant que nous avons défini les différentes contraintes du modèle, nous pouvons le réécrire. Nous allons pouvoir également présenter les valeurs et les différents paramètres qui sont utilisés.

3.3.2.1. Indices et ensembles

| | |
|------------------------------------|--|
| $a \in S_A = \{1, 2, \dots, N_A\}$ | Ensemble des points de chargement « a » nommé dépôt. |
| $b \in S_B = \{1, 2, \dots, N_B\}$ | Ensemble des points de déchargement « b » nommé client. |
| $v \in S_V = \{1, 2, \dots, N_V\}$ | Ensemble des véhicules « v » disponibles pour réaliser les tournées. |

3.3.2.2. Paramètres

| | |
|--------------|---|
| $Dist_{ab}$ | Tableau reprenant l'ensemble des distances entre les points dépôts et les points clients. |
| $Trips_{ab}$ | Tableau reprenant l'ensemble des demandes de livraison entre les points dépôts et les points clients. |
| Tch | Temps estimé pour le chargement d'un camion à un entrepôt. |
| Tde | Temps estimé pour le déchargement d'un camion chez un client. |
| Vit | Vitesse moyenne estimée pour l'ensemble des véhicules. |
| $TMax$ | Temps maximum de conduite pour un véhicule. |
| M | Nombre de chargements maximum qu'un véhicule peut réaliser lors d'une tournée. |
| $Prix$ | Prix du transport par kilomètre. |
| $PrixMin$ | Prix minimal d'une livraison. |

| | |
|-------------|---|
| $CoûtHor$ | Taux horaire du transport. |
| $CoûtConso$ | Prix de la consommation du véhicule par kilomètre. |
| $CoûtNoi$ | Coût de la non-réalisation d'une demande par kilomètre. |
| S_{ab} | « Paramètre min » qui permet de déterminer si on utilise le prix du transport ou le prix minimal d'une livraison. |

3.3.2.3. Variables

| | |
|------------|--|
| x_{ab}^v | Variable reprenant pour chaque véhicule le nombre de trajets du dépôt « $a \in S_A$ » vers le client « $b \in S_B$ » qui sont décidés. |
| y_{ba}^v | Variable reprenant pour chaque véhicule le nombre de trajets du client « $b \in S_B$ » vers le dépôt « $a \in S_A$ » qui sont décidés. |
| v_v | Variable qui définit si le véhicule « v » est utilisé. Variable valant 1 si le véhicule est utilisé, valant 0 sinon. |
| noi_{ab} | Variable reprenant l'ensemble des trajets du dépôt « $a \in S_A$ » vers le client « $b \in S_B$ » qui ne sont pas réalisés. |

3.3.2.4. Modèle

Comme décrit précédemment, on cherche dans ce modèle à maximiser le bénéfice de l'entreprise de transport lors des livraisons.

$$\begin{aligned}
\max \sum_{a,b,v} & (Prix * Dist_{ab} * S_{ab} * x_{ab}^v) \\
& + \sum_{a,b,v} (PrixMin * (1 - S_{ab}) * x_{ab}^v) \\
& - \sum_{a,b,v} \left(\left(\frac{Dist_{ab}}{Vit} + Tch \right) * CoûtHor * x_{ab}^v \right) \\
& - \sum_{a,b,v} \left(\left(\frac{Dist_{ab}}{Vit} + Tde \right) * CoûtHor * y_{ba}^v \right) \\
& - \sum_{a,b,v} (CoûtConso * Dist_{ab} * x_{ab}^v) \\
& - \sum_{a,b,v} (CoûtConso * Dist_{ab} * y_{ba}^v) \\
& - \sum_{a,b,v} (CoûtNoi * Dist_{ab} * noi_{ab})
\end{aligned}$$

3.3.2.5. *Sous contrainte*

$$\sum_v (x_{ab}^v) + noi_{ab} = Trips_{ab} \quad \forall a \in S_A, b \in S_B$$

Sous contrainte qui nous permet d'imposer au modèle le nombre de demandes transports que l'on doit réaliser tout en permettant au modèle de ne pas réaliser certaines demandes.

$$\sum_b x_{ab}^v = \sum_b y_{ba}^v \quad \forall a \in S_A, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : le nombre de livraisons arrivant au client « b » doit être égal au nombre de livraisons partant du même client.

$$\sum_a x_{ab}^v = \sum_a y_{ba}^v \quad \forall b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : le nombre de livraisons partant du dépôt « a » doit être égal au nombre de transports revenant à ce même dépôt.

$$\begin{aligned}
& \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dist_{ab}}{Vit} + Tch \right) * x_{ab}^v \right) \\
& + \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dsit_{ab}}{Vit} + Tde \right) * y_{ba}^v \right) \quad \forall v \in S_V \\
& \leq TMax
\end{aligned}$$

Sous contrainte de limite de temps de trajet : la durée totale du trajet d'un véhicule ne peut pas excéder « Tmax ». Dans cette sous contrainte, nous reprenons les temps de trajet des dépôts vers les clients, les temps de trajet des clients vers les dépôts, les temps de chargement et les temps de déchargement.

$$\sum_{a,b} x_{ab}^{v-1} \geq \sum_{a,b} x_{ab}^v \quad \forall v \in \{2,3, \dots, N_V\}$$

Sous contrainte de priorisation des véhicules : elle permet d'imposer au modèle d'utiliser prioritairement les véhicules déjà utilisés.

$$\sum_{a,b} x_{ab}^v \leq M * v_v \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte d'utilisation du véhicule et de chargement : elle permet d'imposer un nombre maximal de livraisons que peut réaliser un véhicule qui est utilisé. Elle définit également la valeur de « v » qui est égale à 1 si le véhicule est utilisé et égale à 0 sinon.

$$x_{ab}^v \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall a \in S_A, b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « x_{ab}^v » comme un nombre entier positif.

$$y_{ba}^v \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall a \in S_A, b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « y_{ba}^v » comme un nombre entier positif.

$$v_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « v_v » comme un nombre binaire.

$$noi_{ab} \in \mathbb{Z}^+$$

$$\forall a \in S_A, b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « x_{ab}^v » comme un nombre entier positif.

3.3.3. Mise en œuvre de l'optimisation du bénéfice et de la non-réalisation de demande

Comme décrit précédemment, nous nous focalisons sur une entreprise de transport qui possède sa propre flotte. Pour pouvoir réaliser des tests d'analyses, nous devons mieux préciser notre choix d'entreprise. Pour cela nous devons passer en revue les différentes caractéristiques de l'entreprise. Par ce biais, nous allons définir une entreprise de référence et par la suite faire varier les différents paramètres pour étendre l'analyse à d'autres entreprises.

3.3.3.1. Caractérisation de l'entreprise logistique

Avant de décrire les caractéristiques spécifiques de l'entreprise, nous devons préciser l'échelle de l'entreprise. Bien que les résultats d'analyse soient similaires lors d'un changement d'échelle, il est nécessaire de limiter le nombre de données à traiter. Nous devons limiter la quantité d'informations disponibles à la base du calcul pour des raisons principalement matérielles. En effet, plus le nombre de données est important, plus le modèle prendra du temps pour résoudre l'équation. Nous prenons donc comme entreprise de référence une entreprise qui est située dans le nord de la Belgique et qui réalise des transports principalement dans les pays de « l'Europe des douze » jusqu'à un rayon de 1900 kilomètres autour de Bruxelles, comme nous le montre la Figure 25. L'entreprise que nous allons étudier possède jusqu'à 20 véhicules et peut répondre jusqu'à une centaine de demandes à une distance moyenne de 800 kilomètres.

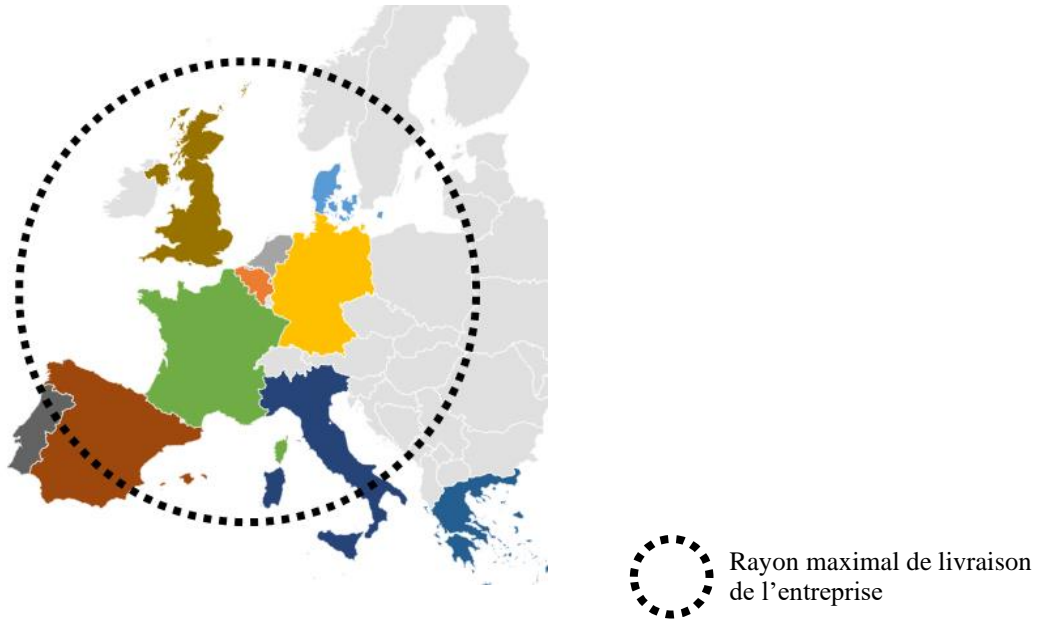


Figure 25 – Zone géographique de travail de l'entreprise

Nous avons décrit de manière générale la situation de l'entreprise de référence que nous allons utiliser. Nous allons parcourir les différentes caractéristiques que nous ferons varier pour déterminer l'impact du prix d'une livraison sur le bénéfice.

- Nombre d'entrepôts et de clients : nous considérons que les entrepôts livrent généralement un ou deux clients différents. Donc, avec un nombre de 30 points de dépôts et 50 points de clients disponibles, nous avons une plage de possibilités de tests suffisante.
- Temps de chargement et de déchargement : pour déterminer ces temps, nous considérons que chaque chargement ou déchargement se fait sur un quai où des caristes sont disponibles. Nous prenons donc une valeur moyenne de 30 minutes.
- Temps de conduite maximum : comme temps de conduite maximum nous nous reportons à la réglementation sur la durée de conduite hebdomadaire d'un transport routier. Ce temps de conduite est fixé à 56 h.
- La vitesse des véhicules : suivant les durées de conduite journalière qui sont de maximum 10 h par jour et les distances moyennes des demandes de 800 km, nous devrions avoir une vitesse moyenne de 80 km/h. Cependant, pour être plus précis, nous devons distinguer deux cas. Le premier cas se déroule lorsque les véhicules peuvent réaliser une demande de transport en une

journée de conduite. Dans ce cas, les distances sont en dessous de 800 km. Plus la distance à parcourir est faible, plus la vitesse moyenne d'un véhicule sera faible. Le deuxième cas se produit lors de déplacements plus longs que la durée d'une journée. La distance étant plus longue, la vitesse moyenne pourrait être plus élevée. Toutefois, le véhicule ne peut pas réaliser le déplacement d'une seule traite. Il sera nécessaire d'effectuer un changement de chauffeur, ce qui impactera la vitesse moyenne du véhicule. Nous considérons pour l'ensemble des véhicules et des déplacements, une vitesse moyenne de 70 km/h. Une étude spécifique sur les vitesses de conduites pourrait faire partie d'études complémentaires.

- Le nombre de livraisons maximum est déterminé pour qu'un véhicule ne puisse pas effectuer plus de 6 livraisons journalières lors de trajets très courts de l'ordre de 150 à 200 km.
- Le coût horaire : nous partons sur un taux horaire d'un chauffeur de véhicule de l'ordre de 40 €/h. Cette valeur provient de notre propre expérience. 40 €/h correspond au coût horaire moyen d'un opérateur d'une entreprise de production belge.
- Le coût de consommation : pour déterminer ce taux, nous nous sommes basés sur la consommation d'un poids lourd de 34 L pour 100 km et le prix du carburant à 1.5 €/L, ce qui nous donne un taux de 0.51 €/km que nous arrondirons au dixième.

Il nous reste à déterminer les prix de livraison et le coût de non-réalisation. Nous ferons varier ces valeurs pour observer leurs impacts sur le modèle. Dans un premier temps nous partirons sur un prix de 2.5 €/km. Nous fixons la pénalité de non-réalisation à 0.5 €/km.

| Paramètres | Valeurs |
|----------------------------------|----------------|
| Nombre de dépôts « N_A » | 30 |
| Nombre de clients « N_B » | 50 |
| Nombre de véhicules « N_V » | 20 |
| Temps de chargement « T_{ch} » | 0.5 h |

| | |
|--|----------|
| Temps de déchargement « <i>Tde</i> » | 0.5 h |
| Temps de conduite maximum « <i>TMax</i> » | 56 h |
| Vitesse moyenne « <i>Vit</i> » | 70 km/h |
| Nombre de livraisons maximum « <i>M</i> » | 10 |
| Coût horaire « <i>CoûtHor</i> » | 42 €/h |
| Ce qui nous donne | 0.6 €/km |
| Coût de consommation « <i>CoûtConso</i> » | 0.5 €/km |
| Prix de la livraison « <i>Prix</i> » | 2.5 €/km |
| Coût de non-réalisation « <i>CoûtNoi</i> » | 0.5 €/km |

3.3.3.2. Validation du modèle et solutions

Pour nous permettre de bien comprendre comment réagit notre modélisation de maximisation du bénéfice, nous allons séparer cette étape en trois phases.

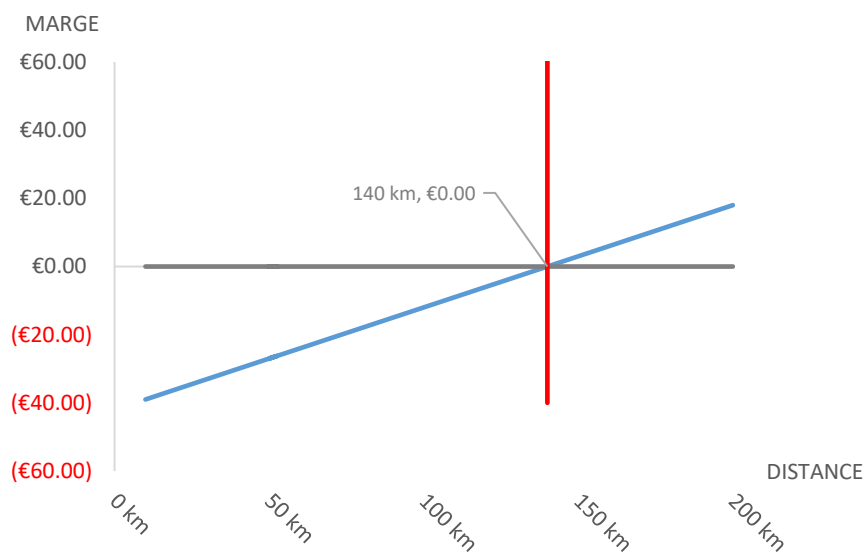
- L'application du modèle de base qui a pour but :
 - De déterminer une référence d'analyse pour l'ajout des Noi et du prix minimum.
 - De déterminer l'influence des différents paramètres sur le seuil de rentabilité d'une demande.
- L'application du modèle de non-réalisation d'une demande.
- La détermination du prix minimum d'une livraison pour notre entreprise logistique de référence.

3.3.3.2.1. Application du modèle de base

Pour pouvoir interpréter correctement les influences des différents paramètres sur le seuil de rentabilité d'une demande, nous allons commencer notre analyse par un cas spécifique qui ne comporte qu'une seule demande. Ensuite, nous ajouterons au fur et à mesure de nouvelles demandes.

Application du modèle de base à une seule demande de transport

Nous pouvons observer dans le Graphique 9, l'évolution de la marge pour une seule demande de livraison en fonction de la distance à parcourir. Nous pouvons observer suivant



Graphique 9 – Évolution de la marge d'une demande de livraison

nos paramètres sélectionnés que l'exécution de la livraison réalisera un bénéfice lorsque la distance entre le dépôt et le client sera supérieure à 140 km.

Lorsque nous n'avons qu'une seule demande, nous savons que le trajet dépôt vers client sera le même que le trajet client vers dépôt. Si on prend comme hypothèse que le temps de chargement est égal au temps de déchargement, l'évolution de la marge peut être définie par l'Équation 12, équation du premier degré où « x » est la distance entre le dépôt et le client « $Dist_{ab}$ ». En utilisant cette équation, on peut très vite comprendre l'influence de chaque paramètre sur la marge.

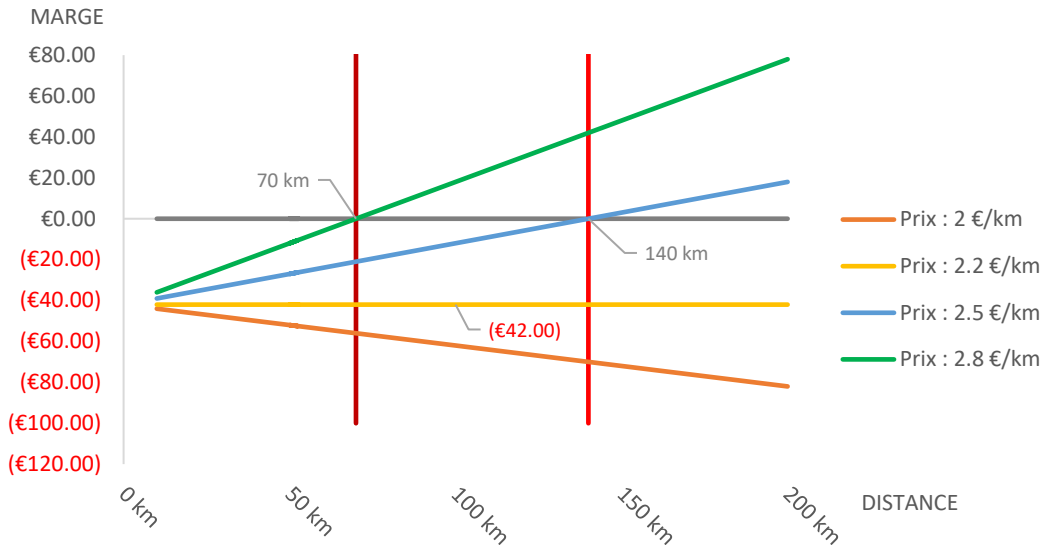
$$Prix * x - 2 * \left(\frac{x}{Vit} + Tch \right) * CoûtHor - 2 * CoûtConso * x = 0$$

Équation 12 – Évolution de la marge pour une demande de livraison

En remettant l'Équation 12 sous une forme classique « $a * x + b = 0$ » où :

- $a = Prix - 2 * \left(\frac{CoûtHor}{Vit} + CoûtConso \right)$
- $b = -2 * Tch * CoûtHor$

Nous savons déterminer rapidement les impacts des différents paramètres sur le résultat de la marge. Lorsque nous faisons varier le prix, nous savons que la marge va croître plus rapidement lors d'un prix supérieur. Nous pouvons observer avec le Graphique 10

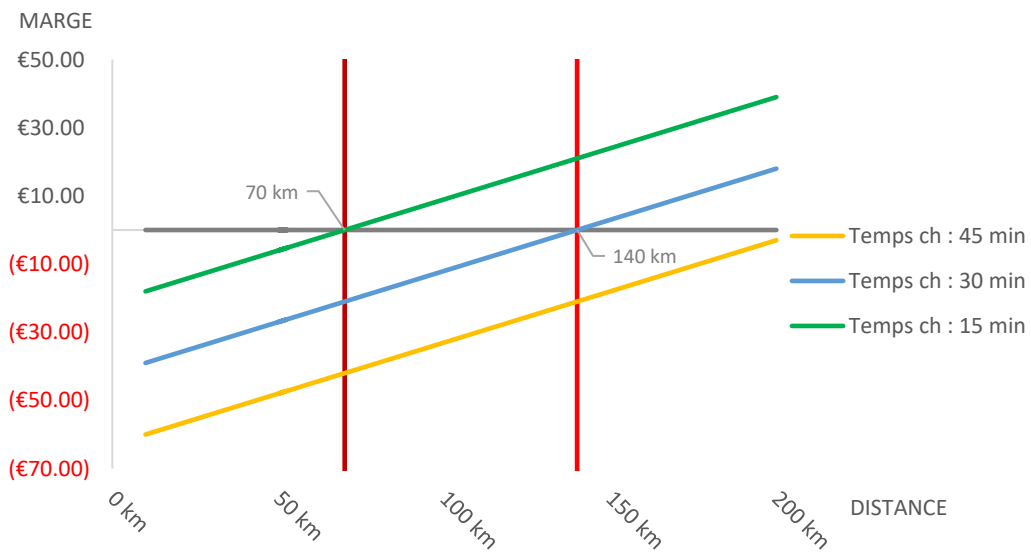


Graphique 10 - Influence du prix sur l'évolution de la marge d'une demande de livraison

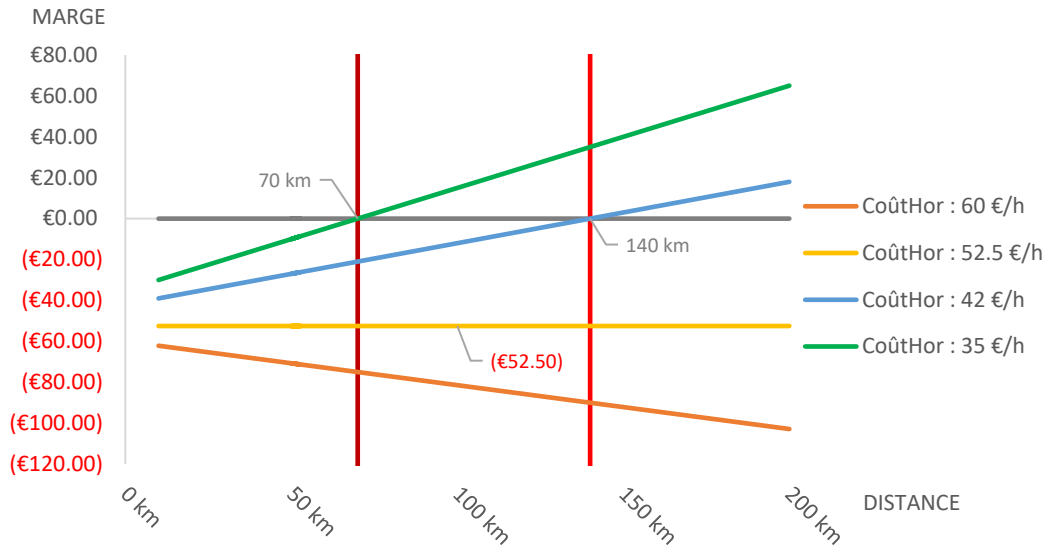
l'influence du prix sur l'évolution de la marge. Nous pouvons observer des évolutions similaires lorsque nous faisons varier la vitesse ou le coût de consommation.

Lorsque l'on va faire varier le temps de chargement ou le temps de déchargement, nous allons avoir, comme nous montre le Graphique 11, une translation des courbes tout en gardant la même vitesse de croissance.

Comme nous montre le Graphique 12, l'évolution du coût horaire quant à lui va être une combinaison similaire de l'évolution du prix et de l'évolution du temps de chargement.



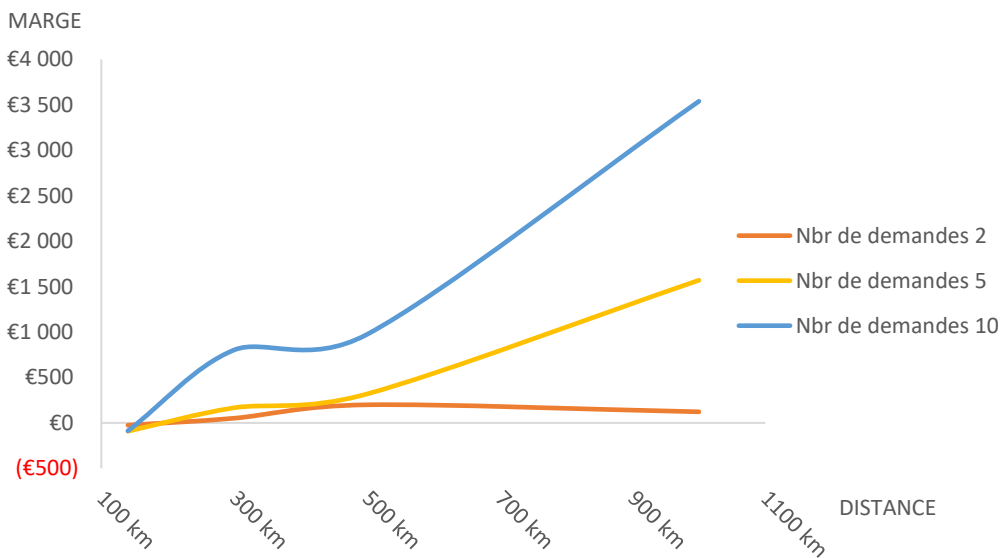
Graphique 11 – Influence du temps de chargement sur l'évolution de la marge d'une demande de transport



Graphique 12 - Influence du coût horaire sur l'évolution de la marge d'une demande de transport

Application du modèle de base à plusieurs demandes de transport

Comme dans le cas d'une seule demande, on s'attend à ce que la marge augmente de manière régulière en fonction de la distance à parcourir. Il y a tout de même un point supplémentaire à tenir en compte : la possibilité pour le véhicule de réaliser une tournée. Lorsque l'on n'a qu'une demande, le véhicule fait systématiquement un aller-retour. Comme nous montre le Graphique 13, plus on augmente la quantité de demandes de transports plus les véhicules pourront optimiser leurs retours et donc améliorer leurs marges. On remarque que plus le nombre de demandes est élevé, plus la marge croît rapidement. En effet, le fait



Graphique 13 - Influence de la quantité de demandes sur l'évolution de la marge

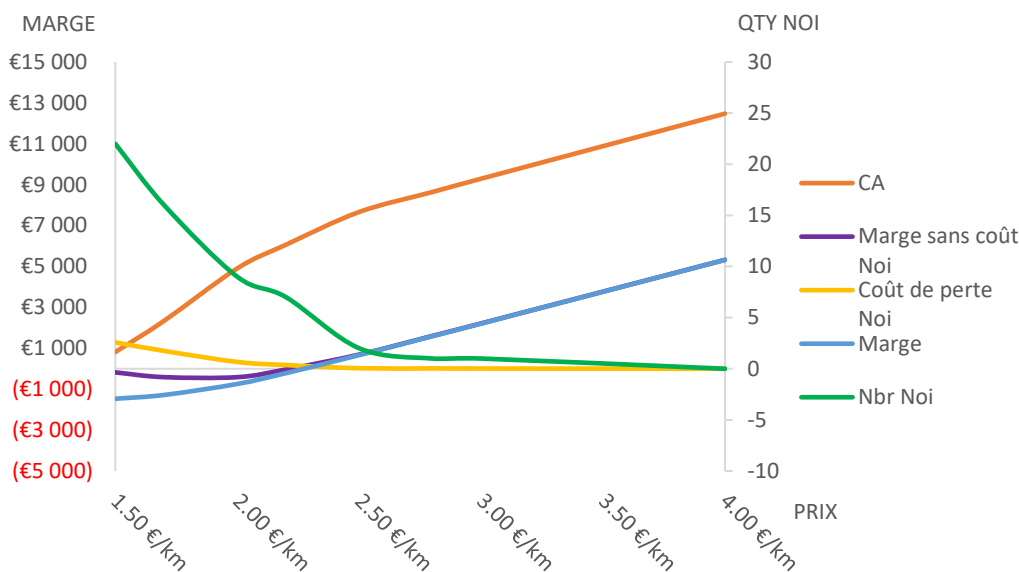
de doubler la demande ne double pas nécessairement la marge pour de faibles quantités de demandes. On distingue trois cas spécifiques qui vont influencer la croissance de la marge. De manière générale les entreprises se retrouvent dans la troisième condition. Voici les trois cas spécifiques relevés lors d'essais :

1. Les distances des demandes sont égales. Dans ce cas, le modèle a deux choix :
 - Soit il utilise le même véhicule car les différentes demandes correspondent aux mêmes dépôts et aux mêmes clients.
 - Soit il utilise un nouveau véhicule.
2. La distance entre le client et le dépôt suivant est plus grande que celle réalisée lors d'un aller-retour. Dans ce cas, le modèle va préférer utiliser un nouveau véhicule afin de minimiser les coûts.
3. La distance entre le client et le dépôt suivant est plus petite. Cette situation est désirée lors d'un objectif de diminution des coûts par diminution des transports à vide. Plus le nombre de demandes de livraisons augmente, plus il sera aisé pour le modèle de diminuer les coûts.

3.3.3.2.2. Application du modèle de non-réalisation

Dans l'application du modèle de base, nous confirmons que la marge réalisée lors de demandes de livraisons avec une distance faible entraîne une perte. Nous ajoutons la possibilité de non-réalisation d'une demande par l'ajout de « Noi » ce qui permettra au modèle de ne pas réaliser les demandes qui n'apportent pas de bénéfice. Nous incluons également une pénalité sur cette non-réalisation pour pouvoir observer l'impact de l'évolution du prix.

Dans le Graphique 14 de l'influence de l'évolution du prix d'un transport sur la marge, nous pouvons observer que la marge générée croît en fonction du prix dès que le nombre de trajets non réalisés est nul. Nous observons cette croissance à partir du prix de 2.3 €/km. Nous observons également qu'à ce prix, le nombre de trajets non réalisés se rapproche de 0. En effet, dès que l'on augmente le prix de la livraison, le modèle n'a plus besoin de choisir entre une perte due au coût de déplacement et une perte de non-réalisation. Le prix va permettre de compenser les temps de chargement et de déchargement des trajets inférieurs au seuil de rentabilité. Il n'y aura donc plus de raison de refuser une livraison.



Graphique 14 – Influence sur la marge de l'évolution du prix pour des trajets dépôts-clients inférieurs à 200 km

Lorsque nous sommes en dessous du seuil de rentabilité, nous apercevons que l'évolution de la marge est influencée par les demandes de livraisons non réalisées. Pour expliquer ce changement de comportement de l'évolution de la marge, nous pouvons observer sur le Graphique 14 les courbes du chiffre d'affaire, de la marge sans prise en compte du surcoût de non-réalisation, les coûts liés uniquement à la pénalité de non-réalisation et le nombre de « Noi ». Pour réaliser ce graphique, nous avons sélectionné une distance maximale entre un dépôt et son client de 200 km. De cette manière nous nous focalisons sur les petites distances qui entraînent des refus de livraison. Nous avons également imposé le nombre de demandes à 25 demandes de livraison. Avoir 25 demandes nous permet d'imposer au modèle d'utiliser au minimum 3 véhicules et cela nous permet d'obtenir une bonne représentation du fonctionnement du modèle. Lorsque nous prenons chaque courbe séparément, nous observons :

- Le chiffre d'affaire « CA » : la courbe du chiffre d'affaires est impactée par les trajets non réalisés.
- La courbe de la marge sans surcoût des « Noi » nous permet d'observer la réaction du modèle lorsque l'on accepte de ne pas réaliser certaines demandes mais sans lui imposer de pénalité. Cette courbe est également impactée par les Noi puisque cette courbe est le résultat du « CA » et des coûts liés au transport.

- La courbe des coûts de perte « Noi » nous montre la pénalité que l'on a imposée au modèle. Cette courbe est directement liée au nombre de « Noi ».
- Lorsque l'on retranche les coûts de non-réalisation des demandes à la courbe de la marge sans surcoût des « Noi » on obtient la marge réelle du modèle. Cette marge est doublement impactée par les « Noi ». D'une part par la baisse du « CA » et d'autre part par la pénalité.

3.3.3.2.3. Détermination du prix minimum

Dans un objectif de rentabilité, l'entreprise s'assure que chaque livraison réalise un bénéfice. Il faut donc considérer le cas d'un trajet qui serait plus onéreux. Ce cas est celui d'une livraison aller-retour. Nous avons vu précédemment que pour notre entreprise, nous avons une distance minimum de 140 km de livraison pour laquelle nous n'avons pas de « Noi ». En remplaçant le chiffre d'affaires dans l'Équation 12 par notre prix minimum, nous obtenons l'Équation 13 où « x » est la distance minimale entre le dépôt et le client. Nous obtenons un prix minimum de 350 € quelle que soit la distance à parcourir jusqu'à une distance de 140 km où le calcul du chiffre d'affaires se fait comme dans les sections précédentes avec le prix multiplié par la distance à parcourir.

$$PrixMin > 2 * \left(\frac{x}{Vit} + Tch \right) * CoûtHor + 2 * CoûtConso * x$$

Ou alors :

$$PrixMin > Prix * x$$

Équation 13 – Détermination du prix minimal

3.3.4. Conclusion et critiques

Nous avons pu constater les impacts des différents paramètres lorsque l'on regarde la question du transport à vide par la vision d'un enjeu économique. Adapter le modèle à une vision de maximisation du bénéfice plutôt que de minimiser les trajets à vide nous permet de donner à une entreprise une vision financière sur les enjeux d'optimisation des transports à vide. L'entreprise peut de cette façon utiliser ces données financières pour prendre des décisions de changement. Avec ce modèle, elle peut observer les influences de politiques financières sur ces résultats.

Un travail complémentaire doit être apporté si une entreprise veut utiliser ce modèle. Ce travail consiste d'une part, à l'adaptation des paramètres liés aux coûts, d'autre part à la réévaluation des différents paramètres. Dans cette étude, nous avons fondé nos résultats et analyses sur base d'hypothèses et non sur le cas d'une société particulière. Les montants que nous annonçons tels que le seuil de distance à 140 km et le prix minimum de 350 € ne sont applicables que pour ces hypothèses. Une réévaluation de ces valeurs doit être faite si une entreprise souhaite utiliser le modèle mathématique.

3.4. Point de départ chauffeur & retour

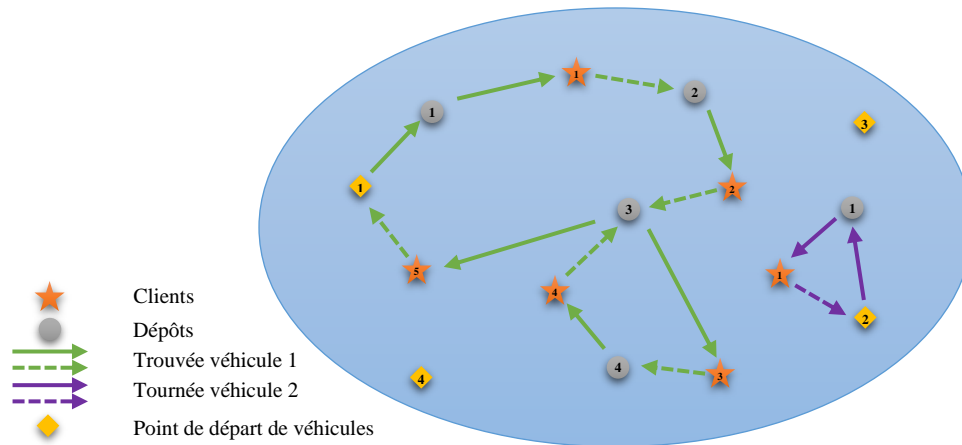
Dans ce chapitre, nous allons discuter d'une question qui est liée à des points précédents. Nous avons discuté de la géographie et des temps de trajets par le biais de l'optimisation des coûts. Lorsque l'on rassemble ces deux points, une nouvelle question nous apparaît, la notion de point de départ des véhicules. Pour un chauffeur, la notion de point de départ et de point de retour nous conduit à une nouvelle réflexion. C'est une question qui impacte directement le temps de conduite et est dépendante de la localisation des dépôts et clients et des véhicules lors du démarrage des tournées de livraison.

À l'aide de cette nouvelle question, nous désirons apporter une contrainte supplémentaire au modèle. Cette contrainte nous permettra d'obtenir un modèle qui s'approche de situation réelle d'entreprises de transport.

Nous allons tout d'abord définir les différentes situations possibles lorsque l'on ajoute des points de tournées imposés. Ensuite, nous adapterons les équations du modèle mathématique. Et enfin, nous observerons l'impact de cette modification sur le modèle.

3.4.1. Présentation de la question managériale et hypothèses

Dans notre modèle de base d'optimisation des trajets à vide, nous ne lui imposons pas de points de départ spécifiques. En effet, un véhicule peut démarrer de n'importe quelle ville. Un temps d'accès était également imposé dans le modèle, ce qui permettait de considérer que le véhicule ne démarrait pas d'un point de dépôt mais à une certaine distance que nous pouvions adapter. Ce paramètre de temps d'accès ne permet pas d'observer les influences géographiques liées au point de départ d'un véhicule. Par la modification du modèle, nous allons permettre à la base de données d'imposer des lieux de points de départ pour chaque véhicule.



Source : Auteur

Figure 26 – Flux de transports avec points de départ imposés

Pour une entreprise, il est presque impossible que les points de départ des véhicules soient systématiquement à des distances fixes des premiers points de chargements. La distance entre le point de départ d'un véhicule et son premier dépôt va donc varier. Cette distance va d'autant plus varier si les points de départ des véhicules sont imposés. Dans la Figure 26, nous pouvons observer une représentation d'une tournée de deux véhicules qui ont des points de départ imposés. Suivant le schéma, on peut rapidement comprendre que la distance totale parcourue par le véhicule numéro 1 parcourra une distance plus grande si son point de départ était le numéro 4.

Sur cette figure nous avons réparti de manière aléatoire les points de départ des différents véhicules. La dispersion des points de départ des véhicules va changer d'une entreprise à l'autre. Il est donc intéressant d'analyser l'impact des différentes possibilités de localisation des points de départ.

3.4.1.1. Les différentes possibilités de localisation des points de départ des véhicules

Chaque entreprise de transport gère différemment sa flotte de véhicules. Certaines utilisent des indépendants, d'autres ont un ou plusieurs entrepôts d'entretien et un ou plusieurs parkings pour les véhicules. Dans cette multitude de possibilités, nous pouvons ressortir six schémas types de localisation des points de départ des véhicules.

Le premier schéma type est celui que nous utilisons dans le modèle de base de l'optimisation des distances de retour à vide. Cette situation consiste à fixer une distance ou un temps, par rapport au premier dépôt par lequel le véhicule va effectuer sa tournée. La Figure 27 schématise cette situation. Autour des dépôts on peut observer une zone de départ

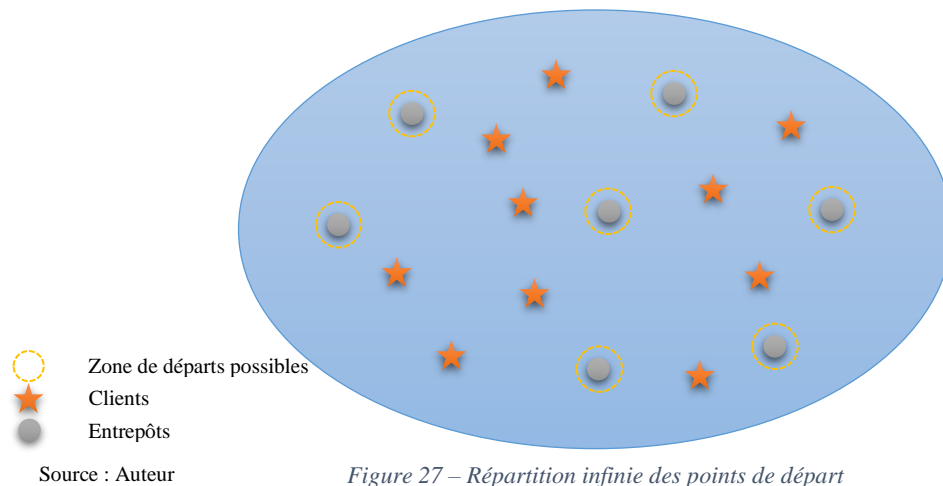


Figure 27 – Répartition infinie des points de départ

possible pour les véhicules. Chaque départ de tournée partira de « x » kilomètres du premier dépôt. Ce paramètre de distance ou bien de temps, puisque nous utilisons une vitesse constante, apporte une contrainte qui est constante pour le modèle. En effet, chaque véhicule va être pénalisé de la même manière. Ce qui veut dire qu'avec ou sans ce paramètre de temps le résultat du modèle sera similaire. Seul le nombre de kilomètres total par véhicule sera impacté. Il n'y aura pas d'impact sur le choix du véhicule à utiliser pour réaliser l'une ou l'autre boucle. Le modèle imposera le point de départ du véhicule comme étant à une distance de « x » du premier point de chargement. Nous pouvons comparer cette situation à une entreprise de transport qui travaillerait avec des routiers indépendants. L'entreprise utiliserait des routiers locaux pour réaliser les demandes de transports.

Le deuxième type de localisation possible peut être vu comme le parfait opposé de la situation précédente où nous étions sur une possibilité de points de départ infinie. Comme nous le montre la Figure 28, ce cas consiste à avoir un seul point de départ pour l'ensemble

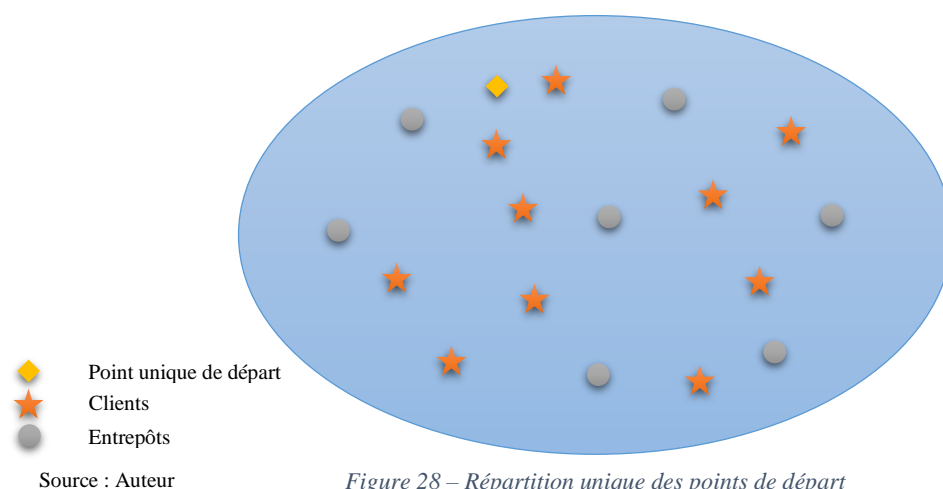


Figure 28 – Répartition unique des points de départ

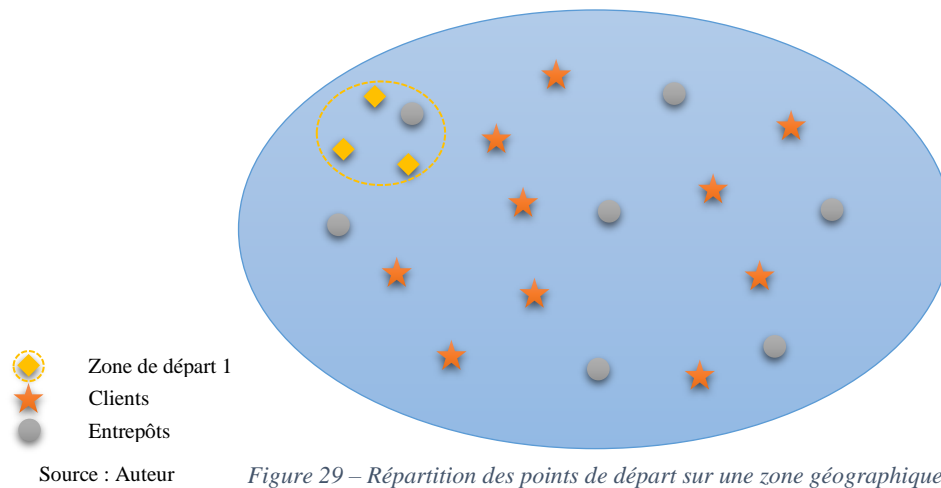
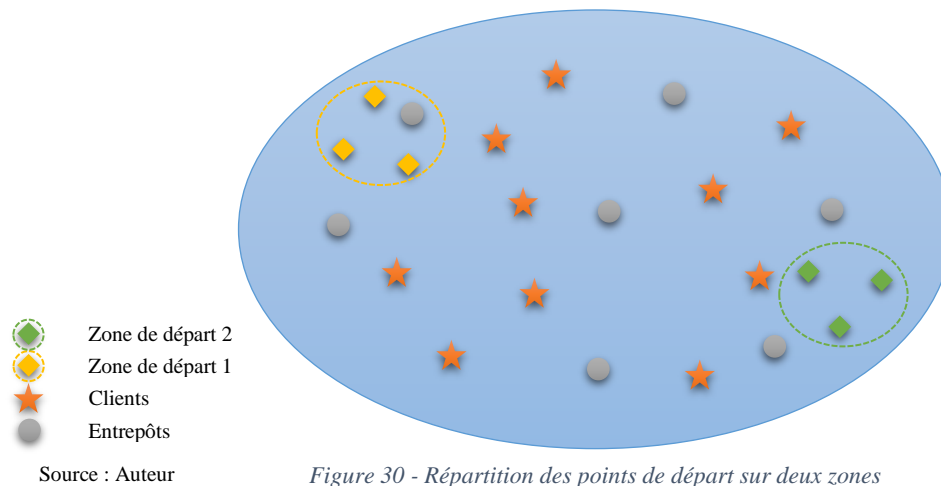


Figure 29 – Répartition des points de départ sur une zone géographique

de la flotte de véhicules. Dans cette situation, le modèle d'optimisation n'aura pas non plus la possibilité de choisir le point de départ des véhicules afin de minimiser les retours à vide. Cependant la distance à parcourir pour atteindre le premier dépôt de chaque véhicule, quant à elle, va varier. Le modèle va nous proposer des tournées de véhicules qui partiront et reviendront systématiquement au même point de départ. Cette situation pourrait être comparée à une entreprise de transport qui possède un seul dépôt de véhicules.

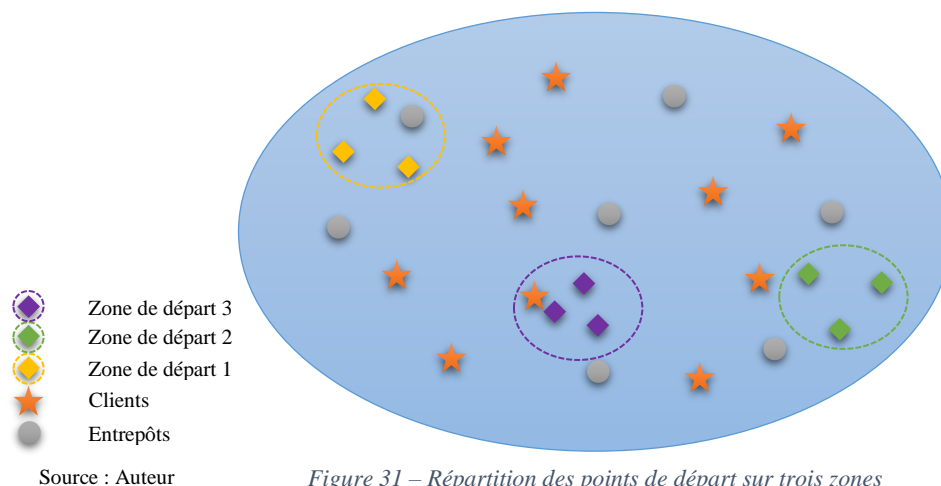
Le troisième schéma type que nous pouvons décrire est proche du deuxième cas. La différence consiste à ne plus considérer un seul point de départ mais plusieurs points qui sont situés dans une zone géographique. Comme nous le montre la Figure 29, dans cette zone nous retrouvons l'ensemble des points de départ des véhicules. On peut également retrouver dans cette zone des dépôts ou des clients. Cette situation va permettre au modèle de pouvoir choisir quel véhicule favorisé pour réaliser la plus faible distance possible. Chaque véhicule a son point de départ qui est défini au préalable. Bien que l'on commence à donner au modèle des flexibilités dans le choix des points de départ, le système ne possède que peu de choix pour améliorer la situation. En effet, vu que l'on travaille avec des points de départ qui sont repris dans une zone spécifique par rapport aux dépôts et aux clients, les différences de distance entre les points de départ et les destinations restent faibles. Nous pouvons comparer cette situation à une entreprise internationale qui possède plusieurs parkings de stockages répartis dans un seul pays.



Source : Auteur

Figure 30 - Répartition des points de départ sur deux zones géographiques

La Figure 30 et la Figure 31 nous montrent le quatrième principe de répartition des



Source : Auteur

Figure 31 - Répartition des points de départ sur trois zones géographiques

points de départ. Nous augmentons le nombre de zones à considérer comme des points de départ des véhicules. Dans le cas de deux zones, l'ajout de la nouvelle zone va permettre au modèle de faire démarrer les tournées des véhicules de deux zones géographiques fortement différentes. En considérant qu'à la fin de sa tournée, le véhicule doit retourner à son point de départ, le modèle pourra favoriser des tournées rapprochées aux différentes zones. Nous pourrions observer des impacts conséquents sur les distances parcourues à vide des véhicules. Si on ajoute une troisième zone, cinquième cas, on va observer des comportements similaires à l'application de deux zones. L'ajout de zones supplémentaires permet au modèle de gagner en flexibilité pour réaliser son optimisation. Pour cette situation, nous pourrions prendre comme exemple une entreprise de transport international qui possède plusieurs parkings de véhicules dans deux ou trois pays éloignés les uns des autres.

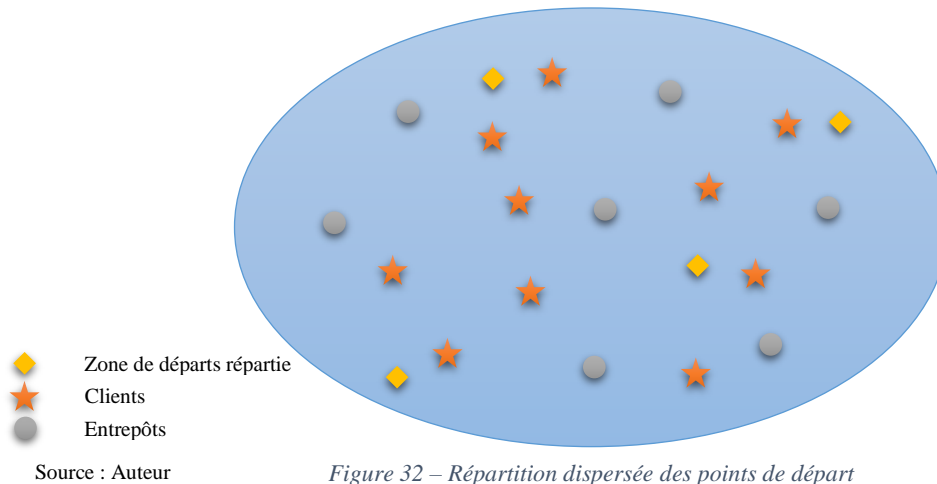


Figure 32 – Répartition dispersée des points de départ

En augmentant fortement le nombre de zones de points de départ, nous pouvons déterminer le sixième cas. Dans ce sixième cas, les zones étant fortement augmentées, nous ne pouvons plus parler de zones, nous parlerons de points de départ. Ces points de départ, comme nous montre la Figure 32, sont répartis sur l'ensemble du réseau de clientèle de l'entreprise. L'entreprise de ce cas, est une entreprise internationale qui a des parkings pour sa flotte répartis sur l'ensemble réseau de sa clientèle.

3.4.1.2. Configuration de chargement du véhicule lors du départ

Nous venons de parcourir différents cas géographiques liés au point de départ des véhicules. Nous allons maintenant passer en revue les possibilités d'états de chargement des véhicules lors du démarrage de leurs tournées. Jusqu'à présent, nous avons considéré que lorsque les véhicules ont effectué un chargement, ils passent obligatoirement par leurs points de déchargement avant de terminer leurs tournées. Si nous n'imposons plus l'état de chargement du véhicule à la fin de la tournée, nous pourrions considérer deux cas :

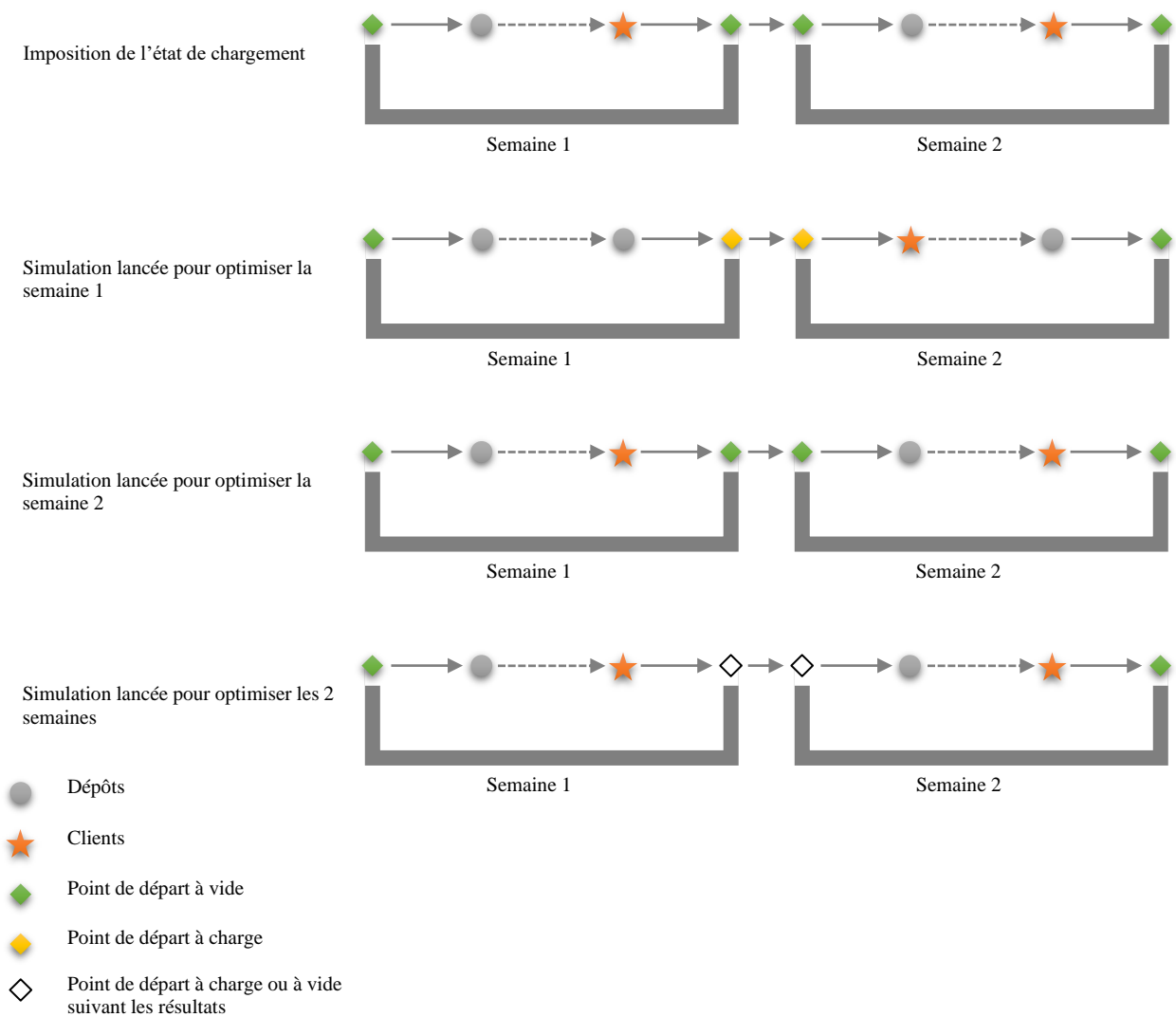
- Le premier : un état de retour au point de départ à vide.
- Le deuxième : un état de retour au point de départ à charge.

L'objectif de ce deuxième cas serait de donner une flexibilité supplémentaire au modèle lors de son calcul d'optimisation des retours à vide. Cependant, au-delà des risques pour l'entreprise de conserver des marchandises dans les véhicules, certaines difficultés apparaissent lorsque l'on n'impose pas au véhicule de rentrer au point de départ à vide.

Pour mieux comprendre la situation, nous pouvons observer la Figure 33. Dans cette figure nous représentons plusieurs semaines de livraison pour les différents cas possibles :

- Lorsque l'état de chargement au point de départ est imposé, on observe que les véhicules vont effectuer un déchargement pour chaque chargement. Nous sommes donc dans une situation équilibrée chaque semaine,
- Dans la situation où l'état de chargement n'est pas imposé, nous pouvons rencontrer des situations où, comme précédemment, le nombre de chargements et le nombre de déchargements sont en équilibre. Mais nous pouvons également rencontrer des situations qui ne sont pas en équilibre pour des objectifs d'optimisation de distance parcourue à vide. Nous aurons alors lors de la première semaine un véhicule qui ne termine pas sa tournée par un déchargement. Lors de la semaine qui suit cette irrégularité, il faut imposer au modèle que le véhicule ne soit pas vide et qu'il doive commencer sa tournée par le client. Le fait de devoir imposer ce premier trajet au modèle ne permet plus obligatoirement d'obtenir le meilleur optimum de la semaine. Pour que l'on puisse assurer un optimum sur cette deuxième semaine, il faut, lors du lancement de calcul, inclure les demandes de tournées de la première semaine. Ce calcul va nous donner deux possibilités, soit il est plus intéressant de réaliser un retour au point de départ à charge, soit c'est le cas contraire, le véhicule doit rentrer à vide. Nous comprenons que si on veut obtenir l'optimum pour chaque semaine, il est nécessaire d'effectuer le calcul sur l'ensemble de la période désirée. Ceci implique que l'entreprise ait une vision à long terme sur ses demandes de livraisons. Nous pourrions avoir également le cas contraire où la semaine deux impose que le véhicule soit chargé pour commencer sa tournée. On comprend également que dans cette situation, il est nécessaire de maîtriser l'ensemble de la période de livraison pour pouvoir calculer l'optimum global.

Pour une entreprise de transport, il peut y avoir des situations pour lesquelles la maîtrise de livraisons à long terme est connue. Ces situations arrivent principalement lorsque les livraisons sont régulières avec les mêmes dépôts et les mêmes clients, ce sont des situations cycliques avec des fréquences de livraisons minimales hebdomadaires. Aux vues de cette analyse, nous décidons d'imposer un état de retour à vide au point de départ pour chaque véhicule.



Source : Auteur

Figure 33 – Configuration de chargement des véhicules aux points de départ

3.4.2. Modèle

Maintenant que les bases de la question du point de départ sont posées, nous allons pouvoir adapter le modèle mathématique. Pour que le modèle puisse considérer les points de départ, il a besoin qu'on lui fournisse de nouvelles données qui sont entre autres les lieux de départ des différents véhicules et les distances entre ces lieux et les points dépôts et clients. Le modèle va également avoir besoin de nouvelles variables et des sous contraintes associées qui vont définir quel véhicule va réaliser la tournée.

Pour que le modèle puisse définir les points de départ des livraisons, nous devons modifier et ajouter les paramètres, les variables et sous contraintes suivantes :

3.4.2.1. Paramètres spécifiques au point de départ du véhicule

$DistS_a$ Tableau reprenant l'ensemble des distances entre les points de départ et les points dépôts.

$DistR_b$ Tableau reprenant l'ensemble des distances entre les points de départ et les points clients.

Les paramètres $DistS_a$ et $DistR_b$ peuvent être rassemblés en une seule variable $DistS_{ab}$. Nous avons pris la décision de les laisser séparés car dans nos listes de dépôts et de clients, nous avons des villes différentes. Pour pouvoir combiner les variables, il faudrait ajouter dans la liste des dépôts les villes de clients et vice versa.

3.4.2.2. Variables spécifiques au point de départ du véhicule

w_a^v Variable qui définit si le véhicule « v » commence sa tournée par le dépôt « a ». Variable valant 1 si le véhicule commence par « a », valant 0 sinon.

z_b^v Variable qui définit si le véhicule « v » termine sa tournée par le client « b ». Variable valant 1 si le véhicule termine par « b », valant 0 sinon.

3.4.2.3. Modèle

Ce modèle adapté pour permettre la prise en compte des points de départ des véhicules est composé de cinq parties :

- Les distances entre les dépôts et les clients pour les trajets de livraisons.
- Les distances entre les clients et les dépôts pour les trajets de retours à vide.
- Une pénalité lorsque les demandes ne sont pas satisfaites.
- Les distances entre les points de départ des véhicules et les premiers dépôts.
- Les distances entre les clients et les points de départ des véhicules.

$$\begin{aligned}
max \sum_{a,b,v} (Dist_{ab} * x_{ab}^v) \\
+ \sum_{a,b,v} (Dist_{ab} * y_{ba}^v) \\
+ \sum_{a,b,v} ((2 * Dist_{ab} + Tac * v_v + 1) * noi_{ab}) \\
+ \sum_{a,v} (DistS_a * w_a^v) \\
+ \sum_{b,v} (DistR_b * z_b^v)
\end{aligned}$$

3.4.2.4. *Sous contrainte spécifique au point de départ du véhicule*

$$\sum_b x_{ab}^v = \sum_b y_{ba}^v + w_a^v \quad \forall a \in S_A, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : cette contrainte doit être modifiée pour permettre au véhicule de repartir du dernier client vers son point de départ. Si nous n'ajoutons pas w_a^v le véhicule retournera systématiquement au premier point de chargement.

$$\sum_a x_{ab}^v = \sum_a y_{ba}^v + z_b^v \quad \forall b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte de conservation des flux : de même manière que pour la contrainte précédente de conservation des flux, cette contrainte doit être modifiée pour permettre au véhicule d'arriver au premier dépôt en venant de son point de départ. Si nous n'ajoutons pas z_b^v le véhicule ne considérera pas la distance du point de départ vers le premier point de chargement.

$$\begin{aligned}
& \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dist_{ab}}{Vit} + Tch \right) * x_{ab}^v \right) \\
& + \sum_{a,b} \left(\left(\frac{Dsit_{ab}}{Vit} + Tde \right) * y_{ba}^v \right) \\
& + \sum_a \left(\left(\frac{DistS_a}{Vit} \right) * w_{da}^v \right) \\
& + \sum_b \left(\left(\frac{DistR_b}{Vit} \right) * z_b^v \right) \leq TMax
\end{aligned}
\quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte de limite de temps de trajet : comme dans le modèle de base, la durée totale du trajet d'un véhicule ne peut pas excéder « Tmax ». Dans cette sous contrainte nous reprenons les temps de trajet des dépôts vers les clients, les temps de trajet des clients vers les dépôts, les temps de chargement et les temps de déchargement. Nous venons y ajouter également les temps de trajet du point de départ vers le premier dépôt et les temps de trajet du dernier client vers le point de départ.

$$w_a^v \in \{0,1\} \quad \forall a \in S_A, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « w_a^v » comme un nombre binaire.

$$z_b^v \in \{0,1\} \quad \forall b \in S_B, v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « z_b^v » comme un nombre binaire.

$$\sum_a w_a^v = v_v \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « w_a^v ». « w_a^v » définit le premier point de chargement du véhicule. Si le véhicule « v » est utilisé, il y a un et un seul trajet de départ.

$$\sum_a w_a^v = \sum_b z_b^v \quad \forall v \in S_V$$

Sous contrainte nous permettant de définir « z_b^v ». « z_b^v » le dernier point de chargement du véhicule. S'il y a un point de départ, il y a un point de retour.

3.4.3. Mise en œuvre du modèle d'optimisation des retours à vide avec les départs de véhicules imposés.

Pour pouvoir mettre en œuvre le modèle d'optimisation des retours à vide en considérant les points de départ, nous devons préciser notre structure d'entreprise de transport. Comme pour les questions managériales précédentes, nous considérons une entreprise qui possède sa propre flotte de véhicules.

3.4.3.1. Caractéristiques de l'entreprise de référence

Nous prenons comme précédemment, une entreprise qui est située dans le nord de la Belgique et qui réalise des transports jusqu'à un rayon de 800 kilomètres autour de Bruxelles, comme nous le montre la Figure 34. L'entreprise que nous allons étudier possède jusqu'à 20 véhicules et peut répondre jusqu'à une centaine de demandes à une distance moyenne de 500 kilomètres.

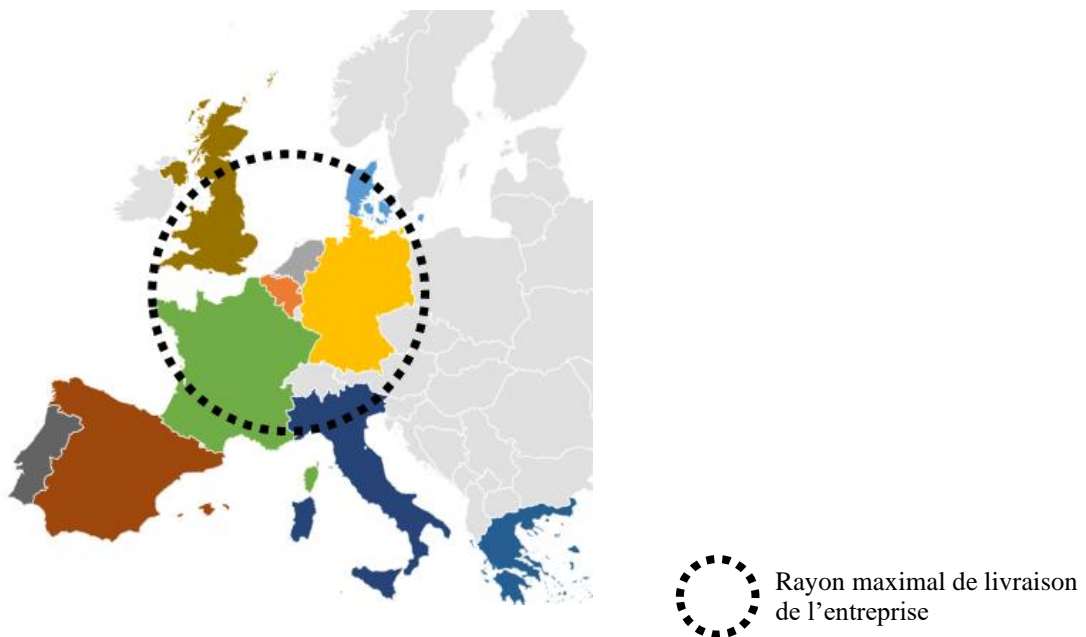


Figure 34 – Zone géographique de travail de l'entreprise rayon 800 km

Pour déterminer l'impact des différentes situations de localisation des points de départ des véhicules, nous devons fixer certains paramètres.

- Nombre d'entrepôts et de clients : dans cet exercice, nous utiliserons une base de données qui peut comporter jusqu'à 55 entrepôts et 80 clients répartis sur l'ensemble de la carte avec une certaine concentration centrale. De cette manière la plage disponible pour les demandes est suffisamment variée.
- Les demandes : pour définir les quantités de demandes et leurs trajets, nous utilisons une répartition aléatoire sur l'ensemble des clients et des dépôts disponibles. Cette répartition aléatoire nous permet d'obtenir des résultats qui sont plus généraux. Nous imposons la quantité de demandes totale à 50. Cette quantité nous permet d'imposer au modèle d'utiliser au minimum 5 véhicules et donc de pouvoir observer des influences sur les différentes possibilités de points de départ.
- Temps de chargement et de déchargement : comme pour les questions précédentes, nous utiliserons une valeur moyenne de 30 minutes pour le chargement et 30 minutes pour le déchargement.
- Temps de conduite maximum : comme temps de conduite maximum, nous nous restons sur la durée de conduite hebdomadaire d'un transport routier. Ce temps de conduite est fixé à 56 h.
- La vitesse des véhicules : nous considérons pour l'ensemble des véhicules et des déplacements, une vitesse moyenne de 70 km/h.
- Le nombre de livraisons maximum est déterminé pour qu'un véhicule ne puisse pas effectuer plus de 6 livraisons journalières lors de trajets très courts de l'ordre de 150 à 200 km.
- Les points de départ des véhicules : nous devons présenter les différents cas que nous avons décrits dans la présentation de la question managériale.
 - Le premier cas : sera utilisé comme point de référence pour observer l'impact majeur de la modification du modèle.
 - Le deuxième cas : nous définissons les points de départ de l'ensemble des véhicules à une seule ville située au centre des demandes. Tous les véhicules devront partir du même point.
 - Le troisième cas : cas similaire au précédent, nous utilisons trois points de départ pour les différents véhicules. Ces trois villes sont

situées à une distance de maximum 200 km les unes des autres. La répartition des véhicules se fait de manière homogène sur les 3 points.

- Le quatrième cas : nous utilisons les mêmes points de départ qu'au troisième cas en ajoutant deux villes qui sont à moins de 200 km de l'une de l'autre et à plus de 500 km des trois premières. La répartition des véhicules se fait de façon homogène sur les deux zones de points de départ. Nous aurons donc 10 véhicules répartis sur les trois premiers points de départ et les 10 autres véhicules sur les deux dernières villes.
- Le cinquième cas : on vient ajouter de nouveau une nouvelle zone avec deux points de départ. Nous répartissons les véhicules de manière homogène sur chaque zone.
- Le sixième cas : nous répartissons les points de départ de manière aléatoire sur l'ensemble du territoire.

3.4.3.2. Application du modèle des départs imposés

Pour comprendre l'impact du changement du modèle sur les résultats, nous allons commencer par comparer les résultats du modèle de base avec un temps d'accès aux dépôts fixes d'une heure et le modèle avec l'imposition des points de départ des véhicules.

Comparaison du modèle de base et du modèle des départs imposés

Nous pouvons observer que dans le modèle de base, le système a des difficultés à réaliser l'ensemble des demandes. Alors que les véhicules ne sont pas tous utilisés, le modèle décide de ne pas réaliser certains trajets. Les modèles réagissent de cette manière car il ne parvient pas, dans un délai raisonnable ou dans des capacités de ressources acceptables, à terminer son calcul.

Dans le modèle avec imposition des points de départ, le modèle propose à chaque fois de réaliser l'ensemble des demandes. Toutefois, comme pour le modèle de base, il arrive que le calcul soit interrompu par manque de temps. Le modèle donne donc un résultat qui n'est pas l'optimum mais la meilleure possibilité qu'il a eu le temps de calculer.

Cette différence de travail s'explique par une sous contrainte du modèle de base. Cette sous contrainte permet d'obliger au modèle de base d'utiliser prioritairement les

premiers véhicules et de les utiliser au maximum. Lors de nos différents essais, nous avons pu constater que ce point ajoute beaucoup de difficultés de calcul pour le modèle.

$$\sum_{a,b} x_{ab}^{v-1} \geq \sum_{a,b} x_{ab}^v$$

Dans le modèle des départs imposés, nous n'avons plus cette sous contrainte. En effet, nous ne pourrions pas demander aux modèles de choisir les meilleures positions de points de départ des véhicules disponibles si nous lui imposons de prendre les véhicules dans un ordre précis.

En faisant abstraction des « Noi » réalisés par les modèles, nous pouvons observer dans le Tableau 10 que le ratio entre les distances totales parcourues à vide et les distances totales est systématiquement meilleur lors de l'utilisation du modèle de base. Ces différences s'expliquent principalement par le fait que dans le modèle de base nous considérons uniquement le temps d'accès du véhicule alors que dans l'autre modèle nous considérons le temps d'accès du véhicule mais également son temps de retour du dernier client vers le point de départ. Le deuxième facteur qui explique les différences est le temps moyen d'accès aux premiers dépôts. En effet, on peut observer qu'il y a un rapport de 4 entre le ratio des distances du premier modèle et du deuxième. Alors que le rapport de distance, dû aux « Noi », n'est que de 2. Si nous ajoutons au modèle 1 les distances de retour et que nous augmentons le temps d'accès à une durée équivalente du modèle 2, nous observons qu'il ne reste plus qu'une différence de l'ordre de 2.5%. Ces 2.5% correspondent aux types de dispositions des points de départ.

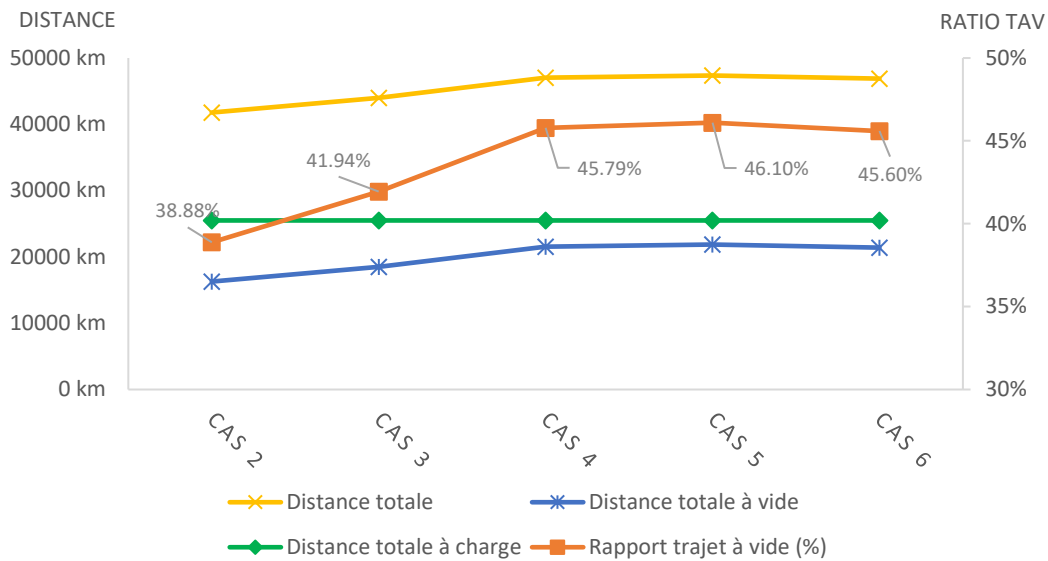
| | Modèle 1 | Modèle 2 |
|--|-----------|-----------|
| | Moyenne | Moyenne |
| Distance totale parcourue par les véhicules | 24.786 km | 45.412 km |
| Distance totale à vide parcourue par les véhicules | 7.902 km | 19.916 km |
| Ratio distance totale à vide / distance totale | 32.87% | 43.66% |
| Nombre de véhicules utilisés | 8 | 16 |
| Temps moyen d'accès au premier dépôt | 1 h | 4.2 h |
| Correction du temps d'accès | | |
| Distance totale parcourue par les véhicules | 27.369 km | |
| Distance totale à vide parcourue par les véhicules | 11.262 km | |
| Ratio distance totale à vide / distance totale | 41.15% | |

Tableau 10 – Comparaison du modèle de base et du modèle des départs imposés

Comparaison des différents cas de localisation des points de départ

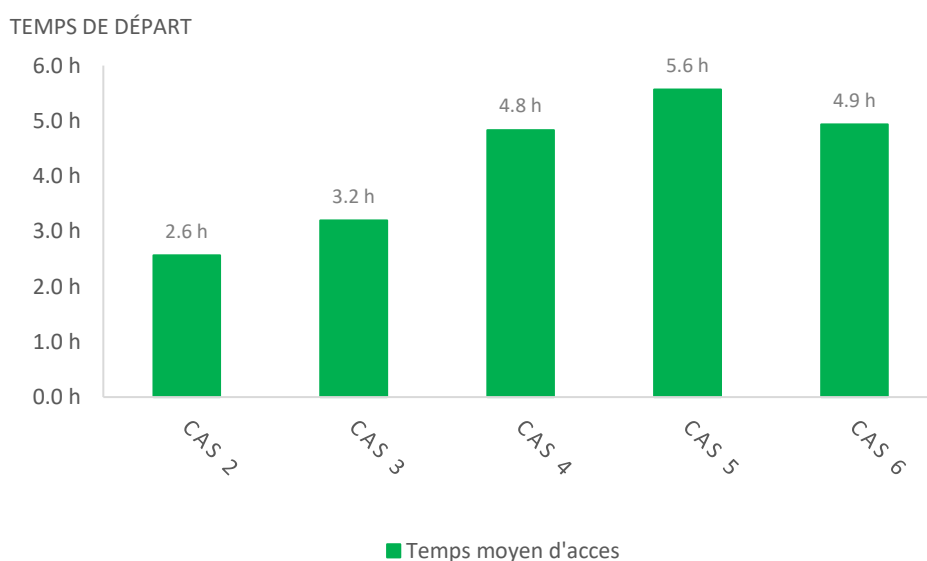
Nous avons précédemment présenté six cas possibles de positionnement des points de départ. Nous allons comparer l'influence des décisions géographiques sur les résultats du modèle.

Pour pouvoir comparer les différents résultats obtenus, nous observons les évolutions des distances totales parcourues, les ratios des distances à vide et totale et les temps moyens d'accès des véhicules à leur premier dépôt.



Graphique 15 – Évolution des distances parcourues et des ratios de retour à vide en fonction des cas de points de départ

Nous pouvons observer dans le Graphique 15 les évolutions des distances, ainsi que le rapport entre elles, des différentes possibilités d'imposition des points de départ. On observe que le cas le plus favorable, cas 2, est celui qui possède l'ensemble de ses points de départ dans une seule ville au centre de l'ensemble des demandes. Ce cas est plus favorable car les demandes sont réparties partout autour de ce point. Les véhicules devront donc réaliser une plus faible distance de départ et de retour. Nous pouvons observer cette plus faible distance par le biais du temps d'accès du Graphique 16. Nous voyons que les véhicules sont en moyenne plus proches de leurs premiers dépôts.



Graphique 16 – Évolution des temps d'accès aux premiers dépôts en fonction des points de départ

Le cas 3 nous montre une distance qui est plus importante que celle du cas 2. Dans la situation du cas 3, les points de départ des véhicules ne sont plus exactement au centre de la zone géographique mais ils sont dans un rayon de 200 km autour du centre. La dispersion des points de départ provoque des temps d'accès au premier dépôt plus important, ce qui implique des distances parcourues à vide plus importantes. Le fait d'éloigner les points de départ les uns des autres peut provoquer deux résultats. Le premier est l'éloignement des points par rapport aux dépôts et aux clients. C'est le résultat que l'on observe sur ces graphiques. Le deuxième résultat que l'on pourrait avoir est un rapprochement de certains points de départ aux dépôts. Lorsque l'on analyse nos résultats de manière plus précise, on voit en effet que, sur l'ensemble des véhicules, on a une combinaison des deux possibilités. Cependant, les points de départ plus éloignés ont un poids plus conséquent, ce qui nous donne une augmentation des distances à vide.

On observe également pour les cas 4 et cas 5 une augmentation des transports à vide. Ces cas sont ceux où on répartit les véhicules dans des zones spécifiques, en deux ou trois zones. On observe que les distances entre les points de départ et les entrepôts augmentent. Ce résultat s'explique car les zones ne sont plus au centre des demandes de transports mais elles sont positionnées vers les extrémités. Nous observons le même phénomène que dans le cas 3 mais avec des distances plus marquées. Lorsque l'on observe les données de chaque véhicule, on constate, comme attendu, que certaines distances sont plus faibles. Nous avons de nouveau un mix de facteurs positifs et de facteurs négatifs. Pour observer uniquement les facteurs positifs, il faut imposer un nombre de véhicules plus important à chaque point de départ. De cette manière, le modèle pourra sélectionner, pour chaque tournée, le meilleur point de départ. Dans les résultats de nos graphiques, nous avons limité le nombre de véhicules disponibles par point de départ. Cette imposition entraîne le modèle à faire un choix lorsqu'il voudrait utiliser un véhicule pour deux tournées.

Le cas 6 est une situation extrême des cas 4 et 5. Chaque véhicule a un point de départ spécifique. Nous pouvons observer les mêmes effets liés au temps d'accès aux premiers dépôts. Le fait que l'on obtient une quantité de trajets à vide plus faible que pour le cas 5 est dû au positionnement des points de départ. Nous avons dans ce cas une répartition des dépôts de véhicules plus proche des dépôts et des clients.

De manière générale, on voit que les distances à vide des véhicules, liées aux trajets de départs et aux trajets de retours, ont une influence de l'ordre de 12% à 25% sur la distance totale parcourue. Ces valeurs sont un ordre de grandeur. Elles ne sont valables que dans des conditions similaires de demandes et de distances. On ressort de ces valeurs le potentiel d'optimisation des retours à vide en fonction des localisations des points de départ et l'importance de choisir correctement les points de départ par rapport à son carnet d'adresses.

3.4.4. Conclusion et critiques

L'ajout de l'imposition des points de départ des véhicules nous permet de proposer un modèle qui s'approche du besoin la situation réelle. Ce modèle donne la possibilité à l'entreprise d'impliquer dans le calcul d'optimisation des transports à vide différentes conditions géographiques liées au point de départ des véhicules.

Nous ne donnons pas de ligne de conduite quant aux décisions de positionnement de points de départ. Ces décisions doivent faire partie d'une étude d'optimisation spécifique à chaque entreprise vis-à-vis de ses clients.

Pour aller plus loin, nous pourrions compléter le modèle d'optimisation des bénéfices en ajoutant l'imposition des points de départ. Nous pourrions également ajouter une pénalité sur les tournées qui ont peu de livraisons. De cette manière, nous pourrions imposer au modèle de sélectionner un point de départ et de compléter au maximum la tournée.

Nous avons pu observer dans certains résultats de tournées que le modèle donne la possibilité aux véhicules de réaliser des sauts d'un point dépôt vers un autre dépôt. Cette caractéristique est encore actuellement un point faible de ce modèle mathématique qui demande un centre d'attention.

4. Conclusion générale

Pour rappel, cette étude a pour objectif de proposer des pistes d'améliorations de réduction des distances de trajet à vide. Pour pouvoir réaliser cet objectif, nous avons suivi une démarche de processus d'analyse d'un système complexe. Ce processus est constitué de trois grandes étapes. La première consiste à décrire la problématique du transport à vide. Cette partie nous a permis de ressortir les différents leviers disponibles par une entreprise logistique. De ces leviers nous en avons ressortis quatre que nous analysons dans le chapitre trois. La deuxième étape a pour objectif de présenter les outils nécessaires à la réalisation des simulations dans le but de répondre aux différentes questions managériales. Et la troisième consiste à l'application du modèle pour répondre aux quatre questions managériales : l'influence de la géographie, l'influence de la coopération entre deux entreprises, l'approche financière du TAV et une adaptation du modèle mathématique pour pouvoir tenir compte d'un point de départ pour chaque véhicule.

Dans la question de l'influence de la géographie nous avons pu confirmer nos hypothèses de départ sur l'importance de ce facteur vis-à-vis du TAV. Nous voyons que les paramètres comme l'augmentation de la distance, l'augmentation du nombre de dépôts et l'augmentation de la demande, diminue les distances parcourues à vide. Dans le cas de l'augmentation des distances, nous avons aperçu également qu'il y a probablement un minimum local lors de déplacements vers de faibles distances. Cependant, nous avons été limités dans l'application des données par les ressources machine. Nous avons très rapidement été limités lorsque l'on a voulu augmenter d'une part les demandes et d'autre part, les distances à parcourir. Le modèle nous proposait des résultats qui n'étaient pas finis. Cette problématique provient très certainement de la procédure de calcul du programme. En effet, le programme calcule une solution après l'autre et conserve celle qui est la meilleure. Si le modèle ne parvient pas à terminer son analyse avant le temps imparti, nous n'aurons pas le résultat optimal. Pour résoudre ce problème, il serait intéressant d'appliquer au programme une méthode de calcul différente comme, par exemple, dans les applications de GPS.

Nous avons pu confirmer l'intérêt de la coopération dans le TAV. En effet pour chaque situation que nous avons décrite, les résultats nous montrent qu'il est toujours intéressant d'augmenter les demandes disponibles. Le seul cas où la coopération n'améliore

pas les distances parcourues à vide se produit les entreprises sont trop éloignées l'une de l'autre. Il n'y a donc pas d'interaction possible. Cependant, on ne traite que la partie de coopération liée aux retours à vide. Il existe d'autres facteurs qui doivent être interprétés pour étudier la coopération.

Nous avons pu proposer un modèle d'optimisation des bénéfices qui nous montre qu'il y a un point pivot pour la marge lorsque les distances deviennent trop petites. Il faut toutefois rester prudent avec les valeurs présentées. En effet, nous avons choisi de simplifier la quantité des paramètres disponibles dans le modèle. Ce modèle mathématique peut servir de structure de base où il faut compléter les sources de coûts et de revenus. Il serait intéressant de réaliser une étude de cas pour pouvoir compléter ces coûts.

Lors de l'application du modèle avec lequel nous considérons les points de départ, nous avons pu constater que celui-ci pouvait proposer à des véhicules de réaliser des sauts d'un dépôt vers un autre sans pénaliser le trajet parcouru. Cet effet n'est pas désiré et crée des erreurs dans les résultats. Pour pouvoir éliminer ces sauts, nous proposerions d'imposer une analyse de la boucle qu'il parcourt en complétant les équations de conservation de flux déjà présentes dans le modèle.

Un deuxième point d'amélioration à apporter au modèle des points de départ est de lui imposer une pénalité lorsqu'un véhicule n'a pas réalisé une tournée suffisamment longue. De cette manière, le modèle limitera l'utilisation de nouveaux véhicules.

Sur l'ensemble des résultats que nous avons obtenus, nous retiendrons principalement que les aspects tels que l'augmentation des demandes, des dépôts et des distances favorisent l'optimisation des retours à vide.

Nous retiendrons également que du point de vue des retours à vide la coopération entre deux entreprises est toujours favorable.

Sur les modèles proposés dans cette étude, nous retiendrons que l'optimisation du bénéfice, en prenant en compte la possibilité de ne pas réaliser des demandes, possède un point pivot dans l'évolution du prix. Et que pour des faibles distances, il est nécessaire d'imposer un prix minimum pour continuer de réaliser un bénéfice.

Nous retiendrons également pour le modèle avec imposition des points de départ que nous ne pouvons pas donner de ligne de conduite quant aux décisions de positionnement des

points de départ. Ces décisions doivent faire partie d'une étude d'optimisation spécifique à chaque entreprise vis-à-vis de ses clients.

Dans une démarche d'amélioration du modèle mathématique, nous pourrions, en plus de résoudre les difficultés liées aux quantités de données et au saut des véhicules, ajouter des contraintes qui permettraient de proposer un modèle plus réaliste. Ces contraintes pourraient être l'application de demandes de quantité et non plus de livraisons. De cette manière nous pourrions imposer aux véhicules des capacités de livraisons. Nous pourrions ajouter des contraintes d'horaires de livraison et nous pourrions en outre ajouter des contraintes de remplissage des véhicules. Nous pouvons constater qu'il existe encore beaucoup d'autres possibilités d'améliorations du modèle car la question de transport à vide est très complexe.

5. Bibliographie

- [1] Larousse, Le petit Larousse illustré, Paris: Larousse, 2000.
- [2] «SPF Mobilité et Transports Belge,» 11 07 2020. [En ligne].
Available: <https://mobilit.belgium.be>.
- [3] D. L., «Qualité de l'air et transport de marchandises : les villes peuvent agir,» *Inrests*, vol. 4, p. 2, 2007.
- [4] D. Loïc, *Méthodologie pour optimiser le transport de marchandises en ville : application aux villes moyennes et dans le cadre de l'agglomération de la Rochelle.*, Paris: Ecole National Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [5] R. Jean-Paul, *The Geography of Transport Systems*, New York: Routledge, 2020.
- [6] *Logistique urbaine - l'optimisation de la circulation des biens et services en ville*, 2002.
- [7] s. d. l. c. a. e. e. Santé publique, «Climat.be,» Service public fédéral, 2019. [En ligne]. Available: <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>. [Accès le 14 07 2020].
- [8] B. Francis, «Innovation manageriale - La coopétition,» [En ligne]. Available: <https://www.innovationmanageriale.com/agilite/coopetition-ou-lart-de-collaborer-avec-ses-concurrents/>.
- [9] «Faq Logistique,» [En ligne]. Available: <https://www.faq-logistique.com/Couts-transport-routier.htm>. [Accès le 03 2020].

- [10] H. P. e. K. M. Pollijn L., «Chiffres clés de la mobilité 2018,» Service public fédéral Mabilité et Transports, Bruxelles, 2019.
- [11] T. J.-S. & H. Thomas, Écrivain, *Réduction des retours à vide*. [Performance]. UCLouvain & Wabco.
- [12] G. A., «Optimisation de tournées de camions complets dans le secteurs des traveaux public,» Ecole des Mines de Nantes, Nantes, 2016.
- [13] R. L., Optimization in operation research, p. 30.

6. Annexes

Annexe 1- Code informatique de mise en œuvre des modèles d'optimisation des transports à vide

! Simplified basic model
! Heuristique

model Basic_Model
uses "mmxprs", "mmsheet";

! Beginning of the model (the model name can be any string)
! Gain access to the Xpress-Optimizer solver

setparam("XPRS_VERBOSE",true)

! Enable/disable message printing by the optimizer

setparam("XPRS_MAXTIME",60)

! The maximum time in seconds that the optimizer will run before it terminates

Data_XLS:= "2021-01-02-All program.xlsx"

Data_to_XLS:= "Tests results.xlsx"

!*****!

!! First indices and sets

!*****!

declarations

NA: integer;

! Nbr of loading points

NB: integer;

! Nbr of unloading points

NV: integer;

! Nbr of available vehicle

Number_Trips_i:integer;

! Total number of different trips

Number_Yba_i:integer;

! Total number of different back trips

Distance_a_b_String: string;

! Distance a to b table information

```

Trips_a_b_String: string;           ! Trips table information
! Point de départ chauffeur
Distance_d_a_String: string;       ! Distance d to a table information
Distance_b_d_String: string;       ! Distance b to d table information

```

end-declarations

```

!*****!
! First initialization Data from Excel
!*****!

```

initializations from "mmsheet.excel:noindex;" + Data_XLS ! Go search the excel sheet (noindex : means you can't edit)

```

NA as "[Data$C5]"                 ! Nbr of loading points (value from Excel file)
NB as "[Data$C6]"                 ! Nbr of unloading points (value from Excel file)
NV as "[Data$C7]"                 ! Nbr of available vehicles (value from Excel file)
Distance_a_b_String as "[Data$C14]" ! Distance a to b table information
Trips_a_b_String as "[Data$C15]"  ! Trips table information
! Point de départ chauffeur
Distance_d_a_String as "[Data$C16]" ! Distance d to a table information
Distance_b_d_String as "[Data$C17]" ! Distance b to d table information

```

end-initializations

```

!*****!
!! Second indices and sets
!*****!

```

declarations

SA =1..NA;
SB =1..NB;
SV =1..NV;

! Set of loading points
! Set of unloading points
! Set of available vehicles

!*****!

!! Settings

!*****!

Distance_a_b: array(SA,SB) of integer;
Trips_a_b: array(SA,SB) of integer;
Time_Load: real;
Time_Unload: real;
Speed: integer;
Time_Max: integer;
Load_Max: integer;

! The distance between A & B in km
! The number of trips required from A to B
! Loading time in hours
! Unloading time in hours
! The average speed of transport in km/h
! Maximum driving time in hours
! Maximum loads for one vehicle

!Print in excel

TotalNOI: integer;
TotalTrips: integer;
SNumber_Trips_Default =1..100;
NOI_Sol: array(range,1..6) of real;
StartPoint: array(range,1..8) of real;
TotalDistSolNOI: real;
TotalDistSol: real;
QtyTrajetAVide: integer;
DistTotalAVide: real;
NbrVehiculeUtilise: integer;
QtyTravel: array(SV) of integer;
QtyTravelRetour: array(SV) of integer;
DistTotalVehicul: array(SV) of real;

! Number of Noi

DistTotalVideVehicul: array(SV) of real;
Vehicule_Sol: array(range,1..160) of real;
!Print in excel Optimisation du bénéfice
Cost_Hor_km: real;
Turnover: real;
Margin: real;
CostNoi: real;

! Optimisation du bénéfice

Price: real;
Price_Min: real;
Cost_Fix: real;
Cost_Hor: real;
Cost_Fuel: real;
Cost_NOI: real;

! Point de départ chauffeur

Distance_d_a:array(SA,SV) of integer;

Distance_b_d:array(SB,SV) of integer;

Min_Distance_Basic_1:linctr;

Min_Distance_Vehicle_2:linctr;

! Point de départ chauffeur

Min_Distance_Vehicle_3:linctr;

! Optimisation du bénéfice

Max_Benefice_Vehicle_1:linctr;

!

Trips_i: array(range,1..4) of integer;

Sol_Yba_i: array(range,1..4) of integer;

Start_Trips_i: array(range,SA) of integer;

Arrival_Trips_i: array(range,SB) of integer;

Start_Yba_i: array(range,SB) of integer;

! Tariff rate for transport per km

! Minimum transport price

! Fixed cost

! Hourly driver's cost

! Consumption cost per km

! Cost of customer loss due to no fulfillment

! The distance between D & A in km

! The distance between B & D in km

! Goal of the model Basic 1

! Goal of the model Vehicle 2

! Goal of the model Vehicle 3

! Goal of the model Benefice 1

! Trips A to B : Tripsi is a structure to pass data from this model to the next

! Trips B to A : Solybai is a structure to pass data from this model to the next

! Start point for trips A to B

! Arrival point for trips A to B

! Start point for trips B to A

Arrival_Yba_i: array(range,SA) of integer; ! Arrival point for trips B to A

!*****!

!! Variables

!*****!

yba:array(SB,SA) of mpvar; ! The number of decided trips B to A (return trips)
vv:array(SV) of mpvar; ! =1 if the vehicle in used, =0 otherwise

end-declarations

!*****!

! Second initialization Data from Excel

!*****!

initializations from "mmsheet.excel:noindex;" + Data_XLS ! Go search the excel sheet (noindex : means you can't edit)

Time_Load as "[Data\$C8]" ! Loading time in hours (value from Excel file)
Time_Unload as "[Data\$C9]" ! Unloading time in hours (value from Excel file)
Speed as "[Data\$C10]" ! The average speed of transport in km/h (value from Excel file)
Time_Max as "[Data\$C11]" ! Maximum driving time in hours (value from Excel file)
Load_Max as "[Data\$C12]" ! Maximum loads for one vehicle

Distance_a_b as "["+Distance_a_b_String+]" ! The distance between A & B in km (value from Excel file)
Trips_a_b as "["+Trips_a_b_String+]" ! The number of trips required from A to B (value from Excel file)
! Optimisation du bénéfice
Price as "[data\$C19]" ! Tariff rate for transport per km
Price_Min as "[data\$C20]" ! Minimum transport price
Cost_Fix as "[data\$C21]" ! Fixed cost
Cost_Hor as "[data\$C22]" ! Hourly driver's cost

```
Cost_Fuel as "[data$C23]"
Cost_NOI as "[data$C24]"
! Point de départ chauffeur
Distance_d_a as "["+Distance_d_a_String+"]"
Distance_b_d as "["+Distance_b_d_String+"]"
```

```
! Consumption cost per km
! Cost of customer loss due to no fulfillment

! The distance between D & A in km (value from Excel file)
! The distance between B & D in km (value from Excel file)
```

end-initializations

```
writeln("Basic data")
writeln("NA:",NA)
writeln("NB:",NB)
writeln("NV:",NV)
writeln("Time_Load:",Time_Load)
writeln("Time_Unload:",Time_Unload)
writeln("Speed:",Speed)
writeln("Time_Max:",Time_Max)
writeln("Load_Max:",Load_Max)
writeln("NB_String:",Distance_a_b_String)
writeln("NB_String:",Trips_a_b_String)
! Optimisation du bénéfice
writeln("Price:",Price)
writeln("Price_Min:",Price_Min)
writeln("Cost_Fix:",Cost_Fix)
writeln("Cost_Hor:",Cost_Hor)
writeln("Cost_Fuel:",Cost_Fuel)
writeln("Cost_NOI:",Cost_NOI)
! Point de départ chauffeur
writeln("NB_String:",Distance_d_a_String)
writeln("NB_String:",Distance_b_d_String)
```

! Print stats of the problem

!*****!

procedure Print_Statuts_Of_The_Problem

 writeln("Print_Statuts_Of_The_Problem")

write("Problem solved! ")

! Write on the dialog box

case getprobstat of

! Write the status of a problem

 XPRS_OPT: writeln(">>> optimal");

! Statut Optimal

 XPRS_INF: writeln(">>> infeasible");

! Statut Infeasible

 XPRS_UNB: writeln(">>> unbounded");

! Statut Unbounded

 XPRS_UNF: writeln(">>> unfinished");

! Statut Unfinished

else

 writeln ("unexpected problem status");

! Error unexpected

end-case

end-procedure

! Print Solution Basic 1 & Pass data from model 1 to model 2

!*****!

procedure Print_Solution_Basic_1

 writeln("Print_Solution_Basic_1")

 writeln("Basic model 1")

 writeln("The minimum distance : ",getobjval)

! Write the goal value

 forall(a in SA, b in SB) Solution_yba(b,a) := round(getsol(yba(b,a)));

! Recovers in the Solution_yba variable the solution of return trips

 writeln("Printing the basic model 1 Trips :")

```

i:=0;
! Local variable for increment
forall(a in SA, b in SB | Trips_a_b(a,b)>0.001) do
! For all Trips_a_b that exist from point a to b (bigger than 0)
i:=i+1;
! Increment the variable

! Print: travel n° || loading point || unloading point || Nbr of trips || the distance from a to b
writeln(i, " || ",a," > ",b," || ",Trips_a_b(a,b)," | ",Distance_a_b(a,b));
Trips_i(i,1):=a;
! Loading points
Trips_i(i,2):=b;
! Unloading points
Trips_i(i,3):=Trips_a_b(a,b);
! Number of trips
Trips_i(i,4):=Distance_a_b(a,b);
! Distance between a and b
Start_Trips_i(i,a):=1;
! For trip i we have the start point
Arrival_Trips_i(i,b):=1;
! For trip i we have the arrival point
end-do
Number_Trips_i:=i;
! Total number of different trips
writeln("Printing the basic model 1 yba :")
j:=0;
! Local variable for increment
forall(a in SA, b in SB | Solution_yba(b,a)>0.001) do
! For all Solution_yba that exist from point b to a (bigger than 0)
j:=j+1;
! Increment the variable

! Print: travel n° || unloading point || loading point || Nbr of trips || the distance from a to b
writeln(j, " || ",b," > ",a," || ",Solution_yba(b,a)," | ",Distance_a_b(a,b));
Sol_Yba_i(j,1):=b;
! Unloading points
Sol_Yba_i(j,2):=a;
! Loading points

```

```

        Sol_Yba_i(j,3):=Solution_yba(b,a);
        Sol_Yba_i(j,4):=Distance_a_b(a,b);
        Start_Yba_i(j,b):=1;
        Arrival_Yba_i(j,a):=1;

```

```

! Number of back trips
! Distance between b and a
! For trip j we have the start point

```

```

! For trip j we have the arrival point

```

```

end-do

```

```

Number_Yba_i:=j;

```

```

! Total number of different back trips

```

```

end-procedure

```

```

! Basic model 1

```

```

!*****!

```

```

procedure Basic_Model_1

```

```

    writeln("Basic_Model_1")

```

```

!*****!

```

```

!! Model

```

```

!*****!

```

```

! Goal minimize total distance

```

```

Min_Distance_Basic_1 := sum(a in SA, b in SB) Distance_a_b(a,b)*Trips_a_b(a,b) +
sum(b in SB, a in SA) Distance_a_b(a,b)*yba(b,a)

```

```

!*****!

```

```

!! s.t.

```

```

!*****!

```

```

forall(a in SA) sum(b in SB) yba(b,a) = sum(b in SB) Trips_a_b(a,b)    ! Flow conservation To and From loading points
forall(b in SB) sum(a in SA) yba(b,a) = sum(a in SA) Trips_a_b(a,b)    ! Flow conservation To and From unloading points
forall(a in SA, b in SB) yba(b,a) is_integer                          ! yba belongs to the integers

minimize(Min_Distance_Basic_1)                                        ! Minimize Min_Distance_Basic_1 parameter

Print_Statuts_Of_The_Problem                                        ! Call the Print_Statuts_Of_The_Problem procedure
Print_Solution_Basic_1                                           ! Call the Print_Solution_Basic_1 procedure

```

end-procedure

```

!_____!
! Modèle prof
! Basic model 2
!*****!

```

```

procedure Vehicle_Model_2(Number_Trips:integer, Number_Yba:integer, Trips_Model_1:array(range,1..4) of integer,
Sol_Yba_Model_1:array(range,1..4) of integer, Start_Trips_Model_1:array(range,SA) of integer, Arrival_Trips_Model_1:array(range,SB) of
integer, Start_Yba_Model_1:array(range,SB) of integer, Arrival_Yba_Model_1:array(range,SA) of integer)

```

```

    writeln("Vehicle_Model_2")

```

```

!*****!
!! Local indices and sets model 2
!*****!

```

```

SNumber_Trips:=1..Number_Trips;                                ! Set of trips
SNumber_Yba:=1..Number_Yba;                                    ! Set of back trips
forall(i in 1..Number_Trips) do
    DistTi(i):=Trips_Model_1(i,4);

```

```

    TripsTi(i):=Trips_Model_1(i,3);
    forall(a in SA) DepTi(i,a):=Start_Trips_Model_1(i,a);
    forall(b in SB) ArrTi(i,b):=Arrival_Trips_Model_1(i,b);
end-do
forall(i in 1..Number_Yba) do
    DistYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,4);
    TripsYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,3);
    forall(b in SB) DepYi(i,b):=Start_Yba_Model_1(i,b);
    forall(a in SA) ArrYi(i,a):=Arrival_Yba_Model_1(i,a);
end-do

```

```

!*****!
!! Local Variables model 2
!*****!

```

declarations

xiv:array(SNumber_Trips,SV) of mpvar;

! The number of decided trips A to B for vehicle v (go trips)

yiv:array(SNumber_Yba,SV) of mpvar;

! The number of decided trips B to A for vehicle v (return trips)

! Non réalisation d'un trajet

noi:array(SNumber_Trips) of mpvar;

Tac=1;

Penalty_noi:array(SNumber_Trips) of real;

DistNonRealise : array (SNumber_Trips) of real;

SVehicule_Affichage = 1..160;

end-declarations

```

!*****!

```

!! Model 2

!*****!

! OBJ : min total distance

Min_Distance_Vehicle_2 :=

sum(v in SV) Speed*Tac*vv(v) +

sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*xiv(i,v) +

sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*yiv(i,v) +

sum(i in SNumber_Trips) (2*DistTi(i)+Tac*Speed+1)*noi(i)

!*****!

!! s.t. model 2

!*****!

! Demand Satisfaction

forall(i in SNumber_Trips) sum(v in SV) xiv(i,v) = TripsTi(i) - noi(i)

! Truck Flow Conservation : From and To Start Points a

forall(a in SA, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) DepTi(i,a)*xiv(i,v) = sum(i in SNumber_Yba) ArrYi(i,a)*yiv(i,v)

! Truck Flow conservation : To and From Arriving Points b

forall(b in SB, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ArrTi(i,b)*xiv(i,v) = sum(i in SNumber_Yba) DepYi(i,b)*yiv(i,v)

! Maximum Driving Time

forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ((DistTi(i)/Speed)+Time_Load) * xiv(i,v) +

sum(i in SNumber_Yba) ((DistYi(i)/Speed)+Time_Unload) * yiv(i,v) <= Time_Max

! To have first vehicules selected first

forall(v in 2..NV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v-1) >= sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v)

! vv = 1 if v used

forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v) <= Load_Max*vv(v)

```
forall(i in SNumber_Trips, v in SV) xiv(i,v) is_integer
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) yiv(i,v) is_integer
forall(v in SV) vv(v) is_binary
```

```
minimize(Min_Distance_Vehicle_2)
```

```
Print_Statuts_Of_The_Problem
```

```
forall(i in SNumber_Trips_Default) do
```

```
    NOI_Sol(i,1) := 0;
```

```
    NOI_Sol(i,2) := 0;
```

```
    NOI_Sol(i,3) := 0;
```

```
    NOI_Sol(i,4) := 0;
```

```
    NOI_Sol(i,5) := 0;
```

```
    NOI_Sol(i,6) := 0;
```

```
end-do
```

```
forall(i in SNumber_Trips_Default, j in SVehicule_Affichage) do
```

```
    Vehicule_Sol(i,j) := 0;
```

```
end-do
```

```
writeln("Optimal value: ",getobjval)
```

```
forall(i in SNumber_Trips) Solnoi(i) := round(getsol(noi(i)));
```

```
writeln("Printing noi ...")
```

```
writeln("---noi---")
```

```
forall(i in SNumber_Trips | Solnoi(i)>0.001) do
```

```
    Penalty_noi(i):=(2*DistTi(i)+Tac*Speed+1)*Solnoi(i);
```

```

DistNonRealise (i) := DistTi(i)*Solnoi(i);
writeln(i," || ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," || ",Solnoi(i)," || penalite ",Penality_noi(i)," || dist du trajet
",DistNonRealise(i));

NOI_Sol(i,1) := i;
NOI_Sol(i,2) := Trips_Model_1(i,1);
NOI_Sol(i,3) := Trips_Model_1(i,2);
NOI_Sol(i,4) := Solnoi(i);
NOI_Sol(i,5) := DistNonRealise(i);
NOI_Sol(i,6) := Penality_noi(i);

end-do

TotalNOI := sum(i in SNumber_Trips) Solnoi(i)
TotalTrips := sum(a in SA, b in SB) Trips_a_b(a,b)
writeln("TotalNOI : ",TotalNOI," / ",TotalTrips)

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) Solxiv(i,v) := round(getsol(xiv(i,v)));
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v) := round(getsol(yiv(i,v)));

writeln("Printing xiv and yiv...")
writeln("---xxx---")

!Trajet_Total_par_véhicule=0;
TrajetVide_Par_vehicule :=0 ;
QtyTrajetRetour :=0 ;
NbrVehiculeUtilise :=0 ;
QtyTrajetAller :=0 ;
TrajtPlein_Par_vehicule := 0;
forall(v in SV | (sum(i in SNumber_Trips) Solxiv(i,v))>0.001) do

```

```

writeln("=== v=",v," ===")
forall(i in SNumber_Trips | Solxiv(i,v)>0.001) do
  writeln(" x : ",i," || ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," || ",Solxiv(i,v));

  TrajtPlein_Par_vehicule := TrajtPlein_Par_vehicule + DistTi(i)*Solxiv(i,v)
  QtyTrajetAller := QtyTrajetAller + Solxiv(i,v);

  v0 := v;
  v1 := 8*(v0-1)+1;
  v2 := 8*(v0-1)+2;
  v3 := 8*(v0-1)+3;
  v4 := 8*(v0-1)+4;
  Vehicule_Sol(i,v1) := i;
  Vehicule_Sol(i,v2) := Trips_Model_1(i,1);
  Vehicule_Sol(i,v3) := Trips_Model_1(i,2);
  Vehicule_Sol(i,v4) := Solxiv(i,v);

end-do

forall(i in SNumber_Yba | Solyiv(i,v)>0.001) do
  writeln(" y : ",i," || ",Sol_Yba_Model_1(i,1)," > ",Sol_Yba_Model_1(i,2)," || ",Solyiv(i,v));

  TrajetVide_Par_vehicule := TrajetVide_Par_vehicule + DistYi(i)*Solyiv(i,v);
  QtyTrajetRetour := QtyTrajetRetour + Solyiv(i,v);

  v5 := 8*(v0-1)+5;
  v6 := 8*(v0-1)+6;
  v7 := 8*(v0-1)+7;
  v8 := 8*(v0-1)+8;
  Vehicule_Sol(i,v5) := i;

```

```
Vehicule_Sol(i,v6) := Sol_Yba_Model_1(i,1);  
Vehicule_Sol(i,v7) := Sol_Yba_Model_1(i,2);  
Vehicule_Sol(i,v8) := Solyiv(i,v);
```

```
end-do
```

```
QtyTravel(v) := QtyTrajetAller;  
QtyTravelRetour(v) := QtyTrajetRetour;  
DistTotalVideVehicul(v) := TrajetVide_Par_vehicule;  
DistTotalVehicul (v) := DistTotalVideVehicul(v) + TrajtPlein_Par_vehicule;
```

```
writeln("DistTotalVehicul ",v," - ",DistTotalVehicul (v));  
writeln("DistTotalVideVehicul ",v," - ",DistTotalVideVehicul (v));
```

```
writeln("Distance trajet a vide pour le vehicule ",v," : ",TrajetVide_Par_vehicule);  
writeln("Qty trajet a vide pour le vehicule ",v," : ",QtyTrajetRetour," + Trajet aller + trajet retour");  
QtyTrajetAller :=0;  
QtyTrajetRetour:=0;  
TrajetVide_Par_vehicule:=0;  
TrajtPlein_Par_vehicule:=0;
```

```
NbrVehiculeUtilise := NbrVehiculeUtilise+1;
```

```
writeln("temps trajet total du vehicule:",DistTotalVehicul(v)/Speed)
```

```
end-do
```

```
writeln("Optimal value: ",getobjval)  
TotalDistSol := sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Solxiv(i,v) + sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v);  
TotalDistSolNOI := TotalDistSol + sum(i in SNumber_Trips) 2*DistTi(i)*Solnoi(i);
```

```

QtyTrajetAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v);
DistTotalAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v);
writeln("DIST TOTALE : ",TotalDistSol);
writeln("Qty trajet a vide : ",QtyTrajetAVide);
writeln("Dist Total trajet a vide : ", DistTotalAVide);

writeln("Dist Total trajet a vide : ", sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v));

```

end-procedure

! Point de départ chauffeur
! Basic model 3

!*****!

```

procedure Vehicle_Model_3(Number_Trips:integer, Number_Yba:integer, Trips_Model_1:array(range,1..4) of integer,
Sol_Yba_Model_1:array(range,1..4) of integer, Start_Trips_Model_1:array(range,SA) of integer, Arrival_Trips_Model_1:array(range,SB) of
integer, Start_Yba_Model_1:array(range,SB) of integer, Arrival_Yba_Model_1:array(range,SA) of integer)

```

writeln("Vehicle_Model_3")

!*****!

!! Local indices and sets model 3

!*****!

```

SNumber_Trips:=1..Number_Trips;           ! Set of trips
SNumber_Yba:=1..Number_Yba;              ! Set of back trips
forall(i in 1..Number_Trips) do
    DistTi(i):=Trips_Model_1(i,4);
    TripsTi(i):=Trips_Model_1(i,3);

```

```

    forall(a in SA) DepTi(i,a):=Start_Trips_Model_1(i,a);
    forall(b in SB) ArrTi(i,b):=Arrival_Trips_Model_1(i,b);
end-do
forall(i in 1..Number_Yba) do
    DistYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,4);
    TripsYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,3);
    forall(b in SB) DepYi(i,b):=Start_Yba_Model_1(i,b);
    forall(a in SA) ArrYi(i,a):=Arrival_Yba_Model_1(i,a);
end-do

```

```

forall(a in SA, i in 1..Number_Trips,v in SV)do
    if(Trips_Model_1(i,1)=a)then
        Distance_d_a_Ti(i,v):=Distance_d_a(a,v);
    end-if
end-do
forall(b in SB, i in 1..Number_Trips,v in SV)do
    if(Trips_Model_1(i,2)=b)then
        Distance_b_d_Ti(i,v):=Distance_b_d(b,v);
    end-if
end-do

```

```

!*****!
!! Local Variables model 3
!*****!

```

```

declarations
    xiv:array(SNumber_Trips,SV) of mpvar;           ! The number of decided trips A to B for vehicle v (go trips)
    yiv:array(SNumber_Yba,SV) of mpvar;           ! The number of decided trips B to A for vehicle v (return trips)

```

! Non réalisation d'un trajet
noi:array(SNumber_Trips) of mpvar;

Tac=20;

! Point de départ chauffeur

wda:array(SNumber_Trips,SV) of mpvar;

zbd:array(SNumber_Yba,SV) of mpvar;

! =1 if vehicle v starts by a and come from d, =0 otherwise

! =1 if vehicle v finish by b and go to d, =0 otherwise

Penalty_noi:array(SNumber_Trips) of real;

DistNonRealise : array (SNumber_Trips) of real;

SVehicule_Affichage = 1..160;

end-declarations

!*****!

!! Model 3

!*****!

! OBJ : min total distance

Min_Distance_Vehicle_3 :=

sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*xiv(i,v) +

sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*yiv(i,v) +

sum(i in SNumber_Trips) (2*DistTi(i)+Tac*Speed+1)*noi(i) +

sum(a in SA, v in SV) Distance_d_a(a,v)*wda(a,v) +

sum(b in SB, v in SV) Distance_b_d(b,v)*zbd(b,v)

!*****!

!! s.t. model 3

!*****!

! Demand Satisfaction

forall(i in SNumber_Trips) sum(v in SV) xiv(i,v) + noi(i) = TripsTi(i)

! Truck Flow Conservation : From and To Start Points a

forall(a in SA, b in SB, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) DepTi(i,a)*xiv(i,v) =
sum(j in SNumber_Yba) ArrYi(j,a)*yiv(j,v) +
sum(i in SNumber_Trips) DepTi(i,a)*wda(i,v)

! Truck Flow conservation : To and From Arriving Points b

forall(a in SA, b in SB, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ArrTi(i,b)*xiv(i,v) =
sum(j in SNumber_Yba) DepYi(j,b)*yiv(j,v) +
sum(i in SNumber_Trips) ArrTi(i,b)*zbd(i,v)

! Maximum Driving Time

forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ((DistTi(i)/Speed)+Time_Load) * xiv(i,v) +
sum(j in SNumber_Yba) ((DistYi(j)/Speed)+Time_Unload) *yiv(j,v) +
sum(i in SNumber_Trips) (Distance_d_a_Ti(i,v)/Speed) *wda(i,v) +
sum(i in SNumber_Trips) (Distance_b_d_Ti(i,v)/Speed) *zbd(i,v) <= Time_Max

!!! To have first vehicules selected first

! forall(v in 2..NV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v-1) >= sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v) ! supressed for this model

! vv = 1 if v used

forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v) <= Load_Max*vv(v)

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) xiv(i,v) is_integer

forall(i in SNumber_Yba, v in SV) yiv(i,v) is_integer

forall(v in SV) vv(v) is_binary

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) noi(i) is_integer

```

forall(v in SV) sum(a in SA,i in SNumber_Trips) DepTi(i,a)*wda(i,v) = vv(v)

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) wda(i,v) is_integer

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) zbd(i,v) is_integer

forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) wda(i,v) = sum(i in SNumber_Trips) zbd(i,v)

minimize(Min_Distance_Vehicle_3)

```

Print_Statuts_Of_The_Problem

```

forall(i in SNumber_Trips_Default) do
    NOI_Sol(i,1) := 0;
    NOI_Sol(i,2) := 0;
    NOI_Sol(i,3) := 0;
    NOI_Sol(i,4) := 0;
    NOI_Sol(i,5) := 0;
    NOI_Sol(i,6) := 0;
end-do

forall(v in SV) do
    StartPoint(v,1) := 0;
    StartPoint(v,2) := 0;
    StartPoint(v,3) := 0;
    StartPoint(v,4) := 0;
    StartPoint(v,5) := 0;
    StartPoint(v,6) := 0;
    StartPoint(v,7) := 0;
    StartPoint(v,8) := 0;

```

```

end-do

forall(i in SNumber_Trips_Default, j in SVehicle_Affichage) do
    Vehicule_Sol(i,j) := 0;
end-do

writeln("Optimal value: ",getobjval)

forall(i in SNumber_Trips) Solnoi(i) := round(getsol(noi(i)));
writeln("Printing noi ...")
writeln("---noi---")
forall(i in SNumber_Trips | Solnoi(i)>0.001) do

    Penalty_noi(i):=(2*DistTi(i)+Tac*Speed+1)*Solnoi(i);
    DistNonRealise (i) := DistTi(i)*Solnoi(i);
    writeln(i, " | ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," | ",Solnoi(i)," | penalite ",Penalty_noi(i)," | dist du trajet
",DistNonRealise(i));

    NOI_Sol(i,1) := i;
    NOI_Sol(i,2) := Trips_Model_1(i,1);
    NOI_Sol(i,3) := Trips_Model_1(i,2);
    NOI_Sol(i,4) := Solnoi(i);
    NOI_Sol(i,5) := DistNonRealise(i);
    NOI_Sol(i,6) := Penalty_noi(i);

end-do

TotalNOI := sum(i in SNumber_Trips) Solnoi(i)
TotalTrips := sum(a in SA, b in SB) Trips_a_b(a,b)
writeln("TotalNOI : ",TotalNOI," / ",TotalTrips)

```

```

forall(i in SNumber_Trips, v in SV | getsol(wda(i,v))>0.001) do
    writeln("trajet:",i," | vehic:",v," | wda:",getsol(wda(i,v))," | nbr de point de départ:",sum(a in SA) DepTi(i,a)*getsol(wda(i,v)))
end-do

forall(i in SNumber_Trips, v in SV | getsol(wda(i,v))>0.001) do
    writeln("trajet:",i," | vehic:",v," | wda:",getsol(wda(i,v))," | dist d a:",Distance_d_a_Ti (i,v)*getsol(wda(i,v)))
    StartPoint(v,1) := i;
    StartPoint(v,2) := v;
    StartPoint(v,3) := Distance_d_a_Ti (i,v)*getsol(wda(i,v));
    StartPoint(v,4) := Trips_Model_1(i,1);
end-do
forall(i in SNumber_Trips, v in SV | getsol(zbd(i,v))>0.001) do
    writeln("trajet:",i," | vehic:",v," | zbd:",getsol(zbd(i,v))," | dist b d:",Distance_b_d_Ti (i,v)*getsol(zbd(i,v)))
    StartPoint(v,5) := i;
    StartPoint(v,6) := v;
    StartPoint(v,7) := Distance_b_d_Ti (i,v)*getsol(zbd(i,v));
    StartPoint(v,8) := Trips_Model_1(i,2)
end-do

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) Solxiv(i,v) := round(getsol(xiv(i,v)));
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v) := round(getsol(yiv(i,v)));
forall(i in SNumber_Trips, v in SV) Solwda(i,v) := round(getsol(wda(i,v)));
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) Solzbd(i,v) := round(getsol(zbd(i,v)));

writeln("Printing xiv and yiv...")
writeln("---xxx---")

TrajetVide_Par_vehicule :=0 ;
QtyTrajetRetour :=0 ;

```

```

NbrVehiculeUtilise :=0 ;
QtyTrajetAller :=0 ;
TrajtPlein_Par_vehicule := 0;
forall(v in SV | (sum(i in SNumber_Trips) Solxiv(i,v))>0.001) do
  writeln("=== v=",v," ===")
  forall(i in SNumber_Trips | Solxiv(i,v)>0.001) do
    writeln(" x : ",i," || ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," || ",Solxiv(i,v));

    TrajtPlein_Par_vehicule := TrajtPlein_Par_vehicule + DistTi(i)*Solxiv(i,v)
    QtyTrajetAller := QtyTrajetAller + Solxiv(i,v);

    v0 := v;
    v1 := 8*(v0-1)+1;
    v2 := 8*(v0-1)+2;
    v3 := 8*(v0-1)+3;
    v4 := 8*(v0-1)+4;
    Vehicule_Sol(i,v1) := i;
    Vehicule_Sol(i,v2) := Trips_Model_1(i,1);
    Vehicule_Sol(i,v3) := Trips_Model_1(i,2);
    Vehicule_Sol(i,v4) := Solxiv(i,v);

  end-do

  forall(i in SNumber_Yba | Solyiv(i,v)>0.001) do
    writeln(" y : ",i," || ",Sol_Yba_Model_1(i,1)," > ",Sol_Yba_Model_1(i,2)," || ",Solyiv(i,v));

    TrajetVide_Par_vehicule := TrajetVide_Par_vehicule + DistYi(i)*Solyiv(i,v);
    QtyTrajetRetour := QtyTrajetRetour + Solyiv(i,v);

    v5 := 8*(v0-1)+5;
  end-do
end-do

```

```

v6 := 8*(v0-1)+6;
v7 := 8*(v0-1)+7;
v8 := 8*(v0-1)+8;
Vehicule_Sol(i,v5) := i;
Vehicule_Sol(i,v6) := Sol_Yba_Model_1(i,1);
Vehicule_Sol(i,v7) := Sol_Yba_Model_1(i,2);
Vehicule_Sol(i,v8) := Solyiv(i,v);

```

end-do

```

QtyTravel(v) := QtyTrajetAller;
QtyTravelRetour(v) := QtyTrajetRetour;
DistTotalVideVehicul(v) := TrajetVide_Par_vehicule + sum(i in SNumber_Trips)Distance_d_a_Ti (i,v)*Solwda(i,v) + sum(i in
SNumber_Trips)Distance_b_d_Ti (i,v)*Solzbd(i,v);
DistTotalVehicul (v) := DistTotalVideVehicul(v) + TrajtPlein_Par_vehicule;

writeln("DistTotalVehicul ",v," - ",DistTotalVehicul (v));
writeln("DistTotalVideVehicul ",v," - ",DistTotalVideVehicul (v));

writeln("Distance trajet a vide pour le vehicule ",v," : ",TrajetVide_Par_vehicule+sum(i in SNumber_Trips)Distance_b_d_Ti
(i,v)*Solzbd(i,v));
writeln("Qty trajet a vide pour le vehicule ",v," : ",QtyTrajetRetour," + Trajet aller + trajet retour");
QtyTrajetAller :=0;
QtyTrajetRetour:=0;
TrajetVide_Par_vehicule:=0;
TrajtPlein_Par_vehicule:=0;

NbrVehiculeUtilise := NbrVehiculeUtilise+1;

writeln("temps trajet total du vehicule:",DistTotalVehicul(v)/Speed)

```

end-do

writeln("Optimal value: ",getobjval)

TotalDistSol := sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Solxiv(i,v) + sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v) +
sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_d_a_Ti (i,v)*Solwda(i,v) + sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_b_d_Ti (i,v)*Solzbd(i,v);

TotalDistSolNOI := TotalDistSol + sum(i in SNumber_Trips) 2*DistTi(i)*Solnoi(i);

QtyTrajetAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v);

DistTotalAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v)+ sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_d_a_Ti
(i,v)*Solwda(i,v) + sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_b_d_Ti (i,v)*Solzbd(i,v);

writeln("DIST TOTALE : ",TotalDistSol);

writeln("Qty trajet a vide : ",QtyTrajetAVide);

writeln("Dist Total trajet a vide : ", DistTotalAVide);

writeln("Dist Total trajet a vide : ", sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v));

writeln("Dist Total trajet depart : ", sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_d_a_Ti (i,v)*Solwda(i,v));

writeln("Dist Total trajet retour : ", sum(i in SNumber_Trips, v in SV)Distance_b_d_Ti (i,v)*Solzbd(i,v));

end-procedure

! _____ !

! Optimisation du bénéfice

! Basic model 4

!*****!

procedure Vehicle_Model_4(Number_Trips:integer, Number_Yba:integer, Trips_Model_1:array(range,1..4) of integer,
Sol_Yba_Model_1:array(range,1..4) of integer, Start_Trips_Model_1:array(range,SA) of integer, Arrival_Trips_Model_1:array(range,SB) of
integer, Start_Yba_Model_1:array(range,SB) of integer, Arrival_Yba_Model_1:array(range,SA) of integer)

writeln("Vehicle_Model_2")

```

!*****!
!! Local indices and sets model 4
!*****!

```

```

SNumber_Trips:=1..Number_Trips;           ! Set of trips
SNumber_Yba:=1..Number_Yba;              ! Set of back trips
forall(i in 1..Number_Trips) do
    DistTi(i):=Trips_Model_1(i,4);
    TripsTi(i):=Trips_Model_1(i,3);
    forall(a in SA) DepTi(i,a):=Start_Trips_Model_1(i,a);
    forall(b in SB) ArrTi(i,b):=Arrival_Trips_Model_1(i,b);
end-do
forall(i in 1..Number_Yba) do
    DistYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,4);
    TripsYi(i):=Sol_Yba_Model_1(i,3);
    forall(b in SB) DepYi(i,b):=Start_Yba_Model_1(i,b);
    forall(a in SA) ArrYi(i,a):=Arrival_Yba_Model_1(i,a);
end-do

forall(i in SNumber_Trips | DistTi(i)*Price < Price_Min) do
writeln("i",i)
    Price_Flat_Rate(i):=0;
end-do
forall(i in 1..Number_Trips | DistTi(i)*Price > Price_Min) do
    Price_Flat_Rate(i):=1;
end-do
ii:=0;
forall(i in 1..Number_Trips) do
    ii:=ii+1;

```

```

        writeln(ii,"Price_Flat_Rate: ",Price_Flat_Rate(i));
    end-do
!*****!
!! Local Variables model 4
!*****!

    declarations
        xiv:array(SNumber_Trips,SV) of mpvar;                ! The number of decided trips A to B for vehicle v (go trips)

        yiv:array(SNumber_Yba,SV) of mpvar;                ! The number of decided trips B to A for vehicle v (return trips)
        ! Non réalisation d'un trajet
        noi:array(SNumber_Trips) of mpvar;
        Penalty_noi:array(SNumber_Trips) of real;
        DistNonRealise : array (SNumber_Trips) of real;
        Svehicule_Affichage = 1..160;
    end-declarations

!*****!
!! Model 4
!*****!

! OBJ : max benefice
Max_Benefice_Vehicle_1 :=
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Price*Price_Flat_Rate(i)*xiv(i,v) +
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) Price_Min*(1-Price_Flat_Rate(i))*xiv(i,v) -!Cost_Fix -      ! Fixed cost have no impact - Deleted
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) ( (DistTi(i)/Speed)+Time_Load )*Cost_Hor*xiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Yba, v in SV) ( (DistYi(i)/Speed)+Time_Unload )*Cost_Hor*yiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Cost_Fuel*xiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Cost_Fuel*yiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Trips) Cost_NOI*DistTi(i)*noi(i)

```

```

!*****!
!! s.t. model 4
!*****!

! Demand Satisfaction
forall(i in SNumber_Trips) sum(v in SV) xiv(i,v) = TripsTi(i) - noi(i)
! Truck Flow Conservation : From and To Start Points a
forall(a in SA, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) DepTi(i,a)*xiv(i,v) = sum(i in SNumber_Yba) ArrYi(i,a)*yiv(i,v)
! Truck Flow conservation : To and From Arriving Points b
forall(b in SB, v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ArrTi(i,b)*xiv(i,v) = sum(i in SNumber_Yba) DepYi(i,b)*yiv(i,v)

! Maximum Driving Time
forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) ( (DistTi(i)/Speed)+Time_Load ) *xiv(i,v) +
sum(i in SNumber_Yba) ( (DistYi(i)/Speed)+Time_Unload ) *yiv(i,v) <= Time_Max

! To have first vehicules selected first
forall(v in 2..NV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v-1) >= sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v)

! vv = 1 if v used
forall(v in SV) sum(i in SNumber_Trips) xiv(i,v) <= Load_Max*vv(v)

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) xiv(i,v) is_integer
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) yiv(i,v) is_integer
forall(v in SV) vv(v) is_binary
forall(i in SNumber_Trips, v in SV) noi(i) is_integer

maximize(Max_Benefice_Vehicle_1)

Print_Statuts_Of_The_Problem

```

```

forall(i in SNumber_Trips_Default) do
    NOI_Sol(i,1) := 0;
    NOI_Sol(i,2) := 0;
    NOI_Sol(i,3) := 0;
    NOI_Sol(i,4) := 0;
    NOI_Sol(i,5) := 0;
    NOI_Sol(i,6) := 0;
end-do
forall(i in SNumber_Trips_Default, j in SVehicle_Affichage) do
    Vehicule_Sol(i,j) := 0;
end-do

writeln("Optimal value: ",getobjval)

forall(i in SNumber_Trips) Solnoi(i) := round(getsol(noi(i)));
writeln("Printing noi ...")
writeln("---noi---")
forall(i in SNumber_Trips | Solnoi(i)>0.001) do

    Penalty_noi(i):=Cost_NOI*DistTi(i)*Solnoi(i);
    DistNonRealise (i) := DistTi(i)*Solnoi(i);
    writeln(i," || ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," || ",Solnoi(i)," || penalite ",Penalty_noi(i)," || dist du trajet
",DistNonRealise(i));

    NOI_Sol(i,1) := i;
    NOI_Sol(i,2) := Trips_Model_1(i,1);
    NOI_Sol(i,3) := Trips_Model_1(i,2);
    NOI_Sol(i,4) := Solnoi(i);
    NOI_Sol(i,5) := DistNonRealise(i);

```

```

        NOI_Sol(i,6) := Penalty_noi(i);

end-do

TotalNOI := sum(i in SNumber_Trips) Solnoi(i)
TotalTrips := sum(a in SA, b in SB) Trips_a_b(a,b)
writeln("TotalNOI : ",TotalNOI," / ",TotalTrips)

forall(i in SNumber_Trips, v in SV) Solxiv(i,v) := round(getsol(xiv(i,v)));
forall(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v) := round(getsol(yiv(i,v)));
writeln("Printing xiv and yiv...")
writeln("---xxx---")

TrajetVide_Par_vehicule :=0 ;
QtyTrajetRetour :=0 ;
NbrVehiculeUtilise :=0 ;
QtyTrajetAller :=0 ;
TrajtPlein_Par_vehicule := 0;
forall(v in SV | (sum(i in SNumber_Trips) Solxiv(i,v))>0.001) do
    writeln("=== v=",v," ===")
    forall(i in SNumber_Trips | Solxiv(i,v)>0.001) do
        writeln(" x : ",i," || ",Trips_Model_1(i,1)," > ",Trips_Model_1(i,2)," || ",Solxiv(i,v));

        !Trajet_Total_par_vehicule := Trajet_Total_par_vehicule
        TrajtPlein_Par_vehicule := TrajtPlein_Par_vehicule + DistTi(i)*Solxiv(i,v)
        QtyTrajetAller := QtyTrajetAller + Solxiv(i,v);

        v0 := v;
        v1 := 8*(v0-1)+1;
        v2 := 8*(v0-1)+2;
    end-do
end-do

```

```

v3 := 8*(v0-1)+3;
v4 := 8*(v0-1)+4;
Vehicule_Sol(i,v1) := i;
Vehicule_Sol(i,v2) := Trips_Model_1(i,1);
Vehicule_Sol(i,v3) := Trips_Model_1(i,2);
Vehicule_Sol(i,v4) := Solxiv(i,v);

end-do

forall(i in SNumber_Yba | Solyiv(i,v)>0.001) do
  writeln(" y : ",i," || ",Sol_Yba_Model_1(i,1)," > ",Sol_Yba_Model_1(i,2)," || ",Solyiv(i,v));

  TrajetVide_Par_vehicule := TrajetVide_Par_vehicule + DistYi(i)*Solyiv(i,v);
  QtyTrajetRetour := QtyTrajetRetour + Solyiv(i,v);

  v5 := 8*(v0-1)+5;
  v6 := 8*(v0-1)+6;
  v7 := 8*(v0-1)+7;
  v8 := 8*(v0-1)+8;
  Vehicule_Sol(i,v5) := i;
  Vehicule_Sol(i,v6) := Sol_Yba_Model_1(i,1);
  Vehicule_Sol(i,v7) := Sol_Yba_Model_1(i,2);
  Vehicule_Sol(i,v8) := Solyiv(i,v);

end-do

QtyTravel(v) := QtyTrajetAller;
QtyTravelRetour(v) := QtyTrajetRetour;
DistTotalVehicul(v) := TrajetVide_Par_vehicule + TrajtPlein_Par_vehicule
DistTotalVideVehicul(v) := TrajetVide_Par_vehicule;

```

```

writeln("Distance trajet à vide pour le vehicule ",v," : ",TrajetVide_Par_vehicule);
writeln("Qty trajet à vide pour le vehicule ",v," : ",QtyTrajetRetour);
QtyTrajetAller :=0;
QtyTrajetRetour:=0;
TrajetVide_Par_vehicule:=0;
TrajtPlein_Par_vehicule:=0;

```

```

NbrVehiculeUtilise := NbrVehiculeUtilise+1;

```

end-do

```

writeln("Optimal value: ",getobjval)
TotalDistSol := sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Solxiv(i,v) + sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v)
TotalDistSolNOI := TotalDistSol + sum(i in SNumber_Trips) 2*DistTi(i)*Solnoi(i)
QtyTrajetAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) Solyiv(i,v)
DistTotalAVide := sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Solyiv(i,v)
writeln("DIST TOTALE : ",TotalDistSol);
writeln("Qty trajet à vide : ",QtyTrajetAVide);
writeln("Dist Total trajet à vide : ", DistTotalAVide);

```

```

Turnover := sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Price*Price_Flat_Rate(i)*Solxiv(i,v) +
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) Price_Min*(1-Price_Flat_Rate(i))*Solxiv(i,v)
Margin := Turnover - sum(i in SNumber_Trips, v in SV) ( (DistTi(i)/Speed)+Time_Load )*Cost_Hor*Solxiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Yba, v in SV) ( (DistYi(i)/Speed)+Time_Unload )*Cost_Hor*Solyiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Trips, v in SV) DistTi(i)*Cost_Fuel*Solxiv(i,v) -
sum(i in SNumber_Yba, v in SV) DistYi(i)*Cost_Fuel*Solyiv(i,v);
CostNoi := sum(i in SNumber_Trips) Cost_NOI*DistTi(i)*Solnoi(i);

```

end-procedure

procedure Data_to_excel

Cost_Hor_km := Cost_Hor/Speed;

! Solution Data to Excel

initializations to "mmsheet.xlsx:noindex;" + Data_to_XLS

! Affichage général

NA as "[Basic_Results\$C6]";

NB as "[Basic_Results\$C7]";

TotalNOI as "[Basic_Results\$C8]";

TotalDistSolNOI as "[Basic_Results\$C9]";

TotalDistSol as "[Basic_Results\$C10]";

QtyTrajetAVide as "[Basic_Results\$C11]";

DistTotalAVide as "[Basic_Results\$C12]";

NbrVehiculeUtilise as "[Basic_Results\$C16]";

QtyTravel as "[Basic_Results\$C18:C37]";

QtyTravelRetour as "[Basic_Results\$C38:C57]";

DistTotalVehicul as "[Basic_Results\$C58:C77]";

DistTotalVideVehicul as "[Basic_Results\$C78:C97]";

! Affichage vehicule

Vehicule_Sol as "[Vehicule\$B5:FE105]";

! Affichage NOI

```
TotalNOI as "[NOI$B1]";  
TotalTrips as "[NOI$C1]";  
NOI_Sol as "[NOI$A3:F103]";  
Speed as "[NOI$I1]";  
Time_Max as "[NOI$I2]";  
Time_Load as "[NOI$I3]";  
Time_Unload as "[NOI$I4]";
```

```
! Point de départ et point de retour
```

```
StartPoint as "[Start_Point$B2:I22]";
```

```
! Optimisation du bénéfice
```

```
Price as "[Opt_Benef$C2]";  
Price_Min as "[Opt_Benef$C3]";  
Cost_Hor as "[Opt_Benef$C4]";  
Cost_Hor_km as "[Opt_Benef$C5]";  
Cost_Fuel as "[Opt_Benef$C6]";  
Cost_NOI as "[Opt_Benef$C8]";
```

```
Turnover as "[Opt_Benef$C10]";  
Margin as "[Opt_Benef$C11]";  
CostNoi as "[Opt_Benef$C12]";
```

```
end-initializations
```

```
end-procedure
```

```
! Main Procedure
```

!*****!

```
procedure Main          ! Need to choose the Model

    Basic_Model_1
!   Vehicle_Model_2(Number_Trips_i, Number_Yba_i, Trips_i, Sol_Yba_i,Start_Trips_i,Arrival_Trips_i,Start_Yba_i,Arrival_Yba_i)
!   ! Point de départ chauffeur
!   Vehicle_Model_3(Number_Trips_i, Number_Yba_i, Trips_i, Sol_Yba_i,Start_Trips_i,Arrival_Trips_i,Start_Yba_i,Arrival_Yba_i)
!   ! Optimisation du bénéfice
!   Vehicle_Model_4(Number_Trips_i, Number_Yba_i, Trips_i, Sol_Yba_i,Start_Trips_i,Arrival_Trips_i,Start_Yba_i,Arrival_Yba_i)

    Data_to_excel

end-procedure

    Main                ! Launch Main

end-model
```


UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique | www.uclouvain.be/lsm