

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Industriel



Mémoire de projet de fin d'études

**En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Génie  
Industriel**

Option : Management de l'innovation.

Thème

Elaboration d'un outil d'aide à la décision pour  
l'optimisation des moyens dans le transport  
routier.

Application : NUMILOG filiale de CEVITAL.

Présenté par : BOURKAIB Yahia Walid

SEFSOUF Tarek Riadh

Sous la direction de : Mr. BOUKABOUS Ali (ENP)

Mr. KHEMANE Seddik (NUMILOG)

Présenté et soutenu publiquement le 06/07/2019

Composition du jury :

Président : M. W.BENHASSINE

MCA ENP

Examinatrice : Mme N.NOUAL

MAA ENP

Promoteur : M. A.BOUKABOUS

MAA ENP



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Industriel



Mémoire de projet de fin d'études

**En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Génie  
Industriel**

Option : Management de l'innovation.

Thème

Elaboration d'un outil d'aide à la décision pour  
l'optimisation des moyens dans le transport  
routier.

Application : NUMILOG filiale de CEVITAL.

Présenté par : BOURKAIB Yahia Walid

SEFSOUF Tarek Riadh

Sous la direction de : Mr. BOUKABOUS Ali (ENP)

Mr. KHEMANE Seddik (NUMILOG)

Présenté et soutenu publiquement le 06/07/2019

Composition du jury :

Président : M. W.BENHASSINE

MCA ENP

Examinatrice : Mme N.NOUAL

MAA ENP

Promoteur : M. A.BOUKABOUS

MAA ENP

# DEDICACES

Je tiens à remercier ALLAH pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail à ma maman, pour avoir toujours cru en moi, et pour m'avoir soutenu dans toutes les étapes de ma vie.

A mon père, qui a toujours tout mis en œuvre pour assurer ma réussite.

A ma famille, à mes deux petites sœurs Lyna et Mimi.

A ma très chère Iméne, à ma deuxième famille, à Sidou, Walid<sup>2</sup>, Anis<sup>2</sup>, Krímo, Amír, Fayçal, Mysa, et à tous ceux avec qui j'ai partagé ces trois inoubliables dernières années.

Walid.

Je dédie ce mémoire, A Toutes les personnes qui me sont chères :

A ma mère

A mon père

A mes sœurs

A ma famille

A mes amis et A ma deuxième famille du Génie industriel

Ainsi qu'à tous ceux et toutes celles, qui m'ont accompagné et soutenu tout

au long de ma formation.

Riadh.

# REMERCIEMENTS

Louanges à ALLAH clément et miséricordieux.

Nous tenons tout d'abord à adresser toute notre gratitude à notre promoteur Mr. BOUKABOUS Ali qui a accepté d'encadrer ce travail et s'est toujours montré disponible et à l'écoute tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son regard critique nous a permis de structurer ce travail, et de l'améliorer au fil des jours. Ses conseils, et le temps incommensurable qu'il a bien voulu nous consacrer ont toujours suscités notre profond respect. Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitudee sincères et de notre grande estime.

L'occasion nous est offerte ici, à l'heure où ce travail s'achève, de remercier vivement Mr. KHEMANE et Mr. ALILI , de nous avoir proposé ce travail aussi passionnant qu'intéressant, de l'aide qu'ils nous ont apporté en nous introduisant au sein des services planification et opération de NUMILOG et en nous fournissant tout leur soutien pour mener à bien ce projet.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements aux membres du département Ingénierie et planification, ainsi qu'à toute l'équipe de NUMILOG pour nous avoir encadrés et soutenus.

Nous voudrions enfin exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui nous ont consacré du temps, qui nous ont apporté des conseils et des éclaircissements tout le long de la période de stage.

BOURKAIB Yahia Walid  
SEFSOUF Tarek Riadh

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحسين عملية صنع القرار في برج التحكم الجديد في NUMILOG ، كجزء من تخصيص الموارد اللوجستية ، من خلال تطوير نموذج رياضي سيكون قلب أداة دعم القرار التي تعمل على تحسين قرارات الكفاءة.

تحقيقاً لهذه الغاية، تم إجراء عملية بحث، وفي مراحلها المختلفة: تحديد حاجة متخذي القرارات فيما يتعلق بدعم القرار، إلى وضع تصور لعملية الرياضيات وصنعها، لتطوير قواعد لإعداد الأداة.

..الكلمات المفتاحية: النقل ، النقل والإمداد ، اتخاذ القرار ، البحث التشغيلي ، التحسين ، الاستدلال

## Abstract

The objective of this work is to improve the quality of the decisions made in the control tower of NUMILOG, for the affectation of the logistic means, by the development of a mathematical model which will be the heart of a decision-making software.

To this end, a research approach was initiated and allowed, through its different phases, to capture the decisional needs of the firm, to model the actual situation mathematically, and to develop the procedures of implementation of the software.

**Keywords:** Transport, Logistic, Decision making, Operational Research, Optimization, heuristics.

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'améliorer la prise de décision dans la nouvelle tour de contrôle de l'entreprise NUMILOG, dans le cadre de l'affectation des moyens logistique, à travers le développement d'un modèle mathématique qui sera le cœur d'un outil informatique d'aide à la décision optimisant les décisions prises en termes d'efficacité.

A cet effet, une démarche de recherche a été conduite et a permis, de par ses différentes étapes : d'identifier le besoin des décideurs en terme d'aide à la décision, de conceptualiser et de mathématiser le processus de prise de décision, et de développer des règles pour la mise en place dudit outil.

**Mots-clés :** Transport, Logistique, Prise de décision, Recherche Opérationnelle, optimisation, heuristique.

## Table des matières.

|  |    |
|--|----|
| Liste des tableaux   |    |
| Liste des figures  |    |
| Liste des abréviations   |    |
| Introduction générale.....                                       | 11 |
| Chapitre I.Etude de l'existant et diagnostics .....              | 14 |
| 1. Environnement Industriel.....                                 | 14 |
| 1.1. Le secteur du transport routier de marchandise.....         | 14 |
| 1.2. Le transport routier en Algérie .....                       | 14 |
| 2. Présentation de l'entreprise .....                            | 16 |
| 2.1. Présentation du groupe CEVITAL .....                        | 16 |
| 2.2. Présentation de NUMILOG.....                                | 17 |
| 2.2.1. Organigramme de l'entreprise .....                        | 18 |
| 2.2.2. Structure de l'entreprise.....                            | 20 |
| 2.2.3. Les différents réseaux de distribution .....              | 21 |
| 2.2.4. Les bases logistiques de NUMILOG .....                    | 21 |
| 2.2.5. Les opérations clients.....                               | 22 |
| 3. Diagnostics .....   | 23 |
| 3.1. Analyse externe suivant les cinq forces de porter .....     | 23 |
| 3.2. Analyse Stratégique suivant la matrice SWOT .....           | 24 |
| 3.3. Objectif stratégique.....                                   | 25 |
| 3.4. Analyse Interne suivant la cartographie des processus ..... | 26 |
| 4. Présentation de la tour de contrôle de NUMILOG .....          | 28 |
| 4.1. Principe.....   | 28 |
| 4.2. Rôle.....   | 29 |
| 4.3. Modélisation des opérations .....                           | 31 |
| 5. Etude de l'existant décisionnel.....                          | 33 |
| 5.1. Le système d'information de la tour de contrôle.....        | 34 |
| 5.2. Le processus de prise de décision.....                      | 35 |
| 5.3. Evaluation de la qualité des données .....                  | 37 |
| 5.4. Analyse des résultats et énoncé de la problématique .....   | 41 |
| Chapitre II.Etat de l'art.....                                   | 43 |
| 1. Logistique et prise de décision .....                         | 43 |
| 1.1. Définition.....   | 43 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1.2.  | Enjeux.....   | 43 |
| 1.3.  | La prise de décision dans la logistique .....                                   | 44 |
| 2.  | La gestion des problèmes tournées de véhicules statiques.....                   | 45 |
| 2.1.  | Problème de tournées de véhicules avec contraintes de capacité.....             | 47 |
| 2.2.  | Problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps .....                  | 47 |
| 2.3.  | Le problème de ramassage et de livraison.....                                   | 47 |
| 2.4.  | Le problème de tournées de véhicules avec retour.....                           | 49 |
| 2.5.  | Le problème de tournées de véhicules stochastique.....                          | 49 |
| 2.6.  | Le problème de tournées de véhicules multi-périodique.....                      | 49 |
| 2.7.  | Le problème de tournées de véhicules avec plusieurs dépôts .....                | 50 |
| 2.8.  | Le problèmes d'orientation d'équipes .....                                      | 50 |
| 3.  | La gestion des problèmes tournées de véhicules dynamique.....                   | 51 |
| 3.1.  | Tournées de véhicules et optimisation d'itinéraires en temps réel.....          | 51 |
| 3.1.1.  | Adaptation des algorithmes statiques à des applications dynamiques.....         | 53 |
| 3.1.1.1.  | Les procédures de mise à jour locales .....                                     | 54 |
| 3.1.1.2.  | Les procédures de ré-optimisation .....   | 54 |
| 3.1.2.  | L'approche multi-plans (MPA).....   | 55 |
| 3.1.3.  | Le principe de diversion.....   | 56 |
| 3.2.  | Classification des différents systèmes dynamiques de tournées de véhicules..... | 56 |
| 3.2.1.  | Caractéristiques d'un problème de type DVRP .....                               | 57 |
| 3.2.2.  | Comparaison entre le VRP statique et dynamique .....                            | 59 |
| 3.3.  | Le degré de dynamisme .....   | 60 |
| 3.3.1.  | Principe .....  | 60 |
| 3.3.2.  | Le degré de dynamisme effectif.....   | 61 |
| 3.3.3.  | Intégration des fenêtres de temps :.....  | 62 |
| 3.4.  | Evaluation de la performance :.....   | 62 |
| 3.5.  | Classification des problèmes selon le degré de dynamisme.....                   | 63 |
| 4.  | Les méthodes heuristiques .....   | 65 |
| 4.1.  | Les méthodes de recherche locale .....  | 66 |
| 4.2.  | Le recuit simulé .....  | 67 |
| 4.3.  | La recherche taboue.....  | 69 |
| 4.4.  | Les systèmes multi-agents,Alternative à l'heuristique.....                      | 72 |
| Chapitre III.Elaboration du modèle mathématique pour la résolution du problème..... |   | 77 |
| 1.  | Catégorisation et solution retenue .....  | 77 |
| 2.  | Partie statique du modèle .....   | 78 |



|   |     |
|---|-----|
| 2.1. Définition des paramètres et des variables .....               | 78  |
| 2.2. Formulation des contraintes.....                               | 79  |
| 2.3. Elaboration de la fonction objectif .....                      | 80  |
| 3. Partie dynamique.....  | 81  |
| 4. Tests de simulation et validation du résultat .....              | 84  |
| 4.1. Préparation des données .....                                  | 84  |
| 4.2. Algorithme statique .....                                      | 85  |
| 4.3. Résultat .....   | 86  |
| 4.4. Méta-heuristique et dynamisation .....                         | 88  |
| 4.5. Validation de la solution.....                                 | 91  |
| 5. Démarche d'implémentation .....                                  | 92  |
| 5.1. Les limites du modèle.....                                     | 92  |
| 5.2. Perspectives futures, la structure décisionnelle proposée..... | 93  |
| Conclusion générale .....   | 98  |
| Bibliographie.....  | 100 |
| Annexes.....  | 104 |

## Liste des tableaux.

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 Fiche d'identite du groupe cevital .....   | 17 |
| Tableau 2 Structures et moyens operationnels de numilog .....                                  | 20 |
| Tableau 3 Diagnostic externe de l'entreprise suivant les cinq forces de porter .....           | 23 |
| Tableau 4 Matrice swot- application au cas numilog.....  | 25 |
| Tableau 5 Plans directeurs elabores par le service planification. ....                         | 30 |
| Tableau 6 Divisions de la tour de controle.....  | 30 |
| Tableau 7 Recapitulatif de l'audit de qualite de donnees.....                                  | 40 |
| Tableau 8 Les differentes variantes de vrp .....   | 50 |
| Tableau 9 Comparaison entre les systemes statiques et dynamiques de tournes de vehicules. .... | 59 |
| Tableau 10 Caracteristiques des informations dans un systeme statique\dynamique. ....          | 60 |
| Tableau 11 Classification des problemes selon leur degre de dyamisme. ....                     | 64 |
| Tableau 12 Comparaison entre agent cognitif et reactif. ....                                   | 74 |
| Tableau 13 Recapitulatif des facteurs de categorisation du probleme. ....                      | 78 |
| Tableau 14 Distancier obtenu apres preparation des donnees. ....                               | 85 |
| Tableau 15 Plan d'affectation optimal des camions. ....  | 87 |
| Tableau 16 Informations sur les echantillons representatifs de la validation. ....             | 92 |
| Tableau 17 Besoins decisionnels detectes. ....   | 94 |
| Tableau 18 Proposition de table de faits, dimensions et mesures. ....                          | 96 |
| Tableau 19 Proposition d'architecture decisionnelle globale. ....                              | 96 |

## Liste des figures.

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 carte du reseau routier algerien .....                                | 15 |
| Figure 2 logo de numilog.....  | 17 |
| Figure 3 organigramme de numilog.....  | 19 |
| Figure 4 recapitulatif des resultats du diagnostic externe.....                | 24 |
| Figure 5 cartographie de niveau 1 du macro-processus transport.....            | 27 |
| Figure 6 cartographie de niveau 2 du processus realisation .....               | 28 |
| Figure 7 les plans directeurs de la division planification. ....               | 29 |
| Figure 8 processus tactique de l'activite de transport de numilog.....         | 31 |
| Figure 9 processus de reception de commandes et d'affectation de camions. .... | 32 |
| Figure 10 processus d'affectation de chauffeurs et livraison. ....             | 33 |
| Figure 11 processus de prise de decision - operations. ....                    | 35 |
| Figure 12 processus de reporting et saisie -operations. ....                   | 36 |
| Figure 13 modelisation d'un cas d'affectation dynamique de flotte. ....        | 52 |
| Figure 14 exemple d'une boucle dynamique a un instant t.....                   | 53 |
| Figure 15 modelisation geometrique du dynamisme d'un systeme.....              | 58 |
| Figure 16 scenarios d'arrivee de requetes. ....                                | 61 |
| Figure 17 temps de reaction pour deux requetes dans un dvrp dynamique. ....    | 62 |
| Figure 18 classification des problemes de tournes dynamiques dvrp.....         | 63 |
| Figure 19 pseudo-algorithme de la methode de la descente. ....                 | 66 |
| Figure 20 pseudo-algorithme de la methode du recuit simule .....               | 68 |
| Figure 21 algorithme du recuit simule sous mathematica .....                   | 69 |
| Figure 22 algorithme de recherche taboue .....                                 | 71 |
| Figure 23 resume du principe de la recherche taboue .....                      | 72 |
| Figure 24 relation entre agent et environnement . ....                         | 73 |
| Figure 25 representation d'un systeme multi-agents.....                        | 74 |
| Figure 26 algorithme de resolution "statique". ....                            | 81 |
| Figure 27 algorithme de solution initiale. ....                                | 86 |
| Figure 28 bloc d'execution .....   | 86 |
| Figure 29 solution optimale dans le journal de script.....                     | 87 |
| Figure 30 matrice de solution d'affectation.....                               | 87 |
| Figure 31 avancement d'un modele a trois boucles a l'instant t. ....           | 88 |
| Figure 32 projection du systeme a l'instant $t+\Delta h$ . ....                | 89 |
| Figure 33 algorithme general de la recherche taboue dynamique .....            | 90 |
| Figure 34 calcul des solutions realisables dans la memoire adaptative .....    | 91 |
| Figure 35 les etapes de la modelisation dimensionnelle. ....                   | 95 |

## Liste des abréviations.

| Abbreviation    | Signification  |
|-----------------|--|
| <b>BAF</b>      | Bilan à Facturer   |
| <b>BPMN</b>     | Business Model and Notation                                      |
| <b>CAVAR</b>    | Completeness, Accuracy, Validity, Availability, Restricted Acces |
| <b>CLR</b>      | Centre Logistique Régional                                       |
| <b>CSR</b>      | Chauffeur de Semi-Remorque                                       |
| <b>CVRP</b>     | Capacited Vehicle Routing Problem                                |
| <b>DoD</b>      | Degree of Dynamism   |
| <b>DTRP</b>     | Dynamic Transport Routing Problem                                |
| <b>DVRPPD</b>   | Dynamic Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery        |
| <b>DVRPPDTW</b> | Dynamic VRP with Pick-up and Delivery and Time Window            |
| <b>eDoD</b>     | Effective Degree of Dynamism                                     |
| <b>ERP</b>      | Enterprise Ressource Planning                                    |
| <b>FIFO</b>     | First In First Out   |
| <b>GPS</b>      | Global Positioning System  |
| <b>Km</b>       | Kilomètre  |
| <b>KPI</b>      | Key Performance Indicator – Indicateur de Performance Clé        |
| <b>MDVRP</b>    | Multi-Depot Vehicle Routing Problem                              |
| <b>MPA</b>      | Multi-Plan Approach  |
| <b>NTIC</b>     | Nouvelle Technologie d'Information et de Communication           |
| <b>OPL</b>      | Optimization Programming Language                                |
| <b>OT</b>       | Ordre de Transport   |
| <b>PDG</b>      | Président Directeur Général                                      |
| <b>PDP</b>      | Pick-up and Delivery Problem                                     |
| <b>PDVRP</b>    | Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem                      |
| <b>PL</b>       | Plateforme Logistique  |
| <b>PVRP</b>     | Periodic Vehicle Routing Problem                                 |
| <b>RT</b>       | Recherche Taboue   |
| <b>SCM</b>      | Supply Chain Management  |
| <b>SIG</b>      | Système d'information Géographique                               |
| <b>SMA</b>      | Système Multi-Agent  |
| <b>SPA</b>      | Société Par action   |
| <b>SVRP</b>     | Stochastic Vehicle Routing Problem                               |
| <b>TMS</b>      | Transport Management System                                      |
| <b>TOP</b>      | Team Orienteering Problem  |
| <b>TR</b>       | Tracteur de Semi-Remorque  |
| <b>USD</b>      | United States Dollars  |
| <b>VRP</b>      | Vehicle Routing Problem  |
| <b>VRPB</b>     | Vehicle Routing Problem with Backhaul                            |
| <b>VRPPD</b>    | Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery                |
| <b>VRPTW</b>    | Vehicle Routing Problem with Time Windows                        |

## Introduction générale

Dans des environnements de plus en plus concurrentiels qui ne laissent aucun répit aux plus faibles, les entreprises se doivent de redoubler d'effort et de créativité pour s'assurer de façon constante plusieurs coups d'avance sur la concurrence. Si l'optimisation de la performance, du coût et des délais étaient autrefois ce qui permettait à une firme de se distinguer de ses adversaires, l'accélération connue ces dernières décennies par l'ensemble des secteurs industriels a augmenté les attentes et les besoins des clients, élevant l'innovation au rang de facteur vital pour la pérennité des entreprises.

Comme pour la majorité des secteurs en Algérie, le transport logistique est sujet à de grandes mutations. Les exigences accrues des clients et les régulations des autorités gouvernementales, régissent le comportement de toute firme qui désire renforcer sa position dans le marché. NUMILOG, filiale du groupe CEVITAL, a bien compris cela. Pour s'adapter à ces mutations, la firme a opéré de profonds changements structurels, afin de mieux répondre aux besoins des différents acteurs économiques algériens en transport et logistique, et ce en offrant un service professionnel, doublé d'un accompagnement à tous les niveaux logistiques des clients.

Malgré sa position et les lourds investissements qu'elle a mis en place, NUMILOG doit faire face à une concurrence farouche de la part des autres transporteurs, qui livrent une véritable guerre des prix et de qualité de service pour toujours absorber une plus grande part de la demande du marché. En parallèle à cela, des particuliers détenant des flottes de moindre importance, parviennent à proposer des services à des prix imbattables, captant la majeure partie du marché algérien.

Les régulations et les procédures mis en place par l'état algérien laissent prévoir que la structure du marché pourrait rapidement évoluer en faveur des transporteurs de grosses tailles, ce qui pourrait représenter pour NUMILOG une chance d'asseoir sa position et d'élargir ses activités dans le marché algérien.

Cette pression concurrentielle et cette évolution du contexte mettent constamment les collaborateurs en position de prise de décision. Afin de répondre à cela, et fluidifier les processus décisionnels, NUMILOG a mis en place une « tour de contrôle » basée dans son centre de OUED SMAR, dans le but de centraliser les opérations de gestion et de planification des mouvements de la flotte à l'échelle nationale.

Cependant, la prise de décision dans cette structure demeure sous-optimale, et se repose essentiellement sur les ressources humaines de l'entreprise. Cet aspect est l'une des préoccupations majeures de la direction, qui a entamé le lancement de quatre projets simultanés de déploiement d'outils d'aide à la décision optimisant respectivement les prévisions de la demande, l'élaboration des plans de transport, l'optimisation de l'affectation des véhicules et la maîtrise de la gestion des chauffeurs.

Ces projets d'aide décisionnels sont entrepris par NUMILOG dans une optique de maîtrise des coûts opérationnels. La principale source de coûts liée à l'activité de transport vient des coûts générés par le roulage à vide des camions, coûteux en ressource et non-générateur de valeur, principale motivation d'orienter cette étude sur l'affectation des moyens logistiques.

La division opérations, chargée de ces affectations, rencontre des difficultés dans ses activités, du fait de l'absence d'un système concret, encadrant et évaluant la qualité des décisions prises dans le choix des camions à affecter. Cela nous conduit à formaliser la problématique de la façon qui suit :

## **Comment évaluer et optimiser les décisions prises quant à l'affectation des moyens logistiques ?**

Ce projet a pour objectif d'apporter une solution qui servira de squelette pour le développement de l'outil d'aide à la décision d'affectation des moyens logistiques. Etant donné la complexité du problème et la nécessité d'acquérir un socle scientifique pour l'élaboration du modèle mathématique, nous avons structuré notre travail en trois chapitres:

Un premier chapitre aura pour objectif la délimitation du champ d'action et de l'environnement de notre travail, à travers la présentation de la maison mère CEVITAL, des différents actifs et directions de la filiale NUMILOG, de sa structure opérationnelle et de ses processus. A cela viendra s'ajouter une analyse de l'existant décisionnel et une étude des données découlant de la prise de décision dans l'affectation des moyens logistiques. A sa fin, ce chapitre mettra en exergue les différents dysfonctionnements repérés, et qui aboutissent à l'énoncé de notre problématique.

Dans le second chapitre, nous présenterons un état de l'art visant à éclaircir la source de la problématique, et contextualiser cette dernière. Quatre axes majeurs ont été traités durant ce chapitre, chacun mettant en avant une des dimensions dans lesquelles notre problématique est inscrite. Ces dimensions consistent principalement en la quantification de la décision logistique, l'énumération des problèmes de tournées de véhicules dans la recherche opérationnelle, l'extension dynamique de ces derniers, et enfin les approches heuristiques et méta-heuristiques de résolution de problèmes

Une fois la problématique formalisée et contextualisée, le troisième chapitre explicitera le développement de notre solution, basé sur les points énumérés dans le chapitre deux, allant de la catégorisation de notre problème au développement des composantes principales de notre modèle, suivie d'une proposition d'extension dynamique du système, et faisant office de contribution supplémentaire. A la fin du chapitre, une démarche d'implémentation sera proposée, conçue pour servir de base au lancement de projets d'améliorations futurs.

Pour achever ce travail, une conclusion récapitulera les étapes suivies lors de l'élaboration de ce travail, et mettra en avant son apport et les perspectives d'améliorations futures.

# Chapitre I : Etude de l'existant et diagnostics

## **Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostic**

Ce premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise et de l'environnement industriel dans lequel elle baigne. Une fois le marché, le groupe et l'entreprise présentés, nous effectuerons des diagnostics internes et externes de l'entreprise, suivis d'une étude de l'existant décisionnel de la tour de contrôle de l'entreprise, à travers le déroulement d'un audit, extrait et adapté au contexte du travail depuis le référentiel CAVAR. Les résultats de cet audit aboutiront à la formulation de la problématique de ce travail.

### **1. Environnement Industriel**

#### **1.1. Le secteur du transport routier de marchandise**

Le transport routier est l'un des principaux types de transports utilisés de nos jours. Permettant l'échange et le commerce, il joue un rôle fondamental dans le développement économique de la plupart des secteurs de production. Adapté aux transports de courtes à moyennes distances, il permet le porte-à-porte et la connexion directe entre les différents acteurs de la chaîne de valeur des organisations, du premier fournisseur au client consommateur.

#### **1.2. Le transport routier en Algérie**

Le secteur du transport routier de marchandises en Algérie est actuellement en pleine mutation. Dans la perspective de le rendre plus efficace pour le développement économique de la nation, de lourds investissements, à hauteur de *106.5 Milliards USD dont 40 milliards USD depuis 1999* y ont été injectés.

Le réseau routier algérien nécessite encore des agrandissements futurs, étant donné les quelques régions souffrant encore de l'isolement. Mais il n'en reste pas moins, l'un des plus denses réseaux routiers du continent africain, long, en 2013, de 108 302 Km de routes dont 70% goudronnées et comptant 3756 ouvrages d'art. L'autoroute Est-Ouest, longue de 1216 Km, lie la ville d'Annaba à l'Est à la ville de Tlemcen à l'extrémité Ouest du pays.

Le marché du transport de marchandises demeure assez flou dans son ensemble, mais on peut dès lors distinguer deux grandes catégories d'acteurs :

- Les sociétés de transports (NUMILOG, Bejaia Logistique, La Flèche Bleue...), détenant un parc de plus d'une centaine de camions. Ces entreprises proposent un service d'externalisation de la logistique des différentes industries, en exerçant une activité de qualité.
- Les particuliers détenant des flottes peu nombreuses de camions. Même si la qualité des services proposés par ces derniers reste clairement inférieure à celles des sociétés de transports, les bas prix qu'ils peuvent se permettre de proposer en font des concurrents de taille, si bien qu'ils détiennent, pour ainsi dire, la majeure partie du marché algérien.





## **Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics**

La figure 1 plus haut présente la majeure partie du réseau routier algérien, qui est principalement concentré dans le nord du pays. A noter que le projet d'autoroute Est-Ouest (représenté par la ligne la plus sombre) a quasiment connecté toutes les villes du Nord entre elles.

En d'autres termes, le réseau routier représente un véritable puit de pétrole pour une société de transport de marchandise : la superficie est vaste, le réseau dense et le besoin en constante croissance.

### **2. Présentation de l'entreprise**

#### **2.1. Présentation du groupe CEVITAL**

Leader du secteur agroalimentaire en Afrique, CEVITAL est fondé en 1998 par l'entrepreneur Issaad REBRAB. C'est le premier groupe privé algérien, également présent sur la scène internationale, mais aussi la troisième firme nationale par le chiffre d'affaire.

Le groupe comptait -en 2015- 18 000 employés, une capitalisation de 400 Milliards USD pour un chiffre d'affaires de 4 milliards USD, et se compose actuellement de 26 filiales étalées sur 3 continents, qui implantent le groupe dans quatre secteurs :

- Agroalimentaire :

Les filiales CEVITAL agro-industries, CEVIAGRO et NOLIS, s'occupant respectivement du premier métier, de l'agriculture et du transport maritime forment le pôle majeur du groupe, et positionnent le conglomérat comme leader dans le secteur agroalimentaire.

- Industrie :

Le groupe est implanté de par ses filiales dans plusieurs secteurs industriels tel que l'industrie du verre (MFG), celle des mines et carrières (CEVITAL minérales), l'industrie de la charpenterie métallique (BATICOMPOS), de l'électronique et l'électroménager (SAMHA HOME APPLIANCE, BRANDT), ou encore la production d'éléments en béton précontraint (PRAINSA CEVICO Algérie).

- Automobile & services :


Ce pôle est tenu par un groupement de filiales spécialisées dans la commercialisation et les services après-vente de véhicules de tourisme, d'autobus, et de véhicules poids lourds, industriels et de chantier, ainsi que des activités dans les secteurs de l'immobilier et de l'affichage publicitaire.

- Logistique et distribution :

Ce dernier pôle d'activité est représenté par trois grandes filiales : SIERRA CEVITAL pour la gestion de centres commerciaux, NUMIDIS pour la gestion des hypermarchés UNO, et NUMILOG pour les activités de transport et de logistique. Ce trio représente l'implantation du groupe dans les secteurs de la grande distribution et de la logistique.

En 2014, le groupe reprend en partie la firme française FAGOR-BRANDT, leader français de l'électroménager, ainsi qu'OXXO Evolution, spécialiste des fenêtres en PVC et aluminium. Ainsi, une stratégie d'acquisition mena le groupe à renforcer sa présence en France, en Italie, en Espagne, au Brésil ... La méthodologie consiste à rapporter le savoir-faire technologique étranger en Algérie, et à utiliser les canaux de distributions pour l'exportation.

Tableau 1 Fiche d'identité du groupe CEVITAL (Source : Cevital.com)



|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Année de fondation</b> | 1998                            |
| <b>PDG</b>                | Issaad REBRAB                   |
| <b>Slogan</b>             | « Une dynamique de croissance » |
| <b>Forme Juridique</b>    | SPA                             |
| <b>Siège Social</b>       | BEJAIA, Algérie.                |
| <b>Chiffre d'affaire</b>  | 4 Milliards USD (2015)          |
| <b>Filiales</b>           | 26 (2015)                       |
| <b>Effectif</b>           | 18 000 collaborateurs (2015)    |

### 2.2. Présentation de NUMILOG



Figure 2 Logo de NUMILOG

NUMILOG représente l'intégration par le groupe CEVITAL, de la logistique et du transport routier dans sa chaîne de valeur. Opérationnelle depuis 2012, la firme comprend trois plateformes d'une surface de stockage totale de 130 000m<sup>2</sup>, épaulées par dix-huit (18) centres logistiques régionaux répartis sur le territoire algérien et servant de relais à sa flotte en nom propre de quelques 450 camions, et mettant en œuvre 1350 collaborateurs en 2015.

Aujourd'hui, la firme comprend trois activités principales :

- Accompagner les filiales du groupe CEVITAL dans leur croissance, par le biais de prestations logistique et de transport.
- Proposer aux différents acteurs économiques algériens des solutions pour le transport et/ou le stockage de marchandises de natures variées.
- Partager le savoir-faire en logistique et en transport au travers de missions de conseil en logistique.

### **2.2.1. Organigramme de l'entreprise**

NUMILOG a opté pour une organisation à l'horizontal, qui a été sujette à plusieurs restructurations et changements par le passé. Le but de ces derniers est d'aligner l'évolution de la firme à celle du contexte économique dans lequel elle évolue, la rendant ainsi plus apte à répondre aux exigences de ses clients.

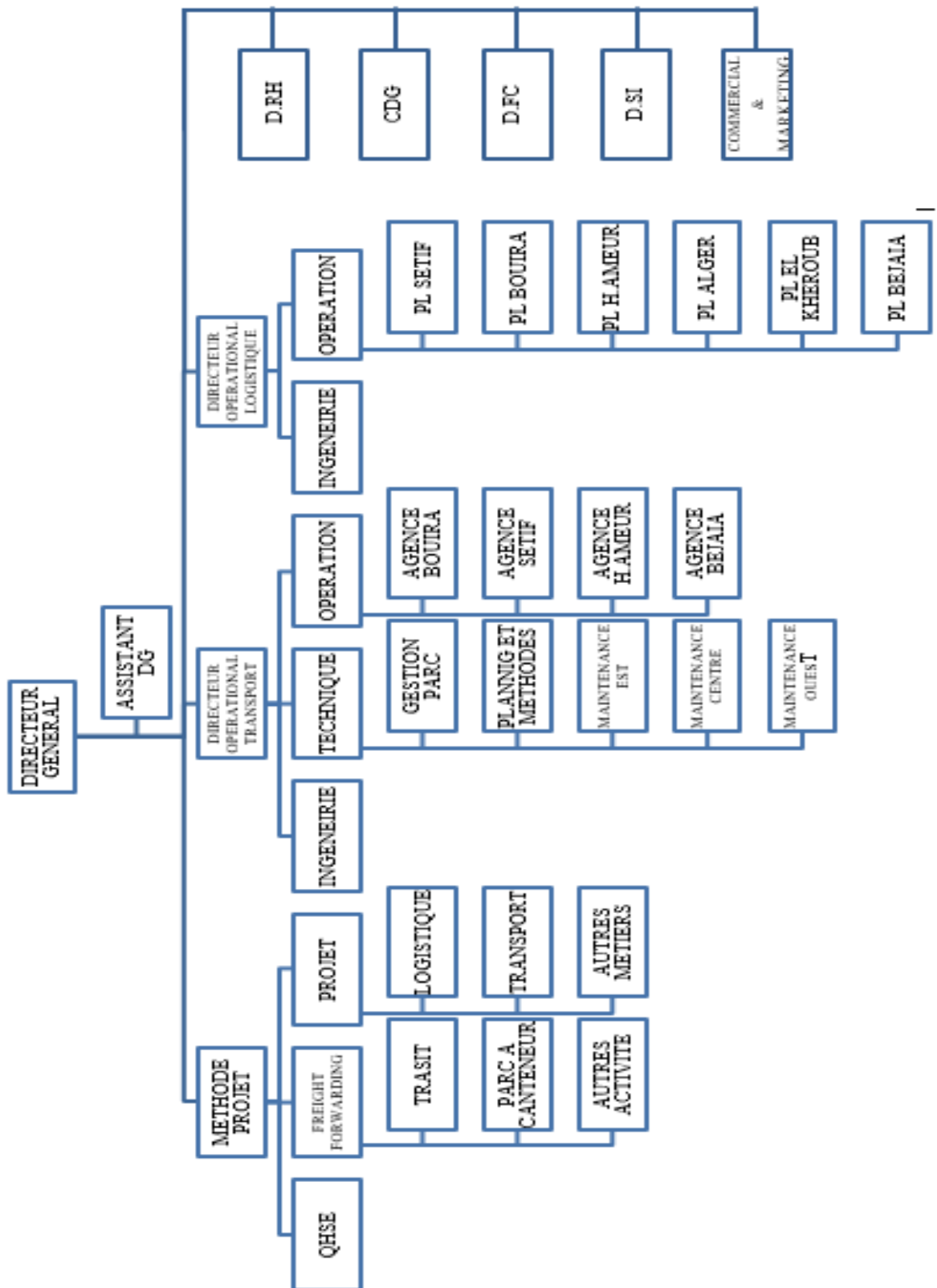


Figure 3 Organigramme de NUMILOG – 2018.(Source : Dossiers internes NUMILOG)

### 2.2.2. Structure de l'entreprise

L'entreprise est structurée de la façon qui suit :

#### Structure administrative logistique

Elle s'occupe principalement de la gestion et du suivi des flux entrants et sortants de l'entreprise. Il s'agit donc d'une structure de support qui est chargée d'assurer un environnement de travail agréable, tout en débarrassant l'opérationnel des tâches financières de facturation des clients par exemple.

#### Structure transport

C'est un département qui s'occupe de la planification et l'organisation des flottes par :

- L'établissement de leurs timings en assurant la bonne organisation selon la disponibilité des chauffeurs et des camions.
- L'optimisation de la consommation du carburant en utilisant la théorie du plus court chemin.
- L'optimisation de la distribution en appliquant la méthode d'ouverture de portes.
- L'établissement des factures qui répondent aux conditions du cahier de charge.
- Assurer la livraison des produits des clients externes par la location des camions.

Une série d'infrastructures modernes a été édifée pour servir de soutien aux activités sur le terrain.

**Tableau 2 Structures et moyens opérationnels de NUMILOG**

| Agences  | Effectif                  | Tracteurs (TR) | Chauffeurs<br>Semi-<br>Remorques<br>(CSR) | Moyens<br>techniques  |
|--|---------------------------|----------------|---|---|
| <b>Bouira</b><br><b>Constantine</b><br><b>Oran</b><br><b>Sétif</b><br><b>Bejaia</b><br><b>Tizi-Ouzou</b><br><b>Alger</b> | 188 pour le<br>management | 550            | 762                                       | - TMS<br>- Géolocalisation<br>- Check<br>température<br>- 4 centres de<br>maintenance |

#### Structure opérationnelle

Cette activité a pour but d'assurer la bonne gestion des surfaces dédiées aux clients :

- La réception, déchargement, préparation et expédition de la marchandise.
- La gestion des différents flux d'informations, en interne et vers l'extérieur, et le traitement des commandes.
- La gestion des moyens et des flux physiques.

### **2.2.3. Les différents réseaux de distribution**

L'expédition des marchandises depuis les unités de production jusqu'au client final peut se faire suivant plusieurs circuits. Ceux-ci sont matérialisés par des infrastructures de taille et de conceptions très différentes :

À la différence des plateformes, l'entrepôt stocke les produits pendant une durée plus ou moins longue :

- Soit pour réaliser une première approche logistique (apport d'une valeur ajoutée au stockage).
- Soit pour des motifs d'opportunité promotionnelle, de spéculations ou d'avantages tarifaires.

D'un point de vue logistique, la constitution d'un réseau de distribution dépend de nombreux critères :

- La nature des produits ;
- La taille moyenne de chacune des commandes ;
- Le type de clients approvisionnés (commerce de détail, super, hyper...).

Ces critères étant posés, il s'agit de déterminer la structure du réseau c'est-à-dire le nombre de niveaux d'infrastructures et le type de ceux-ci. Plusieurs solutions s'offrent à l'entreprise :

- Soit une livraison directe des usines jusqu'aux clients sans rupture de charge.
- Soit le parcours constitue une étape intermédiaire matérialisée par :
  - Un entrepôt central qui reçoit et stocke les productions des usines, prépare les commandes et réalise les transports terminaux (à l'entrepôt de voir si ces étapes sont sous sa responsabilité ou si elles sont confiées à des prestataires) ;
  - Des dépôts locaux qui jouent le même rôle que les entrepôts centraux mais pour une région déterminée ;
- Soit une livraison qui transite par un dépôt central et des dépôts régionaux. Notons que ce type de circuits à « deux étages » est de plus en plus mis à l'écart par les entreprises du fait de sa lourdeur de gestion et de la multiplicité des ruptures de charge.

En effet, la volonté de répondre de mieux en mieux à la demande du client en termes de délai, de qualité de service et de coûts amène de plus en plus les industriels à simplifier au maximum la structure de leurs réseaux de distribution.

### **2.2.4. Les bases logistiques de NUMILOG**

Ce système explique comment NUMILOG distribue la marchandise de son premier client pour alimenter les centres logistiques régionaux (ou CLR), les plateformes logistiques (notées PL) et les grandes industries.

### **Plate-forme logistique (PL)**

Les PL sont destinés à la réception des produits, leurs stockages et la livraison de ses produits aux CLR quotidiennement. Sans oublier que chaque plateforme est destinée à alimenter les CLR situés dans la même région. Le temps de service de ses plates-formes est de 24H/24H.

### **Centre logistique régionaux (CLR)**

NUMILOG contient 18 CLR attachés au service d'exploitation transport (agence Bejaia), implantés dans plusieurs régions au niveau national avec une capacité de stockage importante et une durée de stockage qui ne dépasse pas 10 H. Ainsi que la réception et la livraison des produits se fait quotidiennement comme suit : De 17H à 5H c'est le réapprovisionnement des CLR par les plateformes ou par l'usine en cas où le produit commandé n'est pas disponible aux plateformes logistiques. De 5H à 17H, ce sont les clients qui viennent récupérer leurs commandes par leurs propres moyens de transport.

#### **2.2.5. Les opérations clients**

A partir de 16h30, Le responsable d'exploitation et de transport reçoit des ordres de mission (OT) de la part de ses clients pour déterminer les tâches à effectuer. Elle traite alors en priorité les OT de CEVITAL, puis ceux des autres clients.

#### **Pour les clients ordinaires**

NUMILOG s'occupe des déplacements de marchandises que ce soit pour les matières premières, semi-finis ou finis, comme elle s'occupe aussi de la logistique retour ou inverse ce qui signifie le transport des marchandises en avarie.

Le responsable d'exploitation et transport met à disposition de son client les camions nécessaires pour l'acheminement des marchandises d'un point à un autre selon le programme reçu. L'opération sera suivie tout au long du trajet par un système TMS pour éviter tout type d'accident ou retard afin de satisfaire le client.

#### **Pour CEVITAL**

L'entreprise de transport s'occupe de tous les déplacements de CEVITAL de l'approvisionnement à la distribution, le transport inverse ainsi que les déplacements en interne de l'usine. Globalement, son programme est divisé en deux types :

- Les déplacements externes qui incluent tous les besoins de transport en dehors de l'usine.

Cela inclut donc la distribution des marchandises de l'usine aux plateformes logistiques (PL) Puis des PL aux centres logistiques régionaux (CLR) ou bien encore vers le client final.

- Le deuxième type c'est le transport interne qui inclut les déplacements dans l'usine ou à proximité, c'est-à-dire dans la ville de Bejaia.

Pour ce type NUMILOG met à disposition de CEVITAL des camions de différents types 24H/24H qui vont se charger des déplacements effectués en interne de l'usine (d'une cellule à une autre ou autre besoin) ou bien encore pour le transport des marchandises du port à l'usine pour l'approvisionnement ou de l'usine au port pour l'exportation.



### 3. Diagnostics

Dans cette section, nous allons effectuer un diagnostic externe puis interne de NUMILOG en se basant sur les modèles des cinq forces de Porter et la matrice SWOT pour l'analyse externe, puis la cartographie des processus pour le côté interne. L'objectif de cette analyse et de justifier le projet en cours, en faisant ressortir les avantages concurrentiels, ainsi que les facteurs clés pour le succès de la firme.

#### 3.1. Analyse externe suivant les cinq forces de porter

L'analyse suivant les cinq forces de Porter a mené aux observations suivantes :

**Tableau 3 Diagnostic externe de l'entreprise suivant les cinq forces de Porter**

| <b>Force</b>  | <b>Observation</b>  |
|---|---|
| <b>Menace des nouveaux entrants.</b>                  | <b>Forte (6/10)</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Existence de nouvelles barrières à l'entrée (nouveau permis pour les chauffeurs)</li> <li>✓ Insuffisantes pour démotiver les propriétaires de petites flottes.</li> </ul> |
| <b>Menace des fournisseurs.</b>                       | <b>Faible (2/10)</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nombreux choix d'affrétés (500 camions).</li> <li>✓ Forte standardisation des offres.</li> </ul>   |
| <b>Menaces du pouvoir de négociation des clients.</b> | <b>Forte (7/10)</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fort pouvoir de négociation.</li> <li>✓ Faibles coûts de changement.</li> </ul>   |
| <b>Menace des produits de substitution.</b>           | <b>Moyenne (4/10)</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Principalement représentée par le transport ferroviaire.</li> </ul>   |
| <b>Menace de l'intensité concurrentielle.</b>         | <b>Forte (8/10)</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nombreux concurrents (Bejaia logistique, La flèche Bleue).</li> <li>✓ Concurrence compétitive, faible différenciation mais image de marque importante.</li> </ul>         |

Les résultats du diagnostic externe ont été regroupés dans la figure suivante, sous forme d'un diagramme afin de mieux observer et comparer les différentes dimensions :

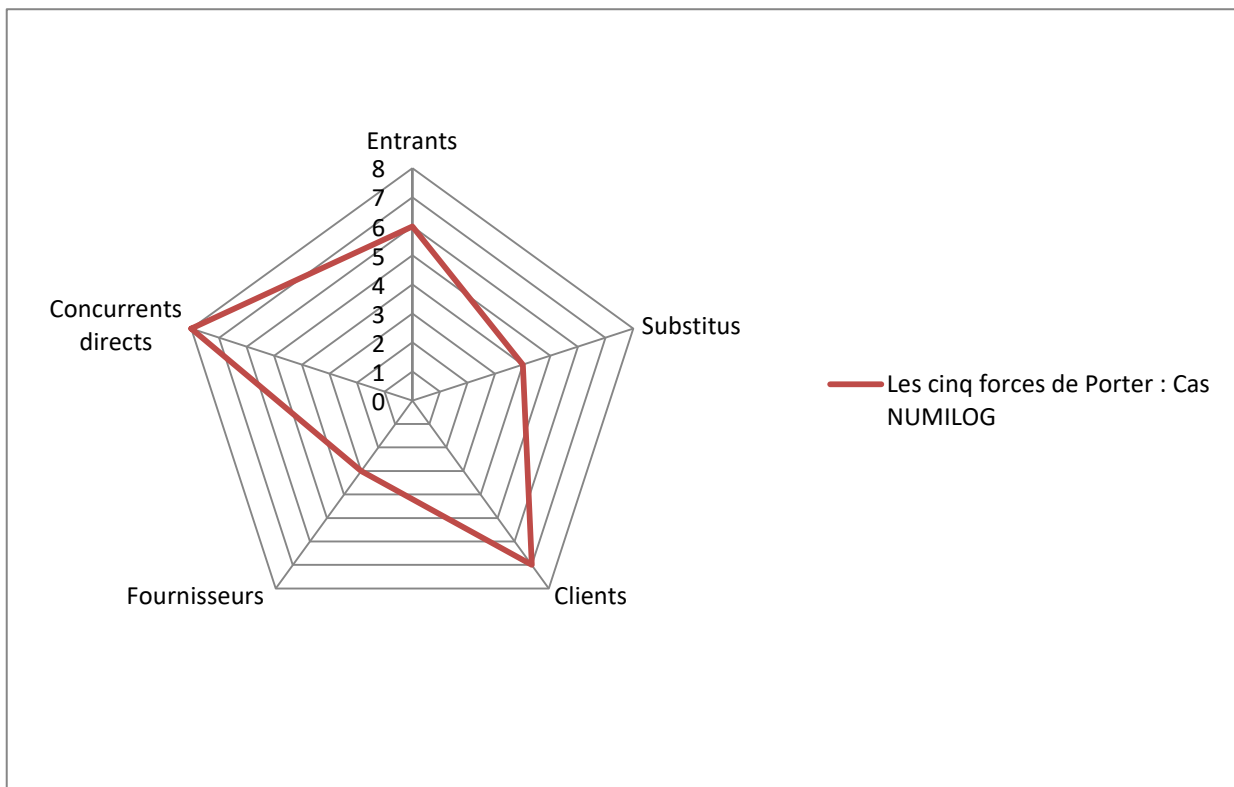


Figure 4 Récapitulatif des résultats du diagnostic externe.

**Résultat de l'analyse :** Les clients, les concurrents directs et les entrants doivent faire l'objet d'une stratégie spécifique et ciblée de la part de NUMILOG.

Ainsi, le marché se caractérise surtout par l'important pouvoir de négociation des clients, ainsi que le regain de compétitivité des concurrents, découlant d'une différenciation de service croissante.

Cela justifie la politique stratégique actuelle de la firme, qui a décidé d'adopter une stratégie de partenariat avec la concurrence pour l'aspect externe, ainsi qu'une restructuration des activités pour l'aspect interne.

### 3.2. Analyse Stratégique suivant la matrice SWOT

La matrice SWOT, pour *Strength*, *Weaknesses*, *Opportunities* and *Threats*, est une analyse stratégique interne- externe, visant à déterminer les forces et faiblesses de l'entreprise, puis les opportunités et menaces de l'environnement de cette dernière.

Les résultats de l'analyse sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4 Matrice SWOT- Application au cas NUMILOG

| Forces  | Faiblesse   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Une flotte importante de véhicules pouvant répondre à une large demande, même en haute saison.</li><li>✓ Des partenariats avec certains particuliers appelés « affrétés » pour renforcer l'effectif de la flotte.</li><li>✓ Un service haut de gamme avec de nombreux suppléments.</li><li>✓ Des bases dispersées sur le territoire pour diminuer le temps de réponse aux demandes.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Manque d'optimisation de la gestion de la flotte, générant d'importants coûts.</li><li>✓ Décentralisation et manque de visibilité globale des activités.</li><li>✓ Manque de maîtrise des opérations induisant une diminution de la qualité de service.</li></ul>   |
| Opportunités  | Menaces   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Faible qualité de service de la majorité des acteurs.</li><li>✓ Régulations gouvernementales favorables aux gros transporteurs.</li><li>✓ Possibilité de maîtrise des coûts par l'optimisation des opérations de gestion de la flotte.</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Compétitivité et niveau de service élevé de la part de géants de la logistique et des multinationales.</li><li>✓ Peu de coûts de changement de distributeurs pour les clients.</li><li>✓ Existence d'acteurs privilégiant le volume au prix, difficiles à concurrencer pour les acteurs de grande taille.</li></ul> |

### Résultat de l'analyse Stratégique de l'entreprise

Les résultats du diagnostic externe de l'entreprise nous a permis de comprendre les différents aspects positifs et négatifs, internes et externes de NUMILOG. Pour résumer, la firme est assez bien implantée dans le marché et a judicieusement fait la part des choses entre la négociation avec les concurrents et la négociation avec les clients. Toutefois une mauvaise maîtrise des coûts et un manque de visibilité freine l'efficacité des opérations. Heureusement, l'environnement offre des opportunités de développement, à travers des régulations et des pistes pour augmenter l'avantage concurrentiel, malgré la menace représentée par le pouvoir du client et les activités des géants de la logistique.

#### 3.3. Objectif stratégique

L'environnement dans lequel NUMILOG évolue est en constante évolution. Aussi, le marché a connu un revirement majeur récemment : une politique de régulation gouvernementale, et consistant en l'introduction d'un nouveau document certificatif dont doivent être impérativement munis, les chauffeurs de semi-remorques dans le pays, a pour objectif de réduire le pouvoir des « particuliers », et détenteurs de petites flottes.

En effet, une législation pareille pourrait écarter ces derniers du marché, dans la mesure où il devient dès lors essentiel d'avoir un certain nombre de véhicules dans sa flotte, en

## **Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics**

dessous duquel il ne serait plus rentable d'obtenir ladite certification (plutôt onéreuse) à ses chauffeurs.

L'analyse externe du point précédent permet d'expliquer la stratégie de NUMILOG à cet égard. En effet, la firme a récemment mis en place une tour de contrôle destinée à centraliser ses opérations sur le territoire national. Aussi, l'entreprise compte profiter des changements actuels que subit le marché, en se fixant pour but de devenir la référence logistique incontournable du marché algérien, en alliant des stratégies audacieuse d'efficience opérationnel, de relationnel client et de partenariats avec des concurrents.

### **3.4. Analyse Interne suivant la cartographie des processus**

Suite à une série d'entretiens réalisés avec les experts métier de NUMILOG, nous avons pu obtenir une vision globale de la chaîne de valeur de l'entreprise, en élaborant une cartographie des différents processus de l'entreprise.

Dans la section qui va suivre, nous allons développer une analyse à trois niveaux des activités de l'entreprise. L'objectif des deux premiers niveaux est de se familiariser avec l'aspect opérationnel de la firme, tout en ayant une vision globale sur les flux de cette dernière. La cartographie du troisième niveau, beaucoup plus détaillée, nous permettra quant à elle de nous rapprocher de l'environnement de notre problématique.

La principale activité de l'entreprise (et celle qui nous intéresse dans le cadre de ce travail) consiste en l'accompagnement des acteurs économiques dans leurs activités de transport de marchandise.

Une cartographie des processus de niveau I nous a permis de comprendre que l'activité de transport est un macro-processus qui repose principalement sur trois blocs fondamentaux :

- Le processus « pilotage » qui consistera à piloter l'activité dans son ensemble, en se basant sur des KPI et des informations sur les clients pour déterminer les objectifs.
- Le processus « Réalisation » qui lui est chargé de réaliser le transport, en affectant camions et chauffeurs aux différents clients.
- Le processus « support » qui lui est chargé d'alimenter le bloc précédent en différentes ressources nécessaires à la réalisation des tâches.

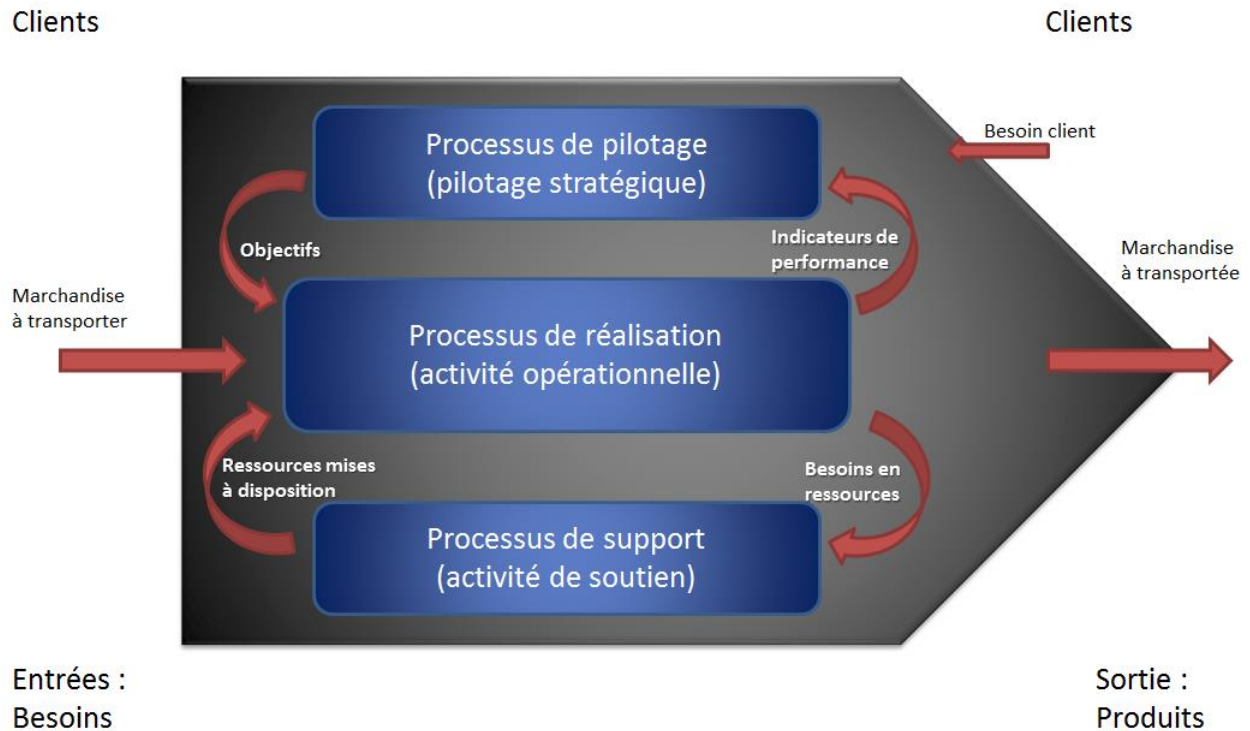


Figure 5 Cartographie de niveau 1 du macro-processus transport.

En descendant d'un niveau supplémentaire, nous effectuons à présent un « zoom » sur le processus de réalisation, afin de déterminer les informations suivantes :

- Les inputs sont formés par le besoin du marché (i.e des acteurs économiques) et les demandes de transports.
- La première activité est commerciale : tenue par la direction ainsi que le service « relation partenaire », c'est l'activité chargée de capter le besoin et de répondre aux ordres de transport, ou OT.
- La seconde activité est la gestion des camions, au niveau des plateformes logistiques. Il s'agit de la vérification de la disponibilité et du bon état de ces derniers.
- La troisième activité est relative au suivi, au recrutement et à la gestion des chauffeurs de Semi-Remorques, ou CSR.
- La quatrième activité est la planification. Gérée par la tour de contrôle d'Oued Smar et épaulée par les agences, l'activité consiste en l'élaboration d'un plan de transport et d'affectation de camions et de chauffeurs.
- Enfin, la dernière activité consiste en la réalisation de la mission de transport.

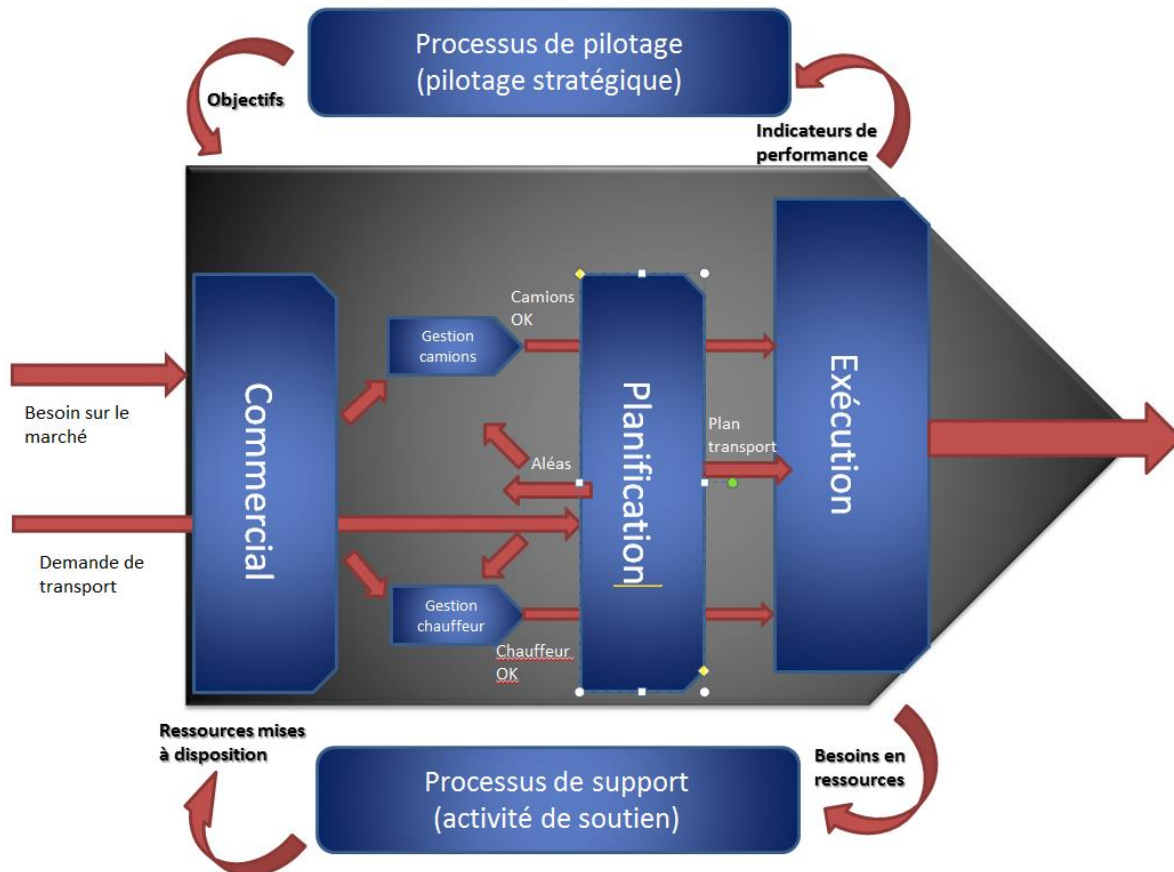


Figure 6 Cartographie de niveau 2 du processus réalisation

De ces deux niveaux de cartographie, nous pouvons dans un premier temps comprendre et visualiser les flux d'informations dans l'entreprise, tout en situant le cadre de notre projet.

Aussi, l'intérêt de la firme pour les projets d'aide à la décision est tout justifié, puisque nous voyons à présent que la gestion des camions, des chauffeurs et la planification sont au cœur des activités de NUMILOG.

Nous ciblerons dans ce qui suit les deux activités de planification et de gestion des camions, deux parties du processus de réalisation du macro-processus transport. Afin d'approfondir notre connaissance du terrain, nous allons descendre d'un niveau supplémentaire, pour modéliser les activités citées et leur cadre d'application : la tour de contrôle de OUED SMAR.

#### 4. Présentation de la tour de contrôle de NUMILOG

##### 4.1. Principe

Récemment mise en place, la tour de contrôle est une infrastructure de NUMILOG, jumelée à l'agence de Oued Smar, et ayant pour mission la coordination des activités entre les différentes structures dispersées à travers le territoire national.

Le but de la mise en place de cette division est donc la centralisation des opérations d'affectations des différentes ressources, c'est-à-dire les camions de la flotte ainsi que les chauffeurs, aux différentes requêtes de clients devant être satisfaites, et ce à des localisations différentes.

La structure consistante est organisée en *open space*, afin de fluidifier les échanges entre les différents collaborateurs, et comprends principalement trois divisions ,les opérations, les relations partenaires et l'ingénierie.

### 4.2. Rôle

La tour de contrôle héberge actuellement trois services, opérant dans une très étroite collaboration afin de faciliter l'échange d'information et accélérer la réactivité des opérations, ajustant la performance globale au degré de changement de l'environnement dans lequel l'entreprise baigne.

En outre la tour comprend :

- Un service de planification : Il s'agit du service s'occupant de l'aspect ingénierie des opérations. Sa tâche consiste à élaborer des prévisions et des plans de transport prédéfini afin de conforter le travail à temps réel du service opérations, et réduire ainsi l'écart séparant la réalité de l'optimalité.

Par ailleurs, la planification consiste également en l'élaboration de plusieurs plans destinés à diriger les opérations sur le terrain :

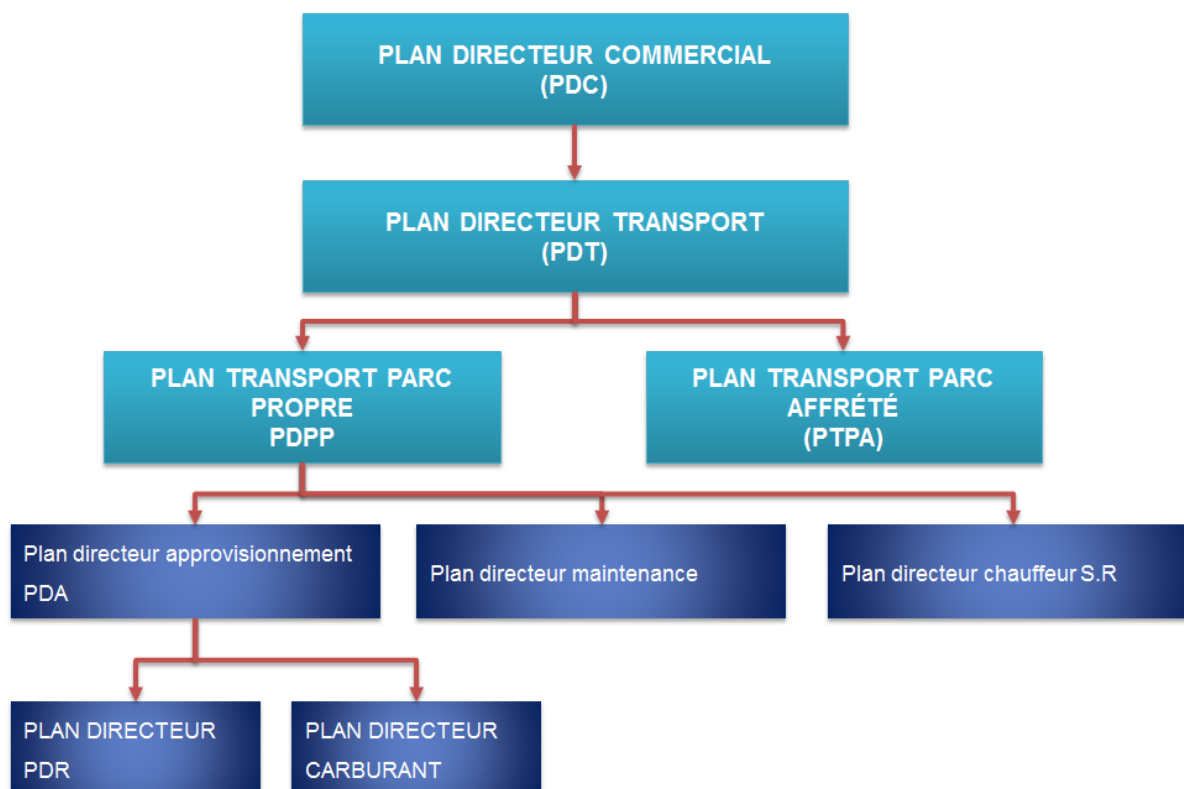


Figure 7 Les plans directeurs de la division planification.

Chacun des plans directeur est destiné à mettre en exergue et maîtriser la variabilité de l'in des paramètres influant sur les activités de la firme.

Une fois tous les plans mis au point et déterminés, ces derniers iront alimenter des planifications à plus grande échelle, et ainsi de suite jusqu'à l'aboutissement à un plan de niveau stratégique, avec une vision globale sur l'état des activités de l'entreprise, et qui servira alors d'indicateur à l'élaboration des objectifs et l'organisation des démarches futures.

Tableau 5 Plans Directeurs élaborés par le service planification.

| Plan directeur                           | Objectif  |
|--|---|
| <b>Plan directeur carburant</b>          | Détermine les besoins en carburant et anticipe leurs coûts.           |
| <b>Plan directeur approvisionnement</b>  | Capitalise le besoin en approvisionnement des structures de la firme. |
| <b>Plan directeur maintenance</b>        | Etablit un plan de maintenance préventif/curatif.                     |
| <b>Plan directeur chauffeur S.R</b>      | Anticipation des aléas chauffeurs (congé, arrêtes ... etc.)           |
| <b>Plan directeur parc propre PDPP</b>   | Prévoit les activités des camions NUMILOG.                            |
| <b>Plan directeur parc affrétés PDPA</b> | Détermine la nécessité de recours à une flotte externe.               |
| <b>Plan Directeur Transport PDT</b>      | Vision globale des prévisions (niveau tactique)                       |
| <b>Plan Directeur Commercial PDC</b>     | Réalisation d'objectifs à long terme. (niveau stratégique)            |

- Un service opération : Il s'agit là d'une équipe chargée d'affecter les moyens et de les disperser afin de satisfaire une quantité de requêtes dispersée à travers le territoire, puis d'en assurer le suivi jusqu'à la fin des missions, avant des préparer les opérations ultérieures.
- Un service relation partenaire : Il s'agit de l'équipe chargée du relationnel client : prélèvement des commandes, réponse au client, reporting sur l'avancement des opérations ... etc.

Tableau 6 Divisions de la tour de contrôle.

| <b>Les différentes divisions de la tour de contrôle, Opèrent de façon synchronisée.</b> |                 |   |
|---|-----------------|---|
| Division  | Type de mission | Responsabilités   |
| <b>Service Planification.</b>   | Prédictif       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboration de prévisions, évaluation de la fiabilité et analyse des résultats.</li> <li>• Ingénierie des plans de transports, correction et modification des réseaux.</li> <li>• Construction des schémas, création de scénarios de tournées.</li> </ul>  |
| <b>Service Opérations</b>   | Réactif         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Positionnements des moyens.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Affectation de la flotte.</li> </ul> </li> <li>• Dispatch, suivi et gestion des flux.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion du flux partenaire.</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Service relation partenaire</b>  | Support         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion du relationnel client.</li> <li>• Etablissement d'une hotline 24/7 d'information.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporting client.</li> </ul> </li> </ul>  |



### 4.3. Modélisation des opérations

A présent, afin de plus spécifiquement comprendre l'activité « planification », nous avons effectué une seconde analyse, cette fois en BPMN 2, en utilisant le logiciel CAMUNDA, dans le but d'obtenir les résultats définis dans les diagrammes ci-dessous :

Le processus de planification est intimement lié aux autres activités, et nous pouvons en résumer les étapes comme suit :

- Le responsable du service d'exploitation transport reçoit des commandes à expédié par CEVITAL usine, Lala Khadija, china El ksour, plateforme logistique et les autres industries externes chaque soir entre 16H à 18h, puis sont intégrées au TMS.
- Par la suite, la tour de contrôle lui affecte un camion, ou TR, et l'intègre dans son planning.
- Ceci fait, l'Agence de transport la plus proche s'occupe de l'affectation du CSR, suivant des règles de gestion appelées règles sociales.
- Une fois ces étapes faites, le transport a lieu puis la mission est facturée au client.

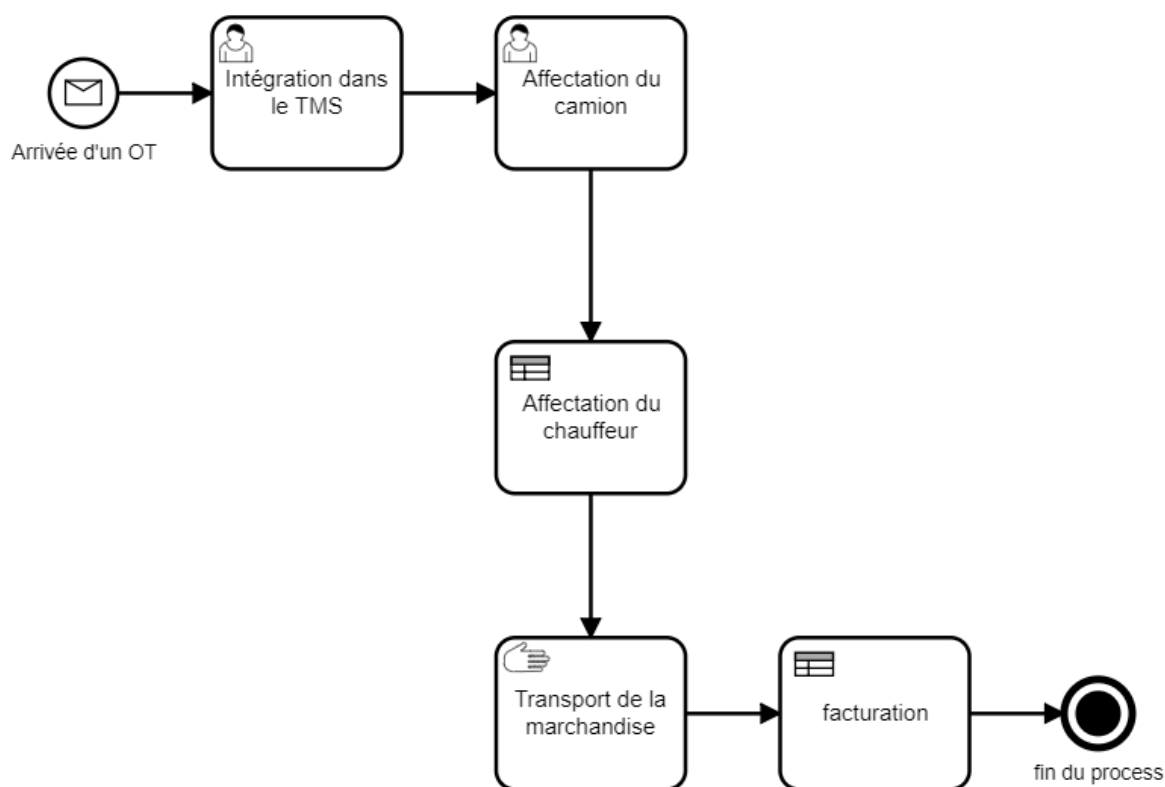


Figure 8 Processus tactique de l'activité de transport de NUMILOG

Une mention d'état figurant dans le TMS, permet de suivre l'évolution du traitement des commandes, et donc de cartographier le processus en action. Une fois une commande arrivée, elle est intégrée au TMS avant qu'un camion, ou TR, et un chauffeur, ou CSR, n'y

## Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics

soient affectés. Par la suite, la marchandise faisant l'objet de la requête est transportée et un Bilan à facturé, ou BAF, est émis. Suite à cela, la mission est facturée, et prends fin suite au paiement du client.

Descendons à présent dans le niveau d'agrégation pour avoir plus de détail sur le déroulement du processus. On obtient dès lors le diagramme BPMN mis en avant dans les figures 9 et 10 ci-dessous.

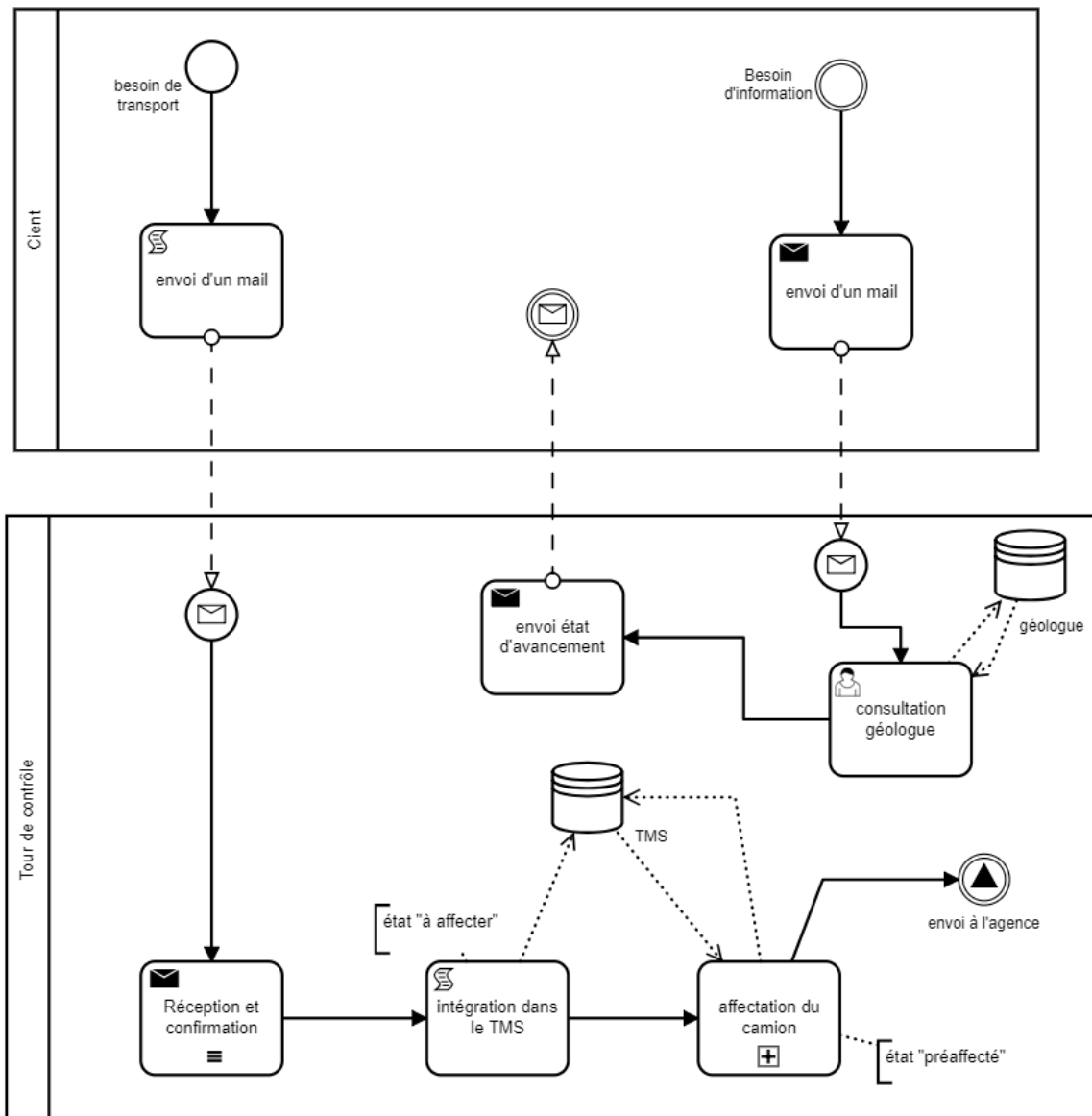


Figure 9 Processus de réception de commandes et d'affectation de camions.

Pour résumer, lorsqu'une commande arrive (généralement par mail ou par téléphone), un opérateur de la tour de contrôle s'occupe d'intégrer les différentes informations relatives à la mission dans le système TMS de la firme, accompagnées d'une mention « à affecter ». Par

## Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics

la suite, un autre opérateur de la tour de contrôle s'occupe de sélectionner le TR à ladite commande, tout en mettant à jour la mention « à affecter » qui devient « pré affecté ».

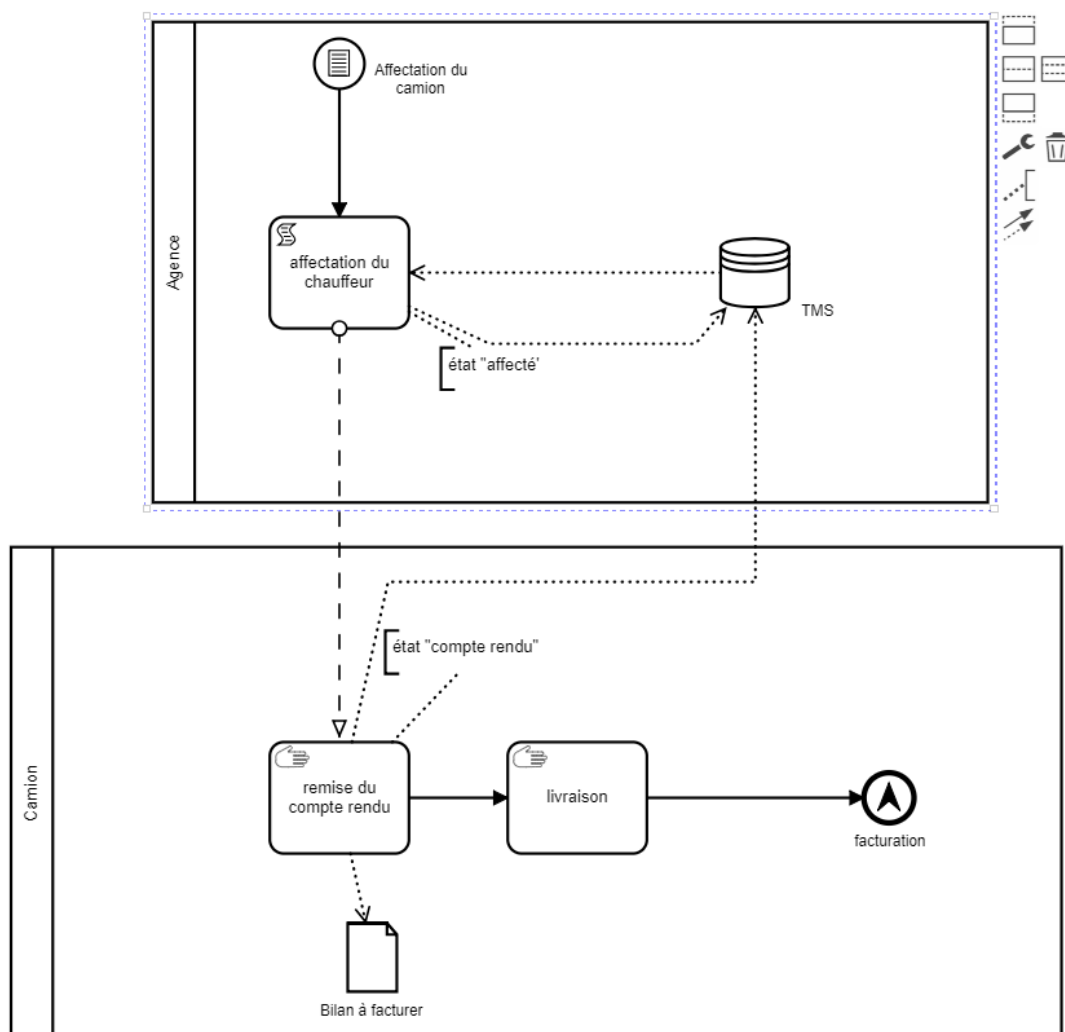


Figure 10 Processus d'affectation de chauffeurs et livraison.

Dès lors, les commandes sont passées aux agences, chargées de gérer les chauffeurs, et un opérateur de cette dernière se chargera de l'affectation d'un CSR au TR affecté auparavant, et la mention d'état est changée en « affecté ». Enfin, le chauffeur en question s'occupe du transport de la marchandise puis remet un BAF à son retour au CLR. A ce moment, la mention d'état est changée en « compte rendu » et la facturation de la mission est effectuée par la direction finance.

### 5. Etude de l'existant décisionnel

Dans la section qui va suivre, nous allons nous concentrer sur l'analyse de l'existant décisionnel au sein de la tour de contrôle de NUMILOG.

Le transport routier est un marché en pleine évolution en Algérie, si bien que NUMILOG compte bien se positionner comme leader et référence logistique incontournable en Algérie d'ici quelques années. Afin d'y parvenir, il a fallu maîtriser les flux d'informations, au moins

## **Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics**

au même titre que la maîtrise des flux matériels, et cela se traduit par la mise en place d'un système d'information, ainsi que d'une tour de contrôle centralisant les opérations de tout le territoire national.

### **Comment se déroule donc le processus de prise de décision ?**

Pour comprendre cela, nous nous sommes penchés sur le cas de prise de décision de la part d'un collaborateur opérant au sein du service opérations.

#### **5.1. Le système d'information de la tour de contrôle**

Un système d'information est un ensemble d'éléments composé d'outils informatiques, de serveurs, de logiciels, de ressources humaines ou matérielles, ayant pour objectif de capturer, stocker, traiter ou modifier le flux d'informations, qui est généralement jumelé au flux matériels d'une entreprise.

Le système d'information mis en place dans la tour de contrôle actuellement est composé de trois (03) différentes parties :

- Le géologue *FleetCenter* :

Le géologue *FleetCenter* est un système d'information géographique, déployé par NUMILOG afin de mettre à disposition des opérateurs les différentes informations (en temps réel) concernant les véhicules de la flotte. Il permet en outre :

- Le suivi du positionnement des camions par géolocalisation, en temps réel.
- L'accès à des informations générale sur les véhicules, en temps réel, tel que le niveau de carburant, le tonnage, ou encore la température des remorques frigorifiques.
- Le croisement des données et l'élaboration de graphiques et tableaux personnalisés en fonction des besoins de l'utilisateur, pour une visibilité claire sur un ensemble donné d'informations.

Ici nous pourrions citer, à titre d'exemple, des graphiques regroupant les déplacements récents d'un camion X, ou encore l'activité heure par heure d'un chauffeur durant une journée précédente ... Etc.

Ainsi, le SIG *FleetCenter* représente certainement un facteur décisif de compétitivité de NUMILOG, et l'assurance d'un service haut de gamme et sérieux.

- Le TMS *Reflex* :

Le *Transport Management System* est un système informatique de support pour les activités de transport. Le TMS *Reflex* mis en place dans l'entreprise permet d'effectuer diverses tâches telles que :

- La visualisation du plan de transport actuel.
- La vérification de l'état d'avancement de chaque OT.
- Le suivi des anomalies et des retards sur le planning.
- Le suivi de toutes les opérations de transport en cours de façon simultanée.

## Chapitre I. Etude de l'existant et diagnostics

- Le *reporting* d'informations sur le transport. Cela peut inclure le numéro de l'OT, l'immatriculation du TR, la désignation du CSR ou encore l'état d'avancement actuel de la mission.
- L'accès à un historique des opérations précédentes.

### **5.2. Le processus de prise de décision**

Afin de mieux cerner la nature et les caractéristiques de la prise de décision au sein de la tour de contrôle, nous nous sommes penchés sur le cas de prise de décision de la part d'un collaborateur opérant au sein du service opérations, et sommes arrivés à la modélisation suivante :

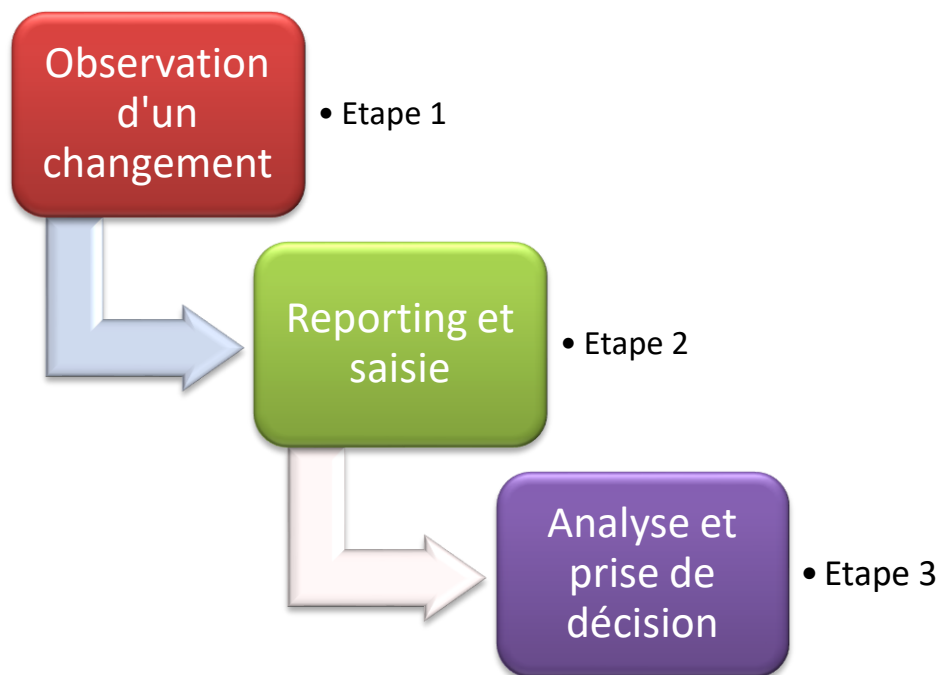


Figure 11 Processus de prise de décision - Opérations.

#### **Phase 1 : Observation d'un changement**

Cette phase est initiée par la remarque de d'un ajout (arrivée d'une nouvelle demande de transport dans les locaux) ou par la modification d'un existant (demande d'information concernant une mission en cours, demande d'annulation d'une demande ou encore demande de modification des fenêtres de temps de réponse ou du nombre de camions requis, ou encore la modification des lignes directrices établies par le top management (changement de politique, priorité client, recours aux affrétés, etc.).

#### **Phase 2 : Reporting et saisie**

Le processus de prise de décision est actuellement n'est pour l'instant pas encore automatisé chez NUMILOG, et repose donc majoritairement sur la capacité des collaborateurs à trouver rapidement une solution de réajustement de leur procédure aux changements qui se produisent.

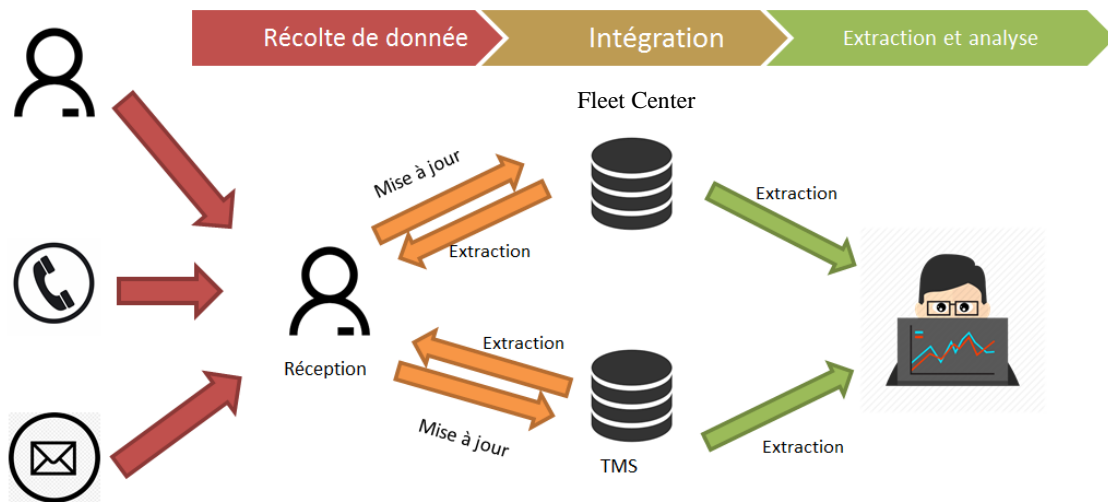


Figure 12 Processus de reporting et saisie -Opérations.

*Etape 1 : Récolte de données.*

A cette étape, nous avons observé l'arrivée de l'information depuis plusieurs sources : mails, appels téléphoniques ou plus directement l'arrivée directe depuis la parole d'un autre collaborateur.

*Etape 2 : Intégration.*

Une fois l'information réceptionnée, la création (ou modification) de son interprétation se fait simultanément sur les deux bases de données, du géologue Fleet center et du TMS Reflex. Cette double opération est due au fait qu'il n'y ait pas encore de migration directe possible entre les deux progiciels, et qu'il soit impératif de passer par Microsoft Excel afin de pouvoir transférer une donnée d'un outil à un autre.

*Etape 3 : Extraction et Analyse*

A présent que les données sont intégrées aux serveurs de l'entreprise, celles-ci sont à nouveau extraites par les opérateurs, et visualisées sous Excel. L'extraction vers ce dernier est due au fait que le logiciel permet le traitement et la modification des données, et représente également une plateforme d'échange et de coordination, permettant de synchroniser les activités et les décisions des différents acteurs entre eux.

### **Phase 3 : Analyse et prise de décision**

La dernière phase consiste en la prise de décision quant au choix de quel camion affecter à quel OT. Pour l'heure, la démarche d'analyse de données inhérente à cette prise de décision demeure strictement humaine, dans la mesure où les opérateurs utilisent les résultats de leurs échanges et de leur visualisation des données, pour ensuite recourir à leur expérience personnelle et leur connaissances des comportements et des changements de leurs clients ainsi que du marché, pour décider quel camion occasionnerait le moindre coût.

Très souvent, il arrive que les opérateurs réorientent les camions vers des destinations « à vide » afin d'aligner les positions des camions à leur connaissance des variations de la demande, afin de préparer la flotte à la tombée des commandes futures.

Afin que la prise de décision soit efficace, il est absolument nécessaire que la décision en question soit prise à temps. Dans notre contexte, le principal indicateur de performance est la réactivité, bien plus que la prévision. Cela vient du fait que la nature des activités de NUMILOG impose la préparation des équipes à réagir rapidement à des situations et des commandes très difficile à prévoir et à des localisations diverses et variées.

Cela justifie la décision stratégique de mettre en place des CLR de façon éparpillées autour des zones industrielles ou à forte concentration démographique sur tout le territoire national, facilitant ainsi la réaction rapide à une commande exclusive et qui requiert la création de boucles de transport inédites.

### **5.3. Evaluation de la qualité des données**

Dans la section qui va suivre, nous allons nous appuyer sur le référentiel d'Audit CAVAR pour l'analyse de l'état de la qualité des données issues du traitement de la division opérations de NUMILOG. Les différents points abordés et analysés au cours de cet audit seront ainsi : la fraîcheur des données, leurs disponibilités, la cohérence de ces dernières, leur traçabilité, leur exhaustivité, puis enfin leur sécurisation. Tous les résultats qui seront développés dans cet analyse ont été obtenues par le biais d'entretiens réalisés avec les managers et le personnel d'opération, durant la prise de connaissance des activités de l'entreprise :

#### **La fraîcheur des données**

L'analyse du processus de prise de décision dans la salle des opérations, et explicité dans la figure 13, nous a aidé à déterminer les informations suivantes :

Le temps que prends le processus, entre l'observation d'un changement et la prise de la décision relative à ce dernier, est assez important. Ce problème a pour origine, d'un côté la structure des systèmes informatiques servant de soutien aux opérations, du fait de la contrainte qui ne permet pas la migration des données d'une interface à une autre, mais aussi d'un autre côté, l'importance de la partie « humaine » du processus. En effet le processus repose majoritairement sur les opérateurs, ainsi que sur leur capacité à échanger et intégrer rapidement de nouvelles données au système global.

Enfin, concernant le temps de l'analyse et de la prise de décision, il dépend presque entièrement sur les aptitudes professionnelles de l'opérateur, ainsi que sur le degré de connaissance qu'il a de son marché et des marchés adjacents (ceux des clients).

#### **La disponibilité des données**

Cette sous-partie est destinée à répondre à plusieurs interrogations, qui sont :

- *Accessibilité des données : Le temps d'interrogations des bases de données est-il suffisants ?*

Il arrive assez souvent que les systèmes informatiques présentent des bugs, et le temps de traitement pour accéder à des données peut parfois être considérable. La nature du problème est ici technique :

- Le géologue et le TMS permettent la visualisation, le regroupement et la visualisation des données. Du fait de l'importance de leur taille, il arrive que le système mette du temps à répondre, surtout à son lancement.
- Cependant, le géologue présente un souci concernant la disponibilité des données historiques, notamment pour ce qui concerne la géolocalisation : en effet, il n'y a pas de sauvegarde effectuée sur les positions des camions, ce qui pourrait pourtant être d'une grande aide pour alimenter des modèles élaborés dans le but de réaliser des prévisions et d'anticiper les déplacements futurs de ces derniers.
- La mise à jour, la suppression ou encore l'ajout des données se fait à travers des tableaux Excel. Les données sont donc extraites depuis le géologue ou le TMS sous forme de tableaux Excel, puis traités manuellement par les opérateurs. A la fin de cette dernière étape, les changements sont réinjectés dans les systèmes. Ce simple problème de migration des données représente un coût majeur à l'entreprise en terme de temps de réponse.

Pour ce qui est de la prise de décision, la performance de requête reste encore sous-optimale. Le recours à l'expérience capitalisée par les opérateurs est certes une solution, mais elle est loin d'être optimale en termes de temps de réponse.

- *L'information parvient-elle jusqu'à son demandeur ?*

Il arrive que les données soit disponibles et accessibles à partir des différents outils mis à disposition des collaborateurs, mais qu'elle n'atteigne pas son destinataire, seulement parce qu'il ne sait pas où la trouver.

Un exemple de cela survient lorsqu'une information est détenue par l'un des collaborateurs, et que l'opérateur en a besoin. Il arrive même qu'on ne sache même pas si l'information se trouve au niveau de la tour de contrôle ou bien au niveau de l'agence, ou même tout simplement si elle est disponible.

- *Présentation des données : Les données sont-elles présentées de façon claire et éligible ?*

La présentation des données représente un problème de taille chez NUMILOG. Pour ce qui est du *Fleet Center*, les données sont présentées par le SIG de façon claire et concise, sous forme de tableaux de bord, de diagrammes et de graphiques regroupant les données selon les besoins de l'utilisateur.

Pour ce qui est du TMS, les données contenues sont affichées et regroupées dans un tableau, ou chaque camion et chaque mission qu'il effectue est regroupée dans une ligne. De ce fait, le tableau peut contenir des centaines de lignes, ce qui présente un souci d'ergonomie, qui peut occasionner des coûts temporels opérationnels.



- Assistance utilisateurs : *Les outils techniques et l'accompagnement sont-ils mis à disposition des collaborateurs ?*

NUMILOG forme les collaborateurs dès leur entrée en service pour les familiariser avec les différentes procédures, les règles de gestion et les outils techniques de l'entreprise.

Le but de la manœuvre est que chaque collaborateur puisse avoir une compréhension claire de toute la chaîne de valeur dans laquelle il est impliqué, en plus de ses responsabilités personnelles, afin de mettre à contribution chacune des personnes dans l'optimisation de la prise de décision.

Malgré cela, il arrive que les données ne soient pas disponibles à temps pour la prise de décision.

De ce fait, l'information est assez fragmentée au sein même du système d'information. L'existence de plusieurs bases de données, reliant à leur tour plusieurs structures comme les agences et les CLR en plus de la tour de contrôle, présente plusieurs complications pour la disponibilité ou l'accessibilité de l'information.

### **La cohérence des données**

La cohérence des données est un autre aspect traité par cet audit. Même si les collaborateurs tentent de préserver au maximum la cohérence entre les données stockées et les informations détenues par les différents acteurs, les analyses et les modifications apportées par ces derniers rendent cette tâche difficilement réalisable.

Le fait de se baser sur l'acteur humain pour prendre des décisions quant à la manipulation des données est également un point à soulever, puisqu'il est parfaitement envisageable que deux opérateurs aboutissent à des décisions radicalement différentes pour la même situation, alors qu'elles devraient être identiques.

Aussi, le problème de la standardisation des données se pose : en effet, les données ne sont pas standardisées, et peuvent être saisies de façons différentes, alors qu'elles pointent vers la même donnée.

Un autre problème est le niveau d'agrégation beaucoup trop élevé des données insérées : le paramètre région est en effet beaucoup trop pauvre en informations pour les besoins de l'entreprise. A titre d'exemple, un OT peut commencer et s'achever à Alger, mais un système pourrait en déduire que la distance entre les points de collecte et de livraison est nulle.

### **La traçabilité des données**

En ce qui concerne la traçabilité des données, l'entreprise ne rencontre pas de réel problème sur ce point. En effet, les modifications nécessitent l'interaction avec plusieurs systèmes de l'entreprise, et cette dernière veille à autoriser l'accès à ses serveurs uniquement depuis ses terminaux, qui sont également distribués aux différents collaborateurs.

Cette procédure permet une transparence et une traçabilité quant à la source de toute modification ou ajout ayant lieu dans les bases de données de l'entreprise.

### **L'exhaustivité des données**

Malgré ses serveurs personnels, NUMILOG n'est pas à proprement parler dotée d'une base de données centrale regroupant toutes les données relatives aux activités de logistique ou de transport.

En effet, nous avons mis en lumière précédemment que des données différentes étaient accessibles depuis le géologue et depuis le TMS. Cette décentralisation augmente le risque de corruption et de contradictions des informations.

### **La sécurisation des données**

La sécurité des données n'est pas vraiment une problématique majeure que rencontre l'entreprise. En effet, les serveurs stockant les données sont internes, et les employés sont tenus d'effectuer les manipulations relatives aux opérations, sur des ordinateurs qui sont des propriétés exclusives de NUMILOG. Ces normes, en plus d'assurer la traçabilité des opérations, permettent aussi de réduire le risque inhérent à la sécurité des informations stockées sur les clients et les activités de l'entreprise.

**Tableau 7 Récapitulatif de l'audit de qualité de données.**

| <b>Dimension de la donnée</b>    | <b>Observation</b>  |
|----------------------------------|---|
| <b>Fraîcheur des données</b>     | Les données (ou celles qui varient à temps réel) perdent de leur fraîcheur une fois que la prise de décision est effectuée, du fait du temps de réponse.  |
| <b>Disponibilité Des données</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Les données sont disponibles mais éparpillées entre les deux bases de données principales de l'entreprise.</li><li>➤ La source de la donnée n'est pas toujours identifiable par le destinataire de l'information.</li></ul> |
| <b>Cohérence des données</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ L'utilisation des données par deux opérateurs différents mène souvent à des résultats différents.</li><li>➤ Une standardisation, une normalisation et une augmentation de la granularité sont nécessaire.</li></ul>         |
| <b>Traçabilité des données</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Les données sont relativement traçables et les opérations sont parfaitement transparentes.</li></ul>  |
| <b>Exhaustivité des données</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ L'intégralité des données de l'entreprise est stockée dans son serveur mais est accessible depuis deux outils distincts.</li></ul>  |
| <b>Sécurisation des données</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ L'accès à la donnée est contrôlé et limité. Des niveaux d'habilitations sont mis en place.</li></ul>  |

### **5.4. Analyse des résultats et énoncé de la problématique**

L'audit déroulé dans la partie précédente a permis d'évaluer la maturité de l'aspect décisionnel du service opérations de la tour de contrôle.

Nous avons pu déduire en ce qui concerne les activités du service « opération » de la tour de contrôle, les dysfonctionnements suivants :

- La prise de décision quant à l'affectation des moyens présente un temps de réponse important.
- Les données sont accessibles depuis des sources multiples, avec l'impossibilité de migration de données directes entre ces entités.
- L'arrivée de nouvelles données n'est pas maîtrisée et se fait par le biais de moyens difficiles à tracer et fiabiliser.
- La prise de décision est élaborée en se basant sur une capitalisation de connaissances de la part des opérateurs et ne se base sur aucun outil scientifique, en privilégiant l'expérience et la compétence humaine pour l'affectation des camions aux OT.

De ces dysfonctionnements, nous sélectionnons tout particulièrement le dernier point cité, qui pourrait être un bon point de départ pour l'amélioration des activités du service.

En nous basant sur ce dernier, nous pouvons formuler notre problématique par la question suivante :

### **Comment améliorer l'efficacité de la prise de décision dans le cadre de l'affectation des moyens ?**

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté l'entreprise, ses activités, ses structures et ses processus. La cartographie de ces derniers a permis de mieux cerner le comportement des acteurs et les interactions entre eux. Cela s'est suivi par une étude de l'existant décisionnel et le déroulement d'un audit sur la qualité des données et de la prise de décision, qui a abouti, au final, à une conclusion sur la nécessité de la mise en place d'un outil d'aide à la décision pour l'affectation des moyens de transport au sein de la tour de contrôle.

Dans ce qui va suivre, nous allons faire un tour de l'existant de la littérature scientifique, ayant traité des problèmes similaires à ceux que nous rencontrons ici. Cela nous permettra de formuler une hypothèse de résolution.

## Chapitre II : Etat de l'art

### Chapitre II. Etat de l'art

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude des applications et études trouvables dans les ouvrages ou les publications scientifiques, ayant un lien de près ou de loin avec le domaine de recherche dans lequel s'inscrit notre problématique.

Une première partie sera consacrée à la conceptualisation de la logistique dans sa version « quantitative », avec un développement sur les différents éléments qui la composent. Ce développement sera suivi d'une étude des problèmes de tournées de véhicules, un axe de recherche bien connu de la recherche opérationnelle. Une fois cela mis en exergue, un troisième axe traitera de l'extension dynamique de ces problèmes pour y intégrer des contraintes temporelles et de réactivité.

Enfin, nous clorons le chapitre en citant quelques une des méthodes heuristiques les plus connues, et qui seront essentielles à l'élaboration de notre solution finale.

#### 1. Logistique et prise de décision

##### 1.1. Définition

La logistique peut être définie comme l'activité cherchant à maîtriser les flux physiques d'une entité afin de mettre à disposition et de gérer des ressources correspondant aux besoins.

Il s'agit donc d'optimiser la gestion des moyens pour atteindre les objectifs prédéfinis.

C'est dans le domaine militaire que le terme logistique est apparu, il s'agissait de l'organisation du ravitaillement des troupes afin qu'elles puissent conserver leurs capacités opérationnelles dans la durée.

Le Supply Chain Management (SCM), ou gestion de la chaîne logistique, est un savoir-faire d'application qui vise à mettre en œuvre une gestion opérationnelle pour veiller au respect - sur le terrain- du bon enchaînement des différentes tâches, constituant alors une « chaîne » qui composera, à terme, le système logistique de l'organisation concernée.

##### 1.2. Enjeux

La bonne gestion de la chaîne logistique d'une organisation est l'un des points majeurs qu'elle doit prendre en compte dans le déroulement de ses activités. Le **transport des marchandises** est justement l'un des principaux domaines où le Supply Chain Management peut s'avérer décisif. En effet, l'optimisation du processus de transport présente plusieurs enjeux de taille :

- Tout d'abord, la maîtrise de la chaîne logistique pourrait représenter un réel **avantage concurrentiel**, et permettra de jouer directement sur la compétitivité des prix proposés.
- La gestion de la **qualité** des services proposés aux clients, présentant ainsi un avantage de fidélisation, représenter, à terme, une barrière à l'entrée, et une réelle sécurité pour l'entreprise.
- La gestion au **moindre coût** des activités de transport, représentant une garantie pour la marge bénéficiaire de la firme.
- La garantie de l'intégrité des personnes et de l'environnement, paramètre essentiel de sécurité et de sûreté pour l'entreprise.

### 1.3. La prise de décision dans la logistique

Une logistique est dite quantitative si elle consiste en l'optimisation des décisions prises par une entreprise dans le cadre de sa gestion de flux physiques au quotidien. Celles-ci peuvent se compter en milliers voire en millions, est donc l'informatique à un rôle crucial dans cette démarche. La logistique étant une des premières fonctions à être informatisée.

Ce type de logistique met l'accent sur la suggestion automatique de décision basée sur des modèles mathématiques très performants et sur un flux d'informations constant et fiable.

#### Eligibilité des décisions

Une décision est une réponse à un problème logistique sur lequel il est possible d'agir et dont les conséquences sont tangibles sur la chaîne d'approvisionnement

Une décision prise dans le domaine de la logistique doit donc adopter un point de vue numérique et statistique sur les difficultés rencontrées. Toutefois, ce point de vue ne peut être adapté à tous les cas de figure et donc les conditions suivantes doivent être remplies afin de définir si une perspective quantitative est adaptée à une difficulté donnée

- **Répétabilité** : l'élaboration d'une décision fondée sur une solution numérique nécessite des efforts à haut cout, par conséquent pour optimiser la rentabilité d'une chaîne d'approvisionnement le processus d'optimisation ne doit pas coûter plus que les bénéfices attendus. D'une manière générale, les problèmes routiniers sont de bien meilleurs candidats à une approche quantitative que les problèmes exceptionnels.
- **Décisions limitées** : afin que la complexité de la solution logicielle soit maîtrisée, il est préférable de privilégier les problèmes logistiques résolubles par des décisions d'un type bien défini, qui, idéalement, reposent sur des chiffres. Par exemple, un processus automatisé peut facilement apporter une réponse pertinente à une question circonscrite comme la rentabilité ou non d'accepter un ordre de transport. À l'inverse, une question très ouverte comme la définition des modifications à apporter au fonctionnement d'une équipe de gestion d'une flotte n'obtiendra pas de réponse satisfaisante de façon automatique
- **Historiques des données** : les solutions logicielles ne peuvent pas fonctionner à partir de rien. Les connaissances nécessaires à la résolution de problèmes logistiques peuvent être intégrées dans le logiciel en tant que règles définies manuellement.

Cependant, la création d'un ensemble de règles cohérentes et performantes dédiées à la prise de décisions est une démarche ardue. La plupart des approches modernes extraient toutes les connaissances nécessaires de l'historique des données (ventes, achats, etc.) et restreignent la saisie de règles à des politiques logistiques bien précises.

- **Les contraintes** : Les décisions logistiques sont généralement limitées par des contraintes. Les contraintes sont fréquemment issues de moteurs économiques de base associés aux opérations d'exploitation logistique. Cependant, les contraintes peuvent venir de règles organisationnelles arbitraires.

### Définition des priorités

Presque la majorité des décisions logistiques sont interdépendantes : chaque camion affecté à un ordre de transport ne peut être affecté à un autre. Ces corrélations sont généralement indirectes et difficiles à résoudre d'un point de vue numérique, mais elles n'en sont pas moins importantes d'un point de vue logistique, et surtout stratégique. Si le taux de service global est de 95 %, ce qui est très bon, mais que le taux de service offert au plus gros client est de 75 % parce que tous les camions sont indisponibles, l'entreprise risque sérieusement de le perdre.

La méthode la plus simple pour exploiter au mieux des ressources logistiques partagées, mais limitées, consiste à donner différentes priorités aux décisions

En pratique, la définition des priorités nécessite de modifier en profondeur le logiciel d'analyse sur lequel repose la chaîne logistique. Au lieu de traiter chaque décision isolément, comme dans les méthodes primitives (méthode min/max par exemple), toutes les décisions sont rassemblées et triées en fonction de leur rentabilité estimée. Un tel processus est faisable avec des solutions logicielles modernes, mais nécessite beaucoup plus de ressources de calcul que les anciennes méthodes.

Les décisions doivent être coordonnées pour que toutes les contraintes transversales qui s'appliquent aux opérations logistiques soient prises en compte.

## 2. La gestion des problèmes tournées de véhicules statiques (ou VRP)

Le problème de transport occupe une place fondamentale dans la vie économique d'une société, les problèmes de transport les plus connus sont le problème du voyageur de commerce (*Traveling Salesman Problem TSP*) et le problème du postier chinois (*Chinese Postman Problem CPP*). Le TSP permet de visiter un ensemble de clients avec un seul camion, le problème étant de trouver l'ordre optimal dans lequel chaque client sera visité.

Le problème de tournées de véhicules (*Vehicles Routing Problem VRP*) est la combinaison de plusieurs TSP, et consiste donc à déterminer un ensemble optimal de circuit de distribution à partir d'un ou plusieurs dépôts afin de desservir un ensemble de clients sans faire violer les contraintes de volume, de capacité et du temps.

Il existe de très nombreuses variantes du VRP dans la littérature selon le domaine d'application de ce dernier, notamment dans le transport et la distribution. Le VRP a été introduit pour la première fois par Dantzig et al.

Dans ce qui suit, nous allons étudier les différentes formes du VRP dans sa version **statique**, c'est-à-dire appliquée à des cas où l'on suppose l'information parfaitement connue avant le début des opérations, et qui ne change pas au cours du temps.

### Formulation mathématique du VRP

La formule du VRP peut être présentée comme suit (d'après *Laporte* 1992 et l'article : *Liong, Omar, Vehicle routing problem : models and solutions*, université de Kebangsaan Malaisie)

- $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  représente les différents points clés, 1 représente le dépôt de l'entreprise.
- $E$  ensemble d'arc liant les éléments de  $V$ .

Soit  $x_{ij}$  une variable entière.  $x_{ij}$  peut prendre les valeurs  $\{0, 1\}$ ,  $\forall \{i, j\} \in E \setminus \{0, j\} : j \in V$  et les valeurs  $\{0, 1, 2\}$ ,  $\forall \{0, j\} \in E, j \in V$ . A noter que  $X_{0j} = 2$  quand la route qui inclue le client  $J$  est sélectionné dans la solution.

$D_{ij}$  représente la distance entre  $i$  et  $j$  :

$$\min \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij}$$

Sous contrainte :

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad \forall i \in V \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall \{i, j\} \in E ; i \neq j \quad (3)$$



Nous allons présenter dans la section qui suit les variantes les plus connues du VRP :

### 2.1. Problème de tournées de véhicules avec contraintes de capacité (Capacited Vehicle Routing Problem CVRP)

C'est la version la plus fondamentale du VRP où l'on considère une flotte de  $M$  véhicules de capacité  $Q$  (la même pour chaque véhicule) basée dans un dépôt  $D$  et qui doit servir  $N$  clients avec des demandes  $q_i$  en marchandise. L'ensemble des clients servis par un véhicule désigne sa tournée, chaque client doit être servi une seule fois seulement et chaque tournée commence et se termine au dépôt  $D$ . L'objectif de CVRP est de minimiser le coût total  $C$ , qui est la somme des distances (ou des temps) de parcours des tournées tout en respectant la contrainte de capacité :

Pour chaque tournée, nous intégrons donc la contrainte suivante à respecter :

$$\sum_{i=1}^N q_i \leq Q.$$

### 2.2. Problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps (Vehicle Routing Problem with Time Windows VRPTW)

Le VRPTW spécifie que pour chaque client  $i$  de  $N$ , on impose une fenêtre de temps durant laquelle le client doit être livré.  $[e_i, l_i]$  représente l'intervalle de temps au cours duquel le service du client (par exemple le chargement ou le déchargement de marchandises) doit être accompli. A noter que l'intervalle de temps au niveau du dépôt  $D$  est  $[e_D, l_D]$ . L'objectif du VRPTW est alors de minimiser la distance totale parcourue le nombre de véhicules et le nombre de véhicules pour servir les clients sans violer les contraintes de fenêtres de temps pour chaque client.

Le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps est dit à contraintes dures, lorsqu'il est impossible de servir un client  $i$  en dehors de son intervalle de temps  $[e_i, l_i]$  et il est dit à contraintes souples, lorsque les véhicules peuvent servir le client en dehors de sa fenêtre de temps mais au prix d'une certaine pénalité.

### 2.3. Le problème de ramassage et de livraison (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery VRPPD)

Le VRPPD est très similaire au VRP à la simple différence que dans ce cas-là, les marchandises livrées peuvent être prises, soit au dépôt, soit chez les livreurs. Ce modèle comprend deux catégories de problèmes :

- unpaired pickup and delivery points:

Chaque unité ramassée (au dépôt ou chez un livreur) peut être utilisée pour livrer n'importe quel client receveur, on dit donc que les demandes des clients sont indépendantes.

Ce problème est généralement désigné par Pickup and Delivery VRP (PDVRP) et il est mono produit, cela veut dire que, toutes les marchandises transportées sont du même type

- paired pickup and delivery points :

Dans cette catégorie les demandes des clients sont liées, ce qui signifie que, chaque transport doit faire un lien entre une origine et une destination précise. Dans la littérature, on désigne ce type de problème par le *Pickup and Delivery Problem* (PDP)

### Formulation mathématique du VRPPD

Le problème de type VRPPD peut être formulé en utilisant la méthode GAP (*Generalise Assignment Procedure*), tel qu'énoncé par Fisher & Jaikumar 1981. GAP est utilisé pour trouver le coût minimum de l'affectation de  $v$  véhicules à  $n$  nœud, de façon à ce que chaque véhicule soit affecté à un et un seul nœud.

- $v = \{1, 2, \dots, V\}$  représente la flotte de véhicules
- $n = \{1, 2, \dots, N\}$  représente des nœuds, les points de dépôts et de collecte
- $C_n$  est le coût pour assigner un véhicule  $v$  à un nœud  $n$ ,  $\forall n \in \mathbb{N}$
- $u_n$  la charge maximale qui doit être transporté au nœud  $n$
- $t_v$  la capacité de charge restante de chaque véhicule  $v$  partiellement chargé

On définit dès lors une variable binaire d'affectation comme suit :

$$X_{vn} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } v \text{ est assigné au nœud } n. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

On obtient la fonction :

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} C_n X_{vn}$$

Sous contraintes :

$$\sum_{v \in V} x_{vn} = 1 \quad \text{pour } n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$\sum_{n \in N} u_n X_{vn} \leq t_v \quad \text{pour } v = 1, 2, \dots, V \quad (2)$$

$$X_{vn} \in \{0,1\} \text{ pour } n = 1,2, \dots, N \text{ et } v = 1,2, \dots, V \quad (3)$$

- (1) Pour s'assurer que pour chaque nœud est affecté à un et un seul véhicule.
- (2) Pour s'assurer que la charge à transporter ne dépasse pas la capacité du véhicule.

### Autre Variantes du VRP

#### 2.4. Le problème de tournées de véhicules avec retour (*Vehicle Routing Problem with Backhauls VRPB*)

Le VRPB comporte deux types de clients : receveurs et livreurs. Toutes les marchandises livrées sont prises au dépôt et toutes les marchandises récupérées sont retournées au même dépôt.

On distingue trois catégories du VRPB :

- *VRP with Clustered Backhauls (VRPCB)*, où, toutes les livraisons sont effectuées avant le premier ramassage.
- *VRP with Mixed Linehauls and Backhauls (VRPMB)*, où, les ramassages et les livraisons peuvent être mêlés dans une même tournée.
- *VRP with Simultaneous Delivery and Pickup (VRPSDP)*, où, chaque client  $i$  peut être receveur et livreur en même temps

#### 2.5. Le problème de tournées de véhicules stochastique (*Stochastic Vehicle Routing Problem SVRP*)

C'est un VRP dans lequel au moins un élément du problème est aléatoire, parmi ses variantes les plus connues :

- *VRP with Stochastic Customers (VRPSC)*, où,  $P_i$  représente la probabilité qu'un client  $i$  fasse une demande
- *VRP with Stochastic Demands (VRPSD)*, dans lequel, la demande d'un client  $i$  est une variable aléatoire.
- *VRP with Stochastic Travel Times (VRPSTT)*, dans lequel, le temps de service  $t_i$  d'un client  $i$  et le temps de trajet  $t_{ij}$  (entre un client  $i$  et un autre client  $j$ ) sont des variables aléatoires.

#### 2.6. Le problème de tournées de véhicules multi-périodique (*Periodic Vehicle Routing Problem PVRP*)

Le PVRP considère une planification à  $M$  périodes. Chaque client  $i$  doit être visité  $k$  fois ( $1 \leq k \leq M$ ), et les demandes quotidiennes sont fixes. A noter que, si  $M = 1$ , le PVRP devient alors un problème de tournées de véhicules classique.

**2.7. Le problème de tournées de véhicules avec plusieurs dépôts (*Multi-Depot Vehicle Routing Problem MDVRP*)**

Comme son nom l'indique, comporte plusieurs dépôts dans lesquels sont localisés les véhicules. Chaque tournée d'un véhicule doit commencer et finir au même dépôt. Ainsi, chaque client doit être visité exactement une fois par l'un des véhicules situés dans les dépôts indiqués par ce client, sachant que la demande totale de marchandises doit être servie à partir de plusieurs dépôts, l'objectif du MDVRP, est de minimiser la flotte de véhicules et la somme du temps de tournées

**2.8. Le problèmes d'orientation d'équipes (*Team Orienteering Problem TOP*) :**

Le TOP est une variante du VRP dans laquelle on n'est pas obligé de visiter tous les N clients. Ainsi, le TOP consiste à trouver un ensemble de M chemins disjoints partant tous d'un même dépôt D et ayant la même destination A. L'objectif du TOP, est de maximiser le score total P correspondant à la somme des scores récoltés par chaque véhicule au niveau des clients visités sur les M chemins tout en respectant une longueur de temps maximale  $T_{max}$  pour chaque véhicule.

Les différentes variantes du VRP explicitées précédemment sont à présent réunies dans ce tableau récapitulatif : (Tableau 8)

Tableau 8 Les différentes variantes de VRP.

|                   | Dépôt    | Type de flotte      | Taille de flotte | Nature de la demande | Période   | Coûts | Fenêtres de temps | Capacité |
|-------------------|----------|---------------------|------------------|----------------------|-----------|-------|-------------------|----------|
| <b>VRP</b>        | Unique   | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes |                   |          |
| <b>CVRP</b>       | Unique   | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes |                   | variable |
| <b>VRPTW</b>      | Unique   | Homogène/hétérogène | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes | Dures/souples     |          |
| <b>VRPB</b>       | Multiple | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes |                   |          |
| <b>VRPP<br/>D</b> | Multiple | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes |                   |          |
| <b>SVRP</b>       | Unique   | Homogène            | Multi-véhicule   | Stochastique         | Une       | Var.  |                   |          |
| <b>PVRP</b>       | Unique   | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | plusieurs | fixes |                   |          |
| <b>MDVRP</b>      | Multiple | Homogène            | Multi-véhicule   | Déterministe         | Une       | fixes |                   |          |

En se basant sur ce tableau, nous pouvons émettre l'hypothèse que notre problème actuel, qui est un problème de tournées de véhicules multiple avec points de collecte et de livraison, se rapproche beaucoup plus du cas du type VRPPD. Toutefois, il faut préciser qu'il ne colle pas totalement à cette définition, la flotte étant plus hétérogène et les fenêtres de temps moins souples.

Jusque-là, nous n'avons vu que les variantes statiques, qui n'admettait pas le manque d'informations symptomatique des cas de la vie réelle. Aussi, ces dernières ne différaient dans leur ensemble, que par les contraintes qui les régissent. Nous allons voir dans la section suivante, des solutions intégrant le manque d'information, et qui peuvent différer en fonction de facteurs autres que les contraintes de leurs systèmes.

### **3. La gestion des problèmes tournées de véhicules dynamique (ou DVRP)**

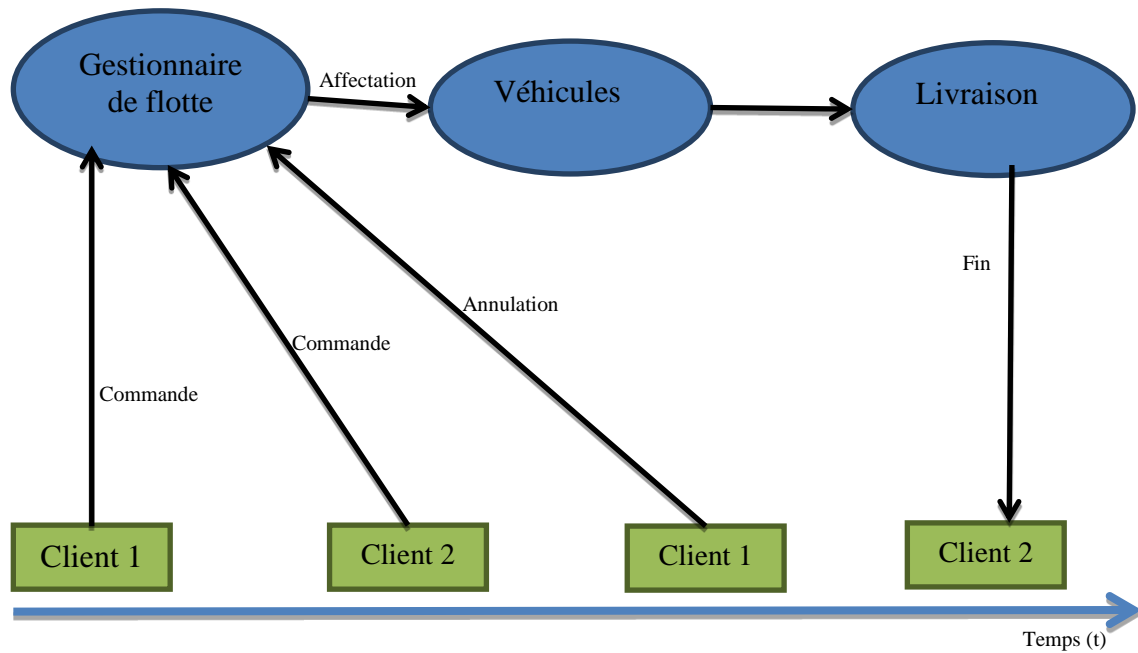
Dans cette troisième partie, nous parlerons du management dynamique des flottes, et de son développement dans la littérature scientifique. Par la suite, nous évoquerons les différentes variantes du problème d'optimisation de tournées de véhicules, avec un historique de certaines applications pratique. Enfin, nous déterminerons et justifierons le choix de la méthode, qui servira par la suite de fondations pour l'élaboration de la solution de notre problème.

#### **3.1. Tournées de véhicules et optimisation d'itinéraires en temps réel**

Le domaine du management des flottes en temps réel est certes jeune, mais il croît rapidement depuis quelques années, du fait des avancées technologiques et économiques qui ont modernisé et ouvert les marchés, les rendant significativement plus compétitifs. Les contraintes de temps, devenue plus une question de survie de nos jours, impose l'élaboration d'un système de distribution efficient, réactif, mais aussi fatalement l'accès à un grand nombre d'informations. Heureusement, les NTIC apportent une solution efficace, et économique, pour obtenir toutes les informations -en temps réel-, nécessaire au fonctionnement d'un tel système.

De plus, la fenêtre de temps pour traiter ces données est elle aussi limitée, d'où la nécessité d'élaborer un système apte à intégrer les données en satisfaisant la limite de temps inhérente aux spécificités de l'environnement changeant.

Dans cette partie, nous parlerons des problèmes d'affectation dynamique de véhicules, qui peuvent être -dans les grandes lignes- décrites comme suit :



**Figure 13 Modélisation d'un cas d'affectation dynamique de flotte.**

Nous considérons une flotte de véhicules devant satisfaire des commandes clients qui arrivent continuellement au fil du temps. A cela s'ajoute certains événements qui peuvent également survenir en temps réel (pannes, annulation, modifications ... etc.) Ainsi, des décisions doivent être prises, et ce dans un environnement qui change au cours du temps, à l'opposé des cas statiques où toutes les informations sont connues et fixe pour une durée de temps relativement large, dans le sens où elle laisse une marge temporelle conséquente pour la prise de décisions.

La qualité des solutions élaborées dépendra alors des coûts opérationnels et des revenus, à savoir le nombre total de requêtes satisfaites, la distance totale parcourue par le véhicule, les retards aux localisations des clients. Plusieurs publications et ouvrages traitent de ce problème qui connaît des applications assez variées dans la vie réelle, allant du service de taxi ou du service d'urgence, aux transporteurs logistiques de biens et de marchandise en quantités industrielles, nous pourrions citer à titre d'exemple *Cordeau et al.(2004)*, *Desrosiers et al.(1995)*, *Gendreau et Potvin (1998,2004)*, *Ghiani et al. (2003)*, *Ichoua et al.(2001)*, *Powell et al.(1995)*, *Psaraftis (1988,1995)* et *Seguin et al.(1997)*.

Deux dimensions principales permettent de mettre en avant la différence entre chacune de ces applications pratiques :

- *Fréquence de changement.* Cela renvoie directement à la fréquence d'apparition de nouvelles requêtes, et impacte donc fatalement, le degré de dynamisme de la situation à faire face.
- *Urgence.* Cette notion peut être définie comme la différence entre le moment de l'arrivée d'une nouvelle requête et le moment où le service commence. En définitive, plus l'urgence est élevée, plus la durée entre ces deux moments est réduite. Cela réduit la marge de manœuvre du prestataire de service pour l'optimisation des déplacements de sa flotte, en imposant un temps de réponse plus ou moins court.

La figure représente le mouvement d'un véhicule suivant une programmation dynamique, qui se compose en trois types différents de séquences à tout instant  $t$  :

- *Déplacements passés*, qui correspond à la partie de la boucle déjà exécutée et non-modifiable.
- *Déplacement actuel* qui est l'instance actuellement exécutée pour atteindre la prochaine destination du véhicule.
- *Déplacements planifiés* qui indiquent les instances futures établies par le planning actuel.

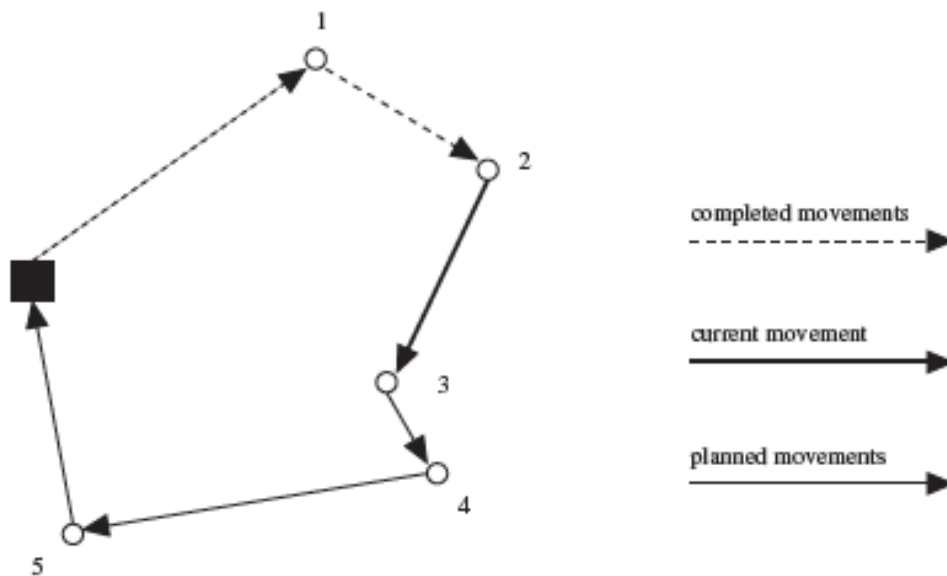


Figure 14 Exemple d'une boucle dynamique à un instant  $t$ .

Ce qui nous intéresse sera donc les cas d'affectation dynamique avec incertitude sur les arrivées des nouvelles demandes. Nous développerons cela en deux parties qui nous intéressent dans le cadre de ce travail : une première partie traitera de l'élaboration de solutions adaptées depuis des cas d'affectations statiques par des approches méta-heuristiques. La seconde section quant à elle, évoquera les possibilités de modification d'itinéraires de véhicules déjà affectés.

### 3.1.1. Adaptation des algorithmes statiques à des applications dynamiques

Nous verrons dans ce qui suit des algorithmes trouvables dans la littérature et conçu à la base pour s'appliquer sur des cas statiques, où les demandes sont parfaitement connues, avec une très large fenêtre de temps pour les satisfaire et un environnement relativement statique et donc, maîtrisable (*Psaraftis et al.* 1985). En somme, plus l'horizon temporel est grand, et plus le système sera riche en termes de commandes, tandis que l'optimisation deviendra plus compliquée à atteindre.

Etant donné la nature de notre problématique, nous nous focaliserons sur les problèmes dits « *Many to Many* », qui se caractérisent donc par l'existence de plusieurs localisations de départ et d'arrivée. En résulte de cette particularité, des algorithmes de résolution assez spécifiques, et des situations bien plus complexes que pour des problèmes de *One to Many* ou *Many to One*.

En résumé, un lieu de départ et d'arrivée est affecté à chaque véhicule, ou « moyen », et ce à chaque nouvelle occurrence de requête client. Parmi les applications possibles :

- Un service de courrier ou de livraison expresse en zone urbaine.
- Un service de transport à la demande.
- Un service de transports de biens et produits variés.

Dès lors, nous pouvons faire la distinction, dans ce qui se trouve dans la littérature, entre deux (02) différents types d'adaptation :

### 3.1.1.1. Les procédures de mise à jour locales

Dans ce cas-là, nous avons recours aux heuristiques pour intégrer rapidement les nouvelles demandes aux activités déjà établies. Le mécanisme d'insertion a été adapté pour pouvoir gérer l'insertion à la fois de nouveaux points de départ et d'arrivée.

Nous pouvons trouver dans la littérature scientifique plusieurs travaux qui ont traités de ces adaptations :

*Rousseau et Roy* (1988) traitait de l'application à un service de poste en zone urbaine. *Madsen et Al.* (1995a), *Roy et Al.*(1984), et *Wilson et Colvin* (1977) sont autant d'exemples des travaux sur l'application de ce modèle à des services à la demande de transport. Enfin, *Swihart et Papastavrou* (1999) se sont basés sur les travaux de *Bertsimas et Van Ryzin* (1991) pour calquer cette modélisation sur des problématiques de type DTRP.

### 3.1.1.2. Les procédures de ré-optimisation

Une des premières approches apparues pour mettre en exergue cette méthode proposait un algorithme composé d'une série de problèmes statiques résolus à travers une programmation dynamique, dans lequel le vecteur statique  $(L, k_1, k_2)$  est défini comme suit :

- $L$  est la position du véhicule, et prends les valeurs  $L=0$  au dépôt,  $L= i$  au point de chargement et  $L=i+n$  au point de déchargement.
- $K_i$  est le statut affecté à chaque client  $i$  :

$$K_i = \begin{cases} 1 & \text{si la commande a été livrée.} \\ 2 & \text{si la commande a été chargée} \\ 3 & \text{si la commande n'est pas encore chargée.} \end{cases}$$



*Psaraftis* a ensuite généraliser son approche en 1983 pour y intégrer les contraintes temporelles.

Une approche similaire a été développée dans les travaux de *Caramia et Al.*(2002) pour le cas d'un transport métropolitain : une nouvelle demande était insérée dans l'une des routes planifiées au préalable, et le tout était alors séquencé de manière optimale à travers un algorithme de programmation dynamique, réalisable du fait de la capacité limitée des véhicules, qui donnait alors des boucles relativement courtes.

*Krumke et Al.* (2002) ont également opté pour cette optique pour un problème de tournées de véhicules multi-dépôt avec fenêtre de temps, rencontré par une firme de dépannage automobile allemande. Une méthode de génération de colonnes « sur mesure » a été ajoutée pour les demandes arrivant en continu, à une série de problème statiques sur les demandes déjà connues.

*Savelsbergh et Sol* (1998) ont par la suite allié approximation et optimisation des tournées pour trouver un compromis acceptable entre temps de réponse et qualité de service, pour le cas d'une entreprise de transport de biens d'une envergure nationale.

*Rivard* (1981) a quant à lui employé des procédures d'insertion puis de ré-optimisation pour un problème de transport à la demande : à des périodes de temps délimitées, les boucles sont ré-optimisées à travers la procédure suivante, où  $M$  est un paramètre,  $i$  est une demande appartenant à une boucle  $R$  :

- Retirer  $i$  de  $R$  et mettre à jour les temps de livraison et de départ des requêtes restantes.
- Choisir les  $M$  meilleurs boucle pour  $i$  suivant le critère du moindre décalage des temps de la boucle suivant l'insertion de  $i$  pour les boucles restantes.
- Parmi les  $M$  boucles, en sélectionner une suivant un critère de moindre coût.

*Gendreau et Al.* (1998) se sont inspiré des travaux de *Glover* (1996) pour appliquer un algorithme de recherche tabou sur un service de courrier express : en résulta une modification des itinéraires dans les quartiers basée sur un système déjection des demandes accusant une violation de contraintes vers une autre boucle. Ce phénomène prenait fin une fois que l'insertion de la demande dans une nouvelle boucle ne conduisait à aucune éjection possible. En entrée, pour des soucis de temps de réponse, un problème de sélection du plus court chemin est alors élaboré pour déterminer la meilleure boucle d'éjection possible dans un quartier.

### 3.1.2. L'approche multi-plans (MPA)

Il s'agit plutôt d'un *framework* de résolution de problèmes où plusieurs plans de boucles sont maintenus selon les demandes connues (*Bent et Van Hentenrick*,2004), chaque plan étant défini comme un groupe de véhicules desservant un ensemble de requêtes connues. A chaque itération, les différents plan sont mis à jour pour rester cohérents avec le plan sélectionné jusqu'à la prochaine occurrence (ou évènement). En résulte donc un groupe de solutions utilisées par la suite pour alimenter une recherche tabou. *Gendreau et al.*(1999) démontrent les bénéfices d'une approche à plans multiples par rapport à une vision mono-plan.

En général, l'être humain tend à avoir recours à son expérience et à sa connaissance des clients pour la prise de décision. Leurs pratiques peuvent globalement être regroupées en deux grandes familles : la diversion et l'anticipation de demandes futures. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéresserons uniquement au phénomène de diversion, la prévision dépassant le champ d'étude qui nous est délimité.

### 3.1.3. Le principe de diversion

La diversion n'a que rarement été évoquée dans la littérature scientifique, et se définit comme une opération qui consiste à « réorienter » un véhicule depuis sa localisation actuelle envers une nouvelle demande apparue dans les environs de cette dernière, et qui diffère de la destination du véhicule en question établie au préalable. Ceci n'est possible que du fait des avancées des NTIC. Véritables précurseurs dans ce thème, *Regan et Al.* (1995) furent les premiers à clairement expliciter et théoriser le concept de diversion, lors de l'étude d'une flotte de camions à chargement incomplet.

*Ichoua et Al.* ont par la suite repris ces travaux et l'ont généralisé pour obtenir une nouvelle stratégie mettant en œuvre en parallèle, la procédure de recherche tabou mise au point par *Gendreau et Al.* (1999) : quand une nouvelle demande arrive, elle est insérée dans le meilleur point possible des boucles, en incluant les points se trouvant entre la position actuelle du camion et sa prochaine destination, qui est justement la définition même de la diversion directe. La recherche tabou vient par la suite renforcer la solution, avec la possibilité de déplacer n'importe quel autre véhicule entre sa localisation et sa destination future, et ce dans le but d'atteindre la quasi-optimalité, voire l'optimalité. Autrement dit, le point de départ des boucles du système n'est plus une destination, mais la localisation en temps réel du véhicule. A la fin du processus, plusieurs véhicules ont changé de destination, pas seulement ceux qui ont subi une diversion.

### 3.2. Classification des différents systèmes dynamiques de tournées de véhicules (DVRP)

Le problème de tournée de véhicules, ou VRP, est un type de problème fréquemment rencontré dans le domaine de la recherche opérationnelle, et qui a été traité durant les trois dernières décennies dans tellement d'ouvrages qu'il peut être élevé au rang de domaine à part entière. Dans sa définition la plus fondamentale, un VRP consiste en l'élaboration d'un certain nombre de trajets pour une flotte de véhicules visant à satisfaire des demandes relativement éloignées d'un point de vue géographique. A cela viennent s'ajouter des éléments de la vie réelle telle que des fenêtres limitées de temps, qui viendront représenter des contraintes supplémentaires à prendre en considération durant l'élaboration d'une solution.

Ce contexte est donc parfait pour l'application de méthodes d'optimisation basées sur les mathématiques avancées. Toutefois, à mesure que l'on se rapproche du contexte de la vie réelle, la théorie devient de moins en moins représentative, du fait que l'information tend à être incertaine voire totalement inconnue durant la planification.

Ainsi, à l'opposé des VRP classique qui ont tendance à se révéler statiques voir déterministes –étant basé sur l'hypothèse que les différentes informations relatives aux demandes sont totalement et exactement connues bien avant l'exécution du service-, le problème de tournée de véhicules dynamiques, ou DVRP, admettent la possibilité qu'une requête puissent tomber après le début des opérations, et permettent notamment d'intégrer ces dernières aux boucles déjà existantes.

La naissance de ces concepts est étroitement liée aux récentes avancées technologiques. Dans un souci de compétitivité et d'efficacité opérationnelle, la majorité des prestataires de service (quel que soit leurs tailles) ont équipés les véhicules composant leurs flottes de systèmes GPS/SIG, afin de contrôler la position et la réorientation de ces derniers à tout moment. De plus, le développement et l'implémentation des ERP, activité qui a explosé ces dernières décennies, permet aux décideurs de lier les données sur les clients aux données relatives aux activités de l'entreprise.

En contraste à cela, le besoin du marché a naturellement lui aussi évolué. Le client ne doit plus formuler sa demande un jour avant l'exécution du service concerné. Du fait de l'avancée d'Internet, le temps de réponse des prestations de services a très significativement rétréci, et la logistique dite Juste-à-Temps croît d'année en année.

Dans cette partie, nous parlerons dans un premier temps des principales caractéristiques d'un DVRP. Nous effectuerons par la suite une comparaison entre les VRP statiques et dynamiques. Ces deux points seront suivis d'une échelle de mesure du degré de dynamisme d'un problème, qui servira à son tour à faire une classification de ce dernier en termes de dynamisme. Enfin, nous verrons comment il est possible de mesurer le degré de performance d'un problème dynamique.

### 3.2.1. Caractéristiques d'un problème de type DVRP :

Afin de mieux comprendre la notion de problème dynamique de tournées, nous nous pencherons sur la définition donnée par Psaraftis en 1988, puisque ce dernier figure parmi les pionniers de l'extension dynamique des problèmes de tournées VRP statiques classiques.

- *“ If the output of a certain formulation is a set of preplanned routes that are not re-optimized and are computed from inputs that do not evolve in real-time “*
- *“If the output is not a set of routes, but rather a policy that prescribes how the routes should evolve as a function of those inputs that evolve in real-time”*

*Psaraftis, 1988.*

Ces deux phrases permettent de caractériser de façon claire et concise, les problèmes de tournées de véhicules statiques et dynamiques (respectivement). De cela, il devient évident que la dimension temporelle joue un rôle majeur –pour ne pas dire vital– dans la catégorisation d'un problème donné. En réalité, c'est plutôt le moment du processus à partir duquel nous détenons l'information qui sera le critère décisif de différenciation et de classification d'un problème :

- Pour le cas d'un problème statique, toutes les informations nécessaires à la planification (tel que la nature, la durée ou la date des commandes clients) sont supposées parfaitement connues par le planificateur avant même le début de la

planification. Aussi, ces dernières sont également supposées invariables durant le déroulement entier des opérations.

- Dans le cas d'un problème dynamique en revanche, les informations citées précédemment ne sont même pas parfaitement connues après le début des opérations, en plus de pouvoir totalement changer et ce même après la construction du planning.

Afin de mieux se familiariser avec cette notion de dynamisme, nous prendrons pour exemple deux trajets planifiés pour une flotte, et devant servir deux (02) types différents de demandes, réparties assez aléatoirement dans une zone géographique donnée :

- Les requêtes « *Advance* » qui était déjà connues avant l'exécution du trajet (et correspondant à la partie « statique » du cas.)
- Les requêtes « *Immediate* » qui ne sont connues qu'après l'exécution et seront donc la source du « dynamisme » de notre système.

En découle une situation similaire à celle illustrée dans la figure 15 :

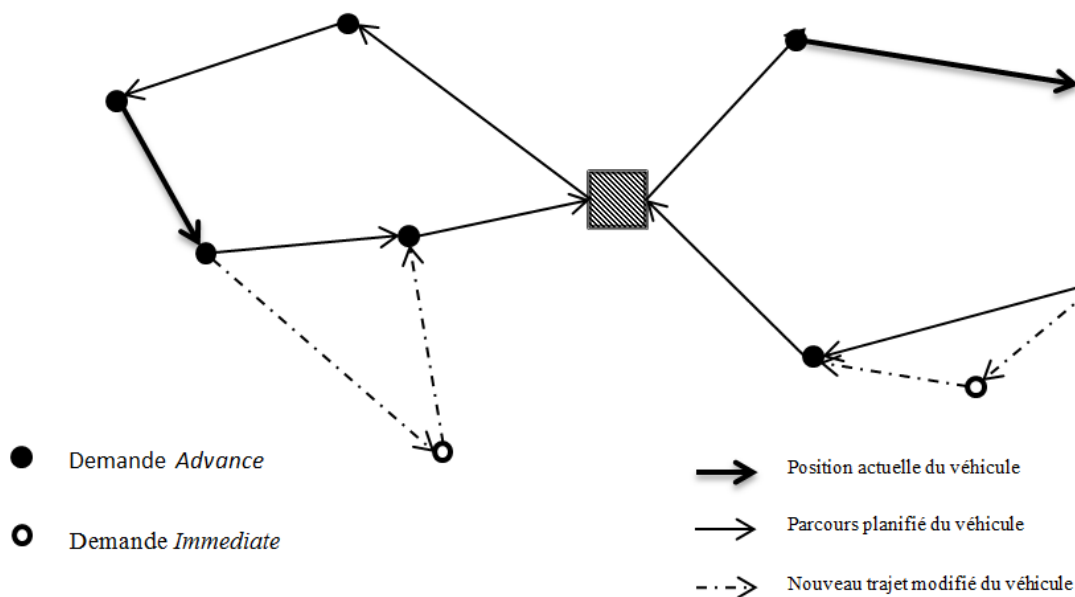


Figure 15 Modélisation géométrique du dynamisme d'un système.

la figure ci-dessus, est une « photographie » du système dynamique à un instant  $t$  bien précis, et ignore la contrainte de temps. Idéalement, l'insertion d'une nouvelle requête ne perturbe pas la planification, comme illustré sur la boucle à droite du dépôt (représenté ici par le carré quadrillé au centre).

Malheureusement, elle inclut la plupart du temps une re-planification totale, du fait de la génération d'un trop grand détour, comme c'est le cas de la boucle à gauche du dépôt. C'est là tout le défi du système dynamique. Plus le problème est complexe, plus l'insertion l'est aussi.

### 3.2.2. Comparaison entre le VRP statique et dynamique :

Dans ce passage, nous allons expliciter les principales différences qu'il y a entre un système statique et un système dynamique de tournées de véhicules. Pour cela, nous nous baserons sur les travaux de *Psaraftis* (1995,1998) qui énonçaient les 12 points de divergence qui permettent de distinguer les deux familles de problèmes. Le tout est regroupé dans le tableau qui suit :

Tableau 9 Comparaison entre les systèmes statiques et dynamiques de tournées de véhicules.

|  | Système statique  | Système dynamique   |
|--|---|---|
| <b>Dimension temporelle</b>                      | Généralement facultative  | Absolument nécessaire   |
| <b>Fin de processus</b>                          | Limité temporellement, débutant et s'achevant au dépôt du véhicule généralement | Généralement non-limitées. On ne traite pas des boucles mais plutôt des chemins à suivre.             |
| <b>Qualité de l'information</b>                  | Supposée parfaitement fiable et connue.   | Quasiment jamais connue avec certitude, fiabilité changeante au cours de l'exécution                  |
| <b>Poids des occurrences</b>                     | Poids similaire pour toutes les requêtes.                                       | La priorité de la planification penche plutôt en faveur des requêtes se trouvant à court-terme.       |
| <b>Mécanisme de mise à jour de l'information</b> | Totalement inutile car le système est supposé totalement inerte.                | Nécessaire et devant être intégré à la solution développée.   |
| <b>Décision prise</b>                            | Absolue et atemporelle.   | Doit être révisée à chaque occurrence (elle peut devenir sous-optimale)                               |
| <b>Capacité de calcul</b>                        | On peut se permettre le luxe d'attendre l'optimum pendant des heures.           | Nous ne disposons que de quelques minutes/secondes pour trouver une solution (heuristique).           |
| <b>Boucle infinie</b>                            | Inexistante   | Nécessité d'un mécanisme contrant le retardement infini d'une requête trop éloignée géographiquement. |
| <b>Fonction objectif</b>                         | Minimisation traditionnelle de coûts ou de distance parcourue.                  | Non-linéaire et sous-optimale puisque les inputs ne sont pas tous connus.                             |
| <b>Contraintes de temps</b>                      | Rigides.  | Poreuse (ne pas la respecter plutôt que de refuser des requêtes)                                      |
| <b>Contrôle de la flotte</b>                     | Facile à exercer.   | Très complexes si l'on veut satisfaire les requêtes. Peut générer une baisse de qualité de service.   |
| <b>Ordonnancement des requêtes</b>               | Peut présenter un avantage.   | Absolument vital à un certain niveau en termes de quantités de  |

On trouve également dans ces mêmes travaux une caractérisation spécifique à l'information qui fluctue, et fait office d'inputs au système :

**Tableau 10** Caractéristiques des informations dans un système statique\dynamique.

|                                       | <b>Cas statique</b>                 | <b>Cas dynamique</b>  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>Evolution de l'information</b>     | Inchangée durant toute l'exécution. | Mise à jour au cours du temps   |
| <b>Qualité de l'information</b>       | déterministe                        | Probabiliste ( l'incertitude décroît à mesure que la requête est temporellement proche) |
| <b>Disponibilité de l'information</b> | Disponible relativement tôt.        | Est révélée au fil de l'exécution des opérations.                                       |

*Powell et al. (1995)* mettaient en avant la distinction entre le dynamisme dans un problème, dans un modèle et dans l'application d'un modèle :

- Un problème serait dynamiques i un ou plusieurs de ses paramètres sont en fonction du temps.
- Un modèle est quant à lui dynamique s'il inclut dans son déroulement l'interaction de ses éléments avec la dimension temporelle. On distingue dès lors le dynamisme stochastique du déterministe.
- Une application d'un modèle est dynamique si ce dernier est déroulé de façon répétitive au cours du temps, même si cela est la plupart du temps synonyme d'une capacité de calcul assez conséquente.

### 3.3. Le degré de dynamisme

#### 3.3.1. Principe

*Lund et al. (1996)* ont été les premiers à donner une formulation explicite d'un ratio mesurant le degré de dynamisme d'un système, désigné par la notation *dod* tel que :

$$dod = \frac{n_{imm}}{n_{tot}}$$

En général, les informations ne tombent pas toutes en temps-réel dans un système, certaines étant déjà connue avant le début de l'exécution. Ainsi, le degré de dynamisme est

défini par le rapport de la quantité d'information *immédiate* (c'est-à-dire qui arrive en temps réel) sur la quantité totale d'information.

Cela dit, cette approche ne prend pas en considération l'aspect temporel : si l'on se réfère à cette mesure, un système recevant des informations *immédiates* au début de la journée serait perçu comme équivalent à un autre système qui les recevrait à la fin. Hors cela n'est pas vrai, puisqu'un planificateur aurait tendance à préférer que les requêtes arrivent au début, lui octroyant suffisamment de temps pour préparer la réaction du système. Dans la figure ci-dessous, le planificateur préférerait le scénario A au scénario B, pour les raisons citées plus haut :

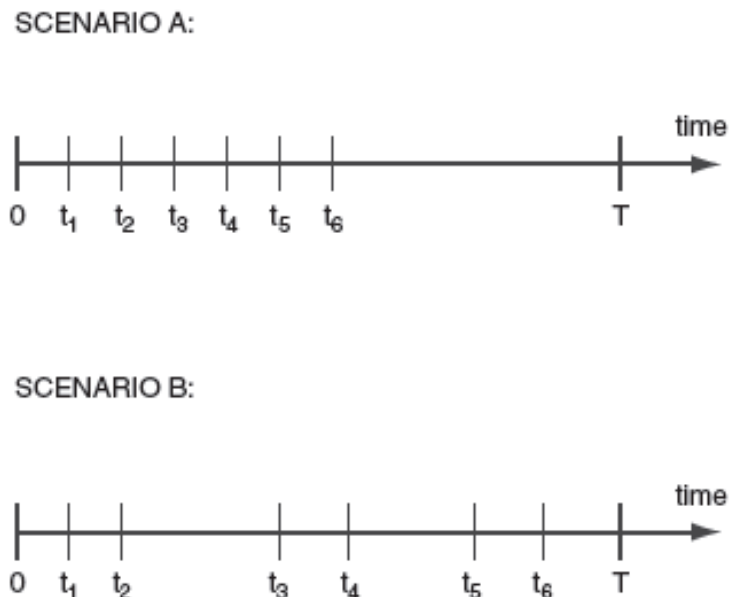


Figure 16 Scénarios d'arrivée de requêtes.

Les deux scénarios sont également différents du point de vue de la performance. En effet, il sera généralement possible de mieux optimiser sa solution dans le scénario A que dans le scénario B, du fait de la différence temporelle séparant  $t_6$  de T, bien plus importante dans le scénario A, et qui représente le délai attribué au planificateur pour optimiser son système une fois toutes les informations connues.

Toutefois, si l'on a affirmé auparavant que le cas A est favorable, certains ne seront pas de cet avis. En effet, en intégrant le facteur humain, nous pourrions nous apercevoir que dans le cas A, toutes les requêtes, statiques comme dynamiques, tombent dans pratiquement la même parcelle de temps total du processus. Autrement dit, un planificateur pourrait s'y retrouver dépassé par la charge de travail et, soucieux du temps de réponse, ce dernier sera plus enclin à élaborer une solution sous-optimale, voir non-optimale.

### 3.3.2. Le degré de dynamisme effectif

Cette extension du *dod* vu ci-dessus, et appelée *edod*, inclut justement les informations relatives au moment d'arrivée des requêtes. Pour une exécution débutant à 0 et s'achevant à un temps T, ce moment d'arrivée vaut :

- $t \leq 0$  pour une requête de type *advance*.
- $0 < t_i \leq T$  pour une requête de type *immediate*.

En découle alors la formule du degré effectif de dynamisme, qui vaudra 0 pour un système purement dynamique, et 1 pour un système statique. Aussi ce ratio tend vers le 1 à mesure que le temps de processus s'écoule. Sa formulation mathématique est donnée par :

$$edod = \frac{\sum_{i=1}^{n_{imm}} \frac{t_i}{T}}{n_{tot}}$$

### 3.3.3. Intégration des fenêtres de temps :

La dernière étape consiste en l'intégration des fenêtres de temps. Dans les applications réelles, nous pouvons définir, en plus du temps d'arrivée des requêtes  $t_i$ , la date au plus tôt  $e_i$  et au plus tard  $l_i$  pour le début de l'exécution de la requête  $i$ , comme le montre la figure ci-contre :

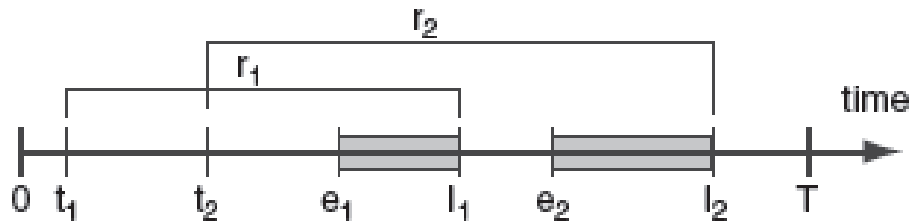


Figure 17 Temps de réaction pour deux requêtes dans un DVRP dynamique.

Au final, le temps de réaction  $ri = l_i - t_i$ , deviendra un aspect essentiel pour le système, d'où la nouvelle formulation de notre mesure de dynamisme :

$$edod_{tw} = \frac{1}{n_{tot}} \sum_{i=1}^{n_{imm}} \left( \frac{T - (l_i - t_i)}{T} \right) = \frac{1}{n_{tot}} \sum_{i=1}^{n_{imm}} \left( 1 - \frac{r_i}{T} \right)$$

### 3.4. Evaluation de la performance :

Afin d'évaluer la performance d'un algorithme de résolution d'un système dynamique, une approche intéressante a été formulée en 1985 par Sleator et al. Basé sur l'analyse compétitive, il s'agissait de calculer -pour un problème de minimisation- le ratio définit comme suit :

$$cr_A = \sup_I \frac{z(A, I)}{z^*(I)}$$

$z(A, I)$  étant le coût généré par la solution A pour l'instance I et  $z^*(I)$  le coût « optimal » généré par une solution si le problème avait été statique et non dynamique. En clair, le ratio



ci-dessus détermine la variation du coût qui est due au manque d'information caractéristique des systèmes dynamiques.

Si cette démarche permet à priori de quantifier la performance d'un système, elle n'est toutefois applicable que sur des VRP relativement simples. A mesure que les systèmes se compliquent, comme c'est le cas dans la vie réelle (retard, fenêtre de temps...etc.), le ratio perd en efficacité.

Ainsi, une alternative intéressante serait de réaliser des études empiriques basées sur des simulations à événements discrets. Les résultats seront comparés à ceux d'une simulation où le même système serait totalement statique, ce qui nous donnerait un ratio assez similaire au *cr*.

### 3.5. Classification des problèmes selon le degré de dynamisme

*Larsen et al.* ont proposé en 2002 une classification des applications réelles des problèmes de tournées de véhicules, mise en évidence dans la figure :

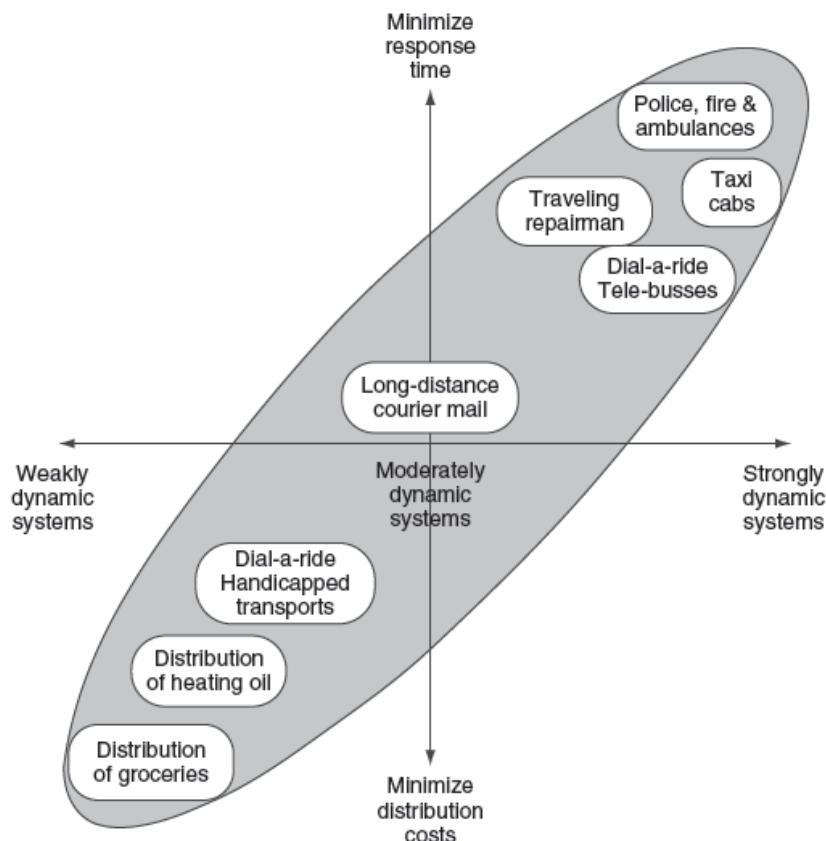


Figure 18 Classification des problèmes de tournées dynamiques DVRP.

Cette classification repose sur deux facteurs : La classe de dynamisme, et l'objectif :

### Classe de dynamisme

En démarrant de la définition du degré de dynamisme que nous avons donné plus haut, il est possible de distinguer trois familles de problèmes en termes de dynamisme, tel qu'énoncé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 Classification des problèmes selon leur degré de dynamisme.

| Catégorie                             | Particularité  | Exemples  |
|---------------------------------------|--|---|
| <b>Echelon I – faible dynamisme</b>   | Plus de 80% des requêtes sont connues à l'avance. C'est le cas en général lorsque l'activité consiste à « réapprovisionner » des clients. Se résolvent en général par ré-optimisation ou par insertion.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Problème d'une compagnie de distribution de carburants aux stations-services.</li> <li>➤ Livraison de fruits et légumes avec abonnement.</li> <li>➤ Transport pour personnes handicapées.</li> </ul> |
| <b>Echelon II – dynamisme moyen</b>   | La quantité de requêtes <i>dynamiques</i> est relativement modérée, si bien qu'on ne peut négliger ni ces dernières ni celle qui étaient connues à l'avance. Les heuristiques basées sur des approches de recherches locales fonctionnent très bien ici. | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Compagnie de livraison de courrier à longue distance.</li> <li>➤ Compagnie de gestion et de maintenance de distributeur ATM de banques.</li> </ul>   |
| <b>Echelon III – dynamisme élevé.</b> | Les requêtes connues à l'avance sont pratiquement négligeable. Dans ces cas de figure le véritable indicateur qui requiert toute l'attention est le temps de réponse, qui doit à tout prix être minimisé.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Services d'urgences : police, ambulances, pompiers ... etc.</li> <li>➤ Service de taxis en zone métropolitaine.</li> </ul>   |

### Nature de l'objectif

En ce qui concerne les objectifs, on peut en discerner trois (03) principaux :

- **Distribution des coûts** : principal objectif pour les VRP statiques, la minimisation des coûts est également importante dans les modèles dynamiques.
- **Qualité de service** : Cet objectif est à mettre en contraste avec le premier objectif, dans le sens où une réponse rapide à une requête qui vient de tomber impliquerait que les trajets des véhicules ne soient pas optimisés. Il s'agit donc de trouver un juste compromis entre la vitesse de réponse et la distribution des coûts.

- **Optimisation du débit :** Pour certains cas de DVRP, la capacité à servir un nombre maximal de requête est importante, pour ne pas dire vitale. Cependant, quand nous n'avons pas trop d'informations sur le futur, il peut être préférable d'optimiser uniquement les inputs qui sont déjà connus.

#### 4. Les méthodes heuristiques

Dans cette dernière partie, nous allons étudier quelques-unes des méthodes heuristiques qui ont été proposées et employées pour la résolution des problèmes cités précédemment. Il faut cependant savoir qu'il existe différentes classes de méthodes heuristiques :

##### Méthodes de trajectoire

Elles permettent de manipuler un seul point à la fois et tentent itérativement d'améliorer ce point, construisant ainsi une trajectoire dans l'espace des points en tentant de se diriger vers les solutions optimales. Les plus pertinentes de ces méthodes dans notre cas sont les suivantes :

- 1- La recherche locale
- 2- Le recuit simulé
- 3- La recherche taboue

##### Méthodes statiques ou dynamiques

Les méthodes statiques travaillent directement sur la fonction objectif  $F$  alors que les méthodes dynamiques font usage d'une fonction alternative  $G$  obtenue à partir de la fonction  $F$  en modifiant la typologie de l'espace des points avec l'ajout de quelques composantes. Les composantes additionnelles peuvent varier dans le processus de recherche

##### Méthode avec ou sans mémoire

Certaines méthodes font usage de l'historique de recherche dans leur processus, c'est notamment le cas pour la méthode de la recherche tabou. Généralement, on différencie entre les méthodes ayant une mémoire à court terme et celles qui ont une mémoire à long terme. Pour les méthodes sans mémoire, l'action à réaliser est totalement déterminée par la situation courante, comme c'est le cas pour la méthode de recherche locale.

##### Méthodes faisant usage de diversification et intensification :

- Diversification est un mécanisme qui permet une exploration plus large de l'espace de recherche
- Intensification est une exploitation de l'information accumulée durant la recherche et surtout une concentration de la recherche sur une zone précise de  $X$

Il est cependant important de bien calibrer l'utilisation de ces deux ingrédients afin que l'exploration puisse rapidement identifier les régions de l'espace de recherche qui contiennent

les points de bonne qualité, tout cela sans perdre trop de temps à explorer des régions non prometteuses.

Nous distinguons quatre méthodologies qui pourraient s'avérer être des champs d'études intéressants pour l'élaboration de notre solution finale : la méthode de la recherche locale, la méthode du recuit simulé, la méthode de la recherche tabou, et la méthode des systèmes multi-agent.

### 4.1. Les méthodes de recherche locale

a- La recherche de voisinage :

La recherche de voisinage est une notion utilisée dans toutes les approches de recherche locale. Une structure de voisinage est une fonction  $N$  qui associe un sous ensemble de  $X$  à tous point  $x \in X$ . Un point  $x'$  est dit voisin de  $x$  si  $x' \in N(x)$ .

Un point  $x' \in X$  est un minimum local relativement à la structure de voisinage  $N$  si  $f(x') \leq f(x)$  pour tout  $x \in N(x) \cap X$ .

Un point  $x' \in X$  est un minimum global si  $f(x') \leq f(x)$  pour tout  $x \in X$ . On appelle  $x'$  une solution.

Les voisinages dépendent du problème. Il existe plusieurs méthodes pour choisir  $N$ , il faut cependant adapter ce choix au problème, c'est-à-dire choisir la meilleure fonction  $N$  selon le problème considéré.

b- La descente :

On désigne par descente une méthode d'amélioration itérative relativement simple qui permet d'atteindre le premier optimum local. L'algorithme qui suit décrit la méthode de la descente pour un problème de minimisation :

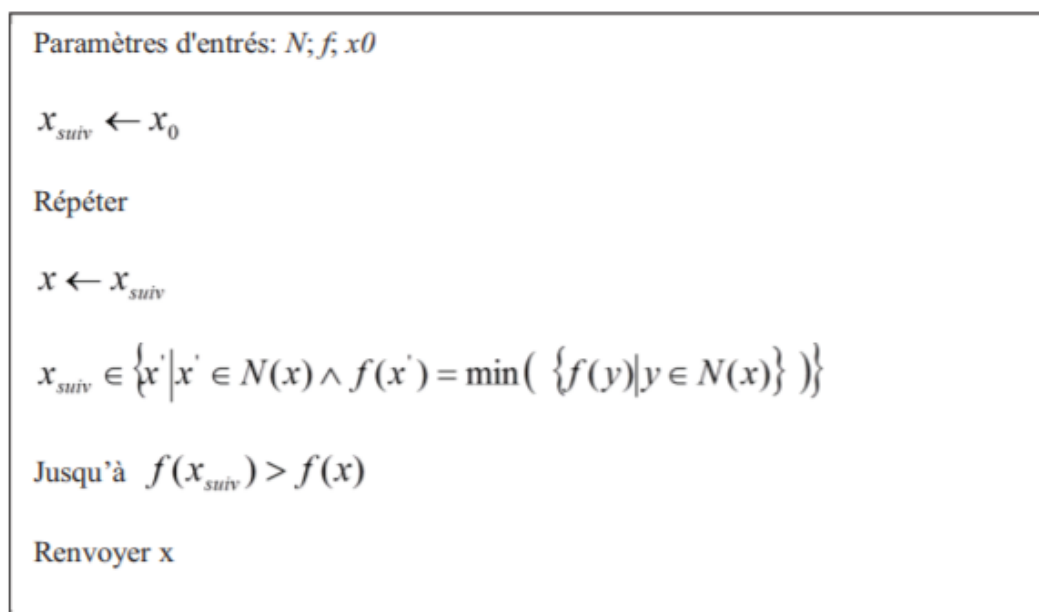


Figure 19 Pseudo-algorithme de la méthode de la descente.

N étant la fonction de voisinage,  $f$  la fonction objectif et  $x_0$  la solution initiale formant le point de départ de l'algorithme.

Cette méthode est largement utilisée dans le domaine de l'optimisation combinatoire. Elle est souvent la première méthode utilisée sur un nouveau problème car elle permet, dans un temps de développement assez court, de se familiariser avec le problème et de calculer rapidement les premières approximations de l'optimum global.

### 4.2. Le recuit simulé

La méthode du recuit simulé est méta-heuristique inspirée du processus de recuit physique, utilisée en métallurgie pour minimiser l'énergie d'un matériau en alternant des cycles de refroidissement et de réchauffage (recuit). En effet, cette méthode du recuit simulé répète une procédure itérative qui cherche des configurations de cout plus faibles.

Par analogie avec le processus de recuit physique, la fonction à minimiser deviendra l'énergie  $E$  du système et l'on introduira également un paramètre fictif de température  $T$  du système.

Partant d'un état initial du système, et en le modifiant, on obtient un autre état. Le nouvel état peut soit améliorer le critère que l'on cherche à optimiser, on dira alors qu'il a fait baisser l'énergie du système, soit celui-ci le dégrade. En acceptant un état améliorant le critère, on tend ainsi à chercher l'optimum dans le voisinage de l'état de départ.

Cependant, l'acceptation d'un 'mauvais état' permet alors d'explorer une plus grande partie de l'espace des états, ce qui nous évite de nous enfermer trop vite dans la recherche d'un optimum local. L'algorithme accepte de manière contrôlée des configurations qui sont moins bonnes pour les solutions intermédiaires trouvées.

L'état initial est pris au hasard dans l'espace des états possibles. A cet état correspond une énergie initiale que l'on notera  $E_0$ , cette énergie est calculée en fonction du critère que l'on cherche à optimiser ( $E_0$  est la valeur de la fonction objectif initiale). Une température initiale  $T_0$  élevée est également choisie, le choix de  $T_0$  est alors totalement arbitraire et dépendra de la loi de décroissance utilisée.

À chaque itération de l'algorithme une modification élémentaire de l'état est effectuée. Cette modification entraîne une variation de l'énergie du système. Si cette variation fait baisser l'énergie (c'est-à-dire une variation négative), elle est appliquée à l'état courant. Sinon elle est acceptée avec une probabilité  $e^{\frac{-\Delta E}{T}}$ . On itère ensuite selon ce procédé en gardant la température constante.

Quant à la variation de la température, on itère en gardant la température constante. Lorsqu'un certain nombre d'itération sont passées, on diminue la température du système, on parle alors de paliers de température. Si la température a atteint un seuil assez bas fixé au préalable ou que le système devient figé, l'algorithme s'arrête. La température joue un rôle très important dans le processus :

- A haute température le système est libre de se déplacer dans l'espace des états en choisissant des états qui ne minimisent pas forcément l'énergie du système
- A basse température les modifications baissant l'énergie du système sont priorisées, cependant d'autres peuvent être acceptées afin d'éviter de tomber dans un minimum local.

Le pseudo-code suivant met en œuvre le recuit simulé tel que décrit plus haut en commençant à l'état  $s_0$  et continuant jusqu'à un maximum de  $k_{max}$  étapes ou jusqu'à ce qu'un état ayant pour énergie  $e_{max}$  ou moins soit trouvé.  $E$  est une fonction calculant l'énergie de l'état  $s$ . L'appel  $voisin(s)$  génère un état voisin aléatoire d'un état  $s$ . L'appel aléatoire  $()$  renvoie une valeur aléatoire dans l'intervalle  $[0, 1]$ . L'appel  $temp(r)$  renvoie la température à utiliser selon la fraction  $r$  du temps total déjà dépensé, et  $P$  est une fonction de probabilité dépendant de la variation d'énergie et de la température.

```
s := s0
e := E(s)
k := 0
tant que k < kmax et e > emax
  sn := voisin(s)
  en := E(sn)
  si en < e ou aléatoire() < P(en - e, temp(k/kmax)) alors
    s := sn; e := en
  k := k + 1
retourne s
```

Figure 20 Pseudo-algorithme de la méthode du recuit simulé

```

Recuit[F_, g_, Xi_, Ti_, Tf_, Ampli_, MaxTconst_, itermax_] :=
Module[{T, Xopt, iter=1, DF, p, L, X, compteur},
  X = Xi; T = Ti; L = {Xi}; Xopt = X;
  While [T > Tf && iter < itermax,
    compteur = 1;
    While[compteur < MaxTconst,
      Y = X + Table[Ampli*Random[Real, {-1, 1}], {i, 1, Length[X]}];
      DF = F[Y] - F[X];
      If[DF < 0, X = Y; AppendTo[L, X];
        If[F[X] < F[Xopt], Xopt = X],
        p = Random[];
        If [p ≤ Exp[-DF/T], X = Y; AppendTo[L, X]];
      ];
      compteur = compteur + 1;
    ];
    T = g[T];
    iter = iter + 1;
  ];
  Return[L]
];

resR = Recuit[F, g, {2, 3}, 10, 1, 0.5, 1.5, 1000];
ListPlot[resR, Joined -> True];

```

Figure 21 Algorithme du recuit simulé sous Mathematica

### 4.3. La recherche taboue

La recherche tabou est une méthode heuristique de recherche locale utilisée pour résoudre des problèmes complexes et/ou de très grande taille (souvent NP-durs). La RT a plusieurs applications en programmation non linéaire (PNL).

L'intérêt de cette méthode par rapport aux autres méthodes est qu'elle permet de surmonter le problème des optimums locaux par l'utilisation de listes taboues (principe de la mémoire).

Les bases de la RT peuvent être décrits comme suit :

Supposant une fonction  $f(x)$  à optimiser sur un ensemble  $X$ , TR commence de la même manière que les méthodes ordinaires de recherche locale, la TR procède de manière itérative d'une solution à l'autre jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit satisfait.

Chaque  $x \in X$  a un voisinage  $N(x) \in X$  qui lui est associé. Chaque solution de  $N(x)$  est atteinte à partir de  $x$  par une opération que l'on appelle mouvement. On compte 3 types de mouvement pour les permutations :

Inversion de deux éléments successifs :

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

Permutation de deux éléments quelconques distincts :

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 3 | 4 | 5 | 6 | 2 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

Déplacement d'un élément :

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

La RT se démarque des autres méthodes en modifiant le voisinage  $N(x)$  d'une solution en même temps que la recherche progresse, le remplaçant par un autre voisinage  $N'(x)$ . Comme précédemment mentionné, un aspect clé de la recherche taboue est l'utilisation de structures de mémoires spéciales qui aident à déterminer  $N'(x)$  et par conséquent organiser la façon dont l'espace de solution est exploré.

Les solutions admises en  $N'(x)$  grâce aux structures mémoires sont déterminées de plusieurs manières. La plus performante est celle qui donne son nom à la méthode 'taboue', cela se fait en interdisant à certaines solutions de faire partie de  $N'(x)$  et les classifiant comme étant taboue. Ce système de tabou est introduit pour encourager l'exploration de nouvelle solution, même si l'on se trouve à un optimum local, et cela en classifiant les solutions déjà explorées comme étant 'taboues' et donc d'interdire les retours en arrière. Tout cela est possible grâce à l'exploitation de la mémoire adaptative.

### Mémoire adaptative

La mémoire est représentée par une liste (généralement en FIFO) taboue qui contient des solutions qui sont temporairement interdit et les mouvements vers ces solutions-là par la même occasion.

Cette liste permet des déplacements vers des solutions qui n'améliorent pas forcément la solution et permet d'éviter les mouvements cycliques.

### Algorithme de la recherche tabou

D'une manière générale l'algorithme de la RT est comme suit :

- $x_0$  solution initiale.
- $x^*$  meilleure solution jusqu'à présent
- $x$  nouvelles solutions du voisinage de  $x^*$
  
- $F(x)$  fonction objectif à minimiser
- $F^*$  valeur de la meilleure solution



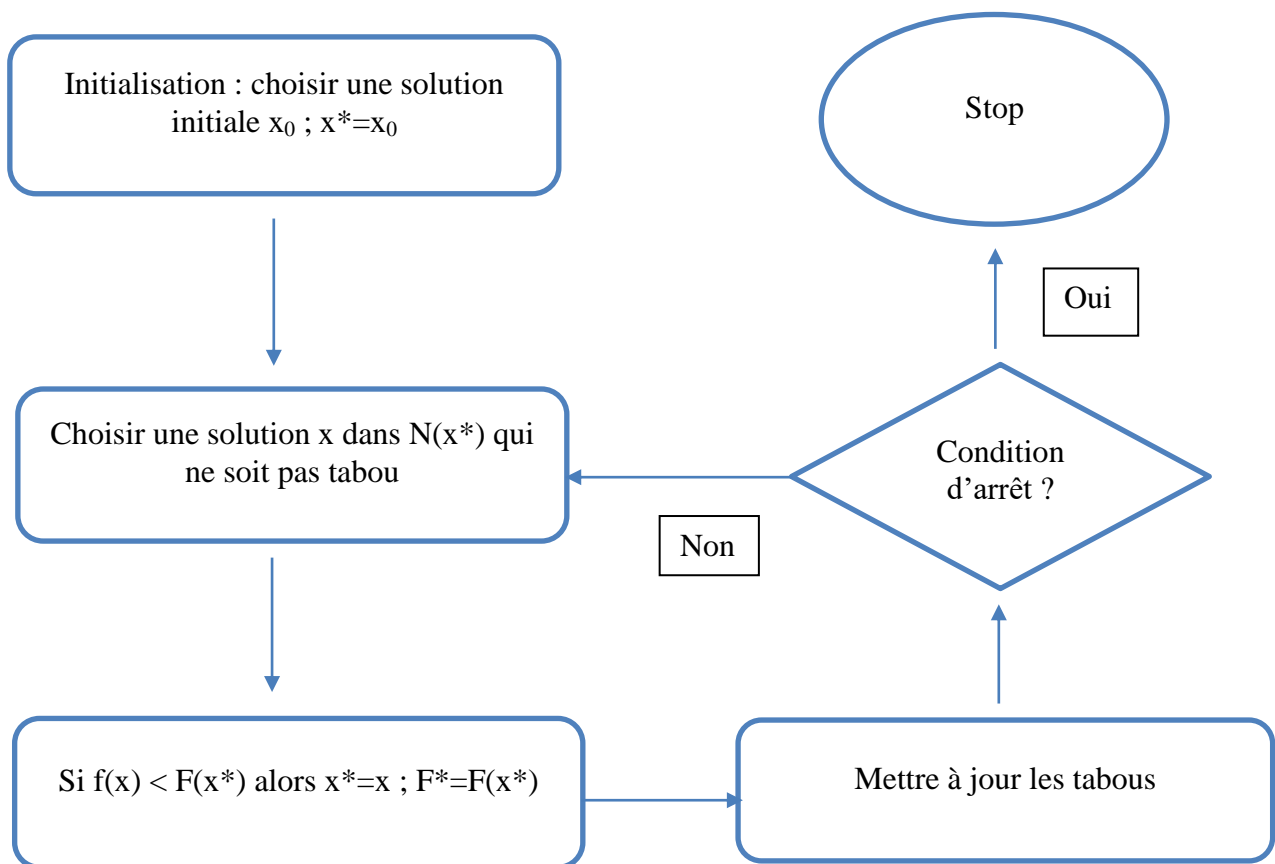


Figure 22 Algorithme de recherche taboue

Un des algorithmes de la RT appliqué à la VRP peut être résumé comme suit :

- 1) Construire  $n$  solutions initiales différentes avec une heuristique d'insertion stochastique (c'est-à-dire que la règle pour choisir le prochain client à être injecté dans l'algorithme contient des éléments stochastiques)
- 2) Appliquer la RT pour chaque solution et sauvegarder les itinéraires en résultant dans une mémoire adaptative.
- 3) Pour  $W$  itération faire ( $W$  critère d'arrêt déterminé à l'avance) :
- 4) Construire une solution initiale à partir des routes trouvées dans la mémoire adaptative et servir cette dernière comme solution actuelle.
- 5) Pour  $C$  cycle :
  - Décomposer la solution actuelle en  $D$  sous-ensembles de routes disjointes
  - Appliquer la RT pour chaque sous-ensemble
  - Fusionner les routes qui en résultent pour former la nouvelle solution actuelle.
  - Appliquer une procédure de post-optimisation pour chaque route individuelle de la solution choisie

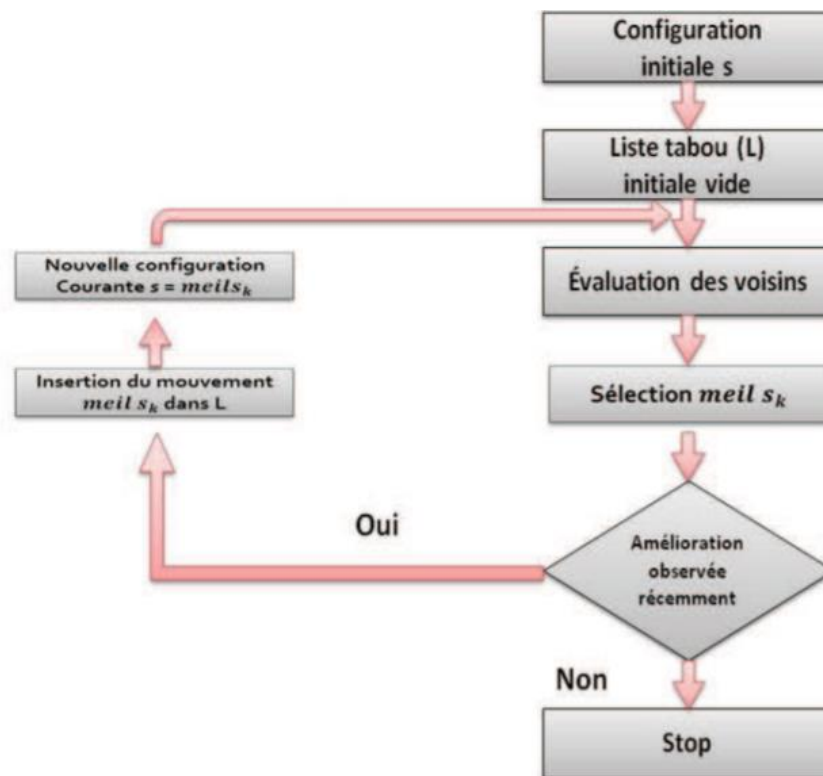


Figure 23 Résumé du principe de la recherche taboue

#### 4.4. Les systèmes multi-agents (Alternative à l'heuristique)

Au-delà des solutions vues plus haut, une alternative aux heuristiques peut également être proposée comme solution potentielle : les systèmes Multi-Agents.

Un système Multi-Agents est un système composé d'un ensemble de sous-systèmes autonomes appelés agents dont chacun a une activité et des informations propres situés dans un certain environnement et interagissant entre eux selon certaines relations préétablies.

Les agents logiciels sont des programmes autonomes, mis en route sur une machine qui perçoivent certains éléments de leur environnement par des flux d'entrée et agissent par leur flux de sortie (contrôle de processus, commande sur machine physique).

Les agents doivent être capables de communiquer entre eux, que ce soit indirectement (partage d'informations via l'environnement) ou bien directement (envoi de messages)

Le fonctionnement d'un agent peut être décrit comme suit : L'agent évolue toujours suivant un cycle

- Au début l'agent se trouve dans une certaine configuration initiale
- Il perçoit son environnement (ou partie de l'environnement si l'accès lui est restreint) grâce à ses capteurs
- Il choisit une action à entreprendre en fonction de sa configuration et de ses perceptions
- Il reçoit de nouvelles perceptions et le processus se répète

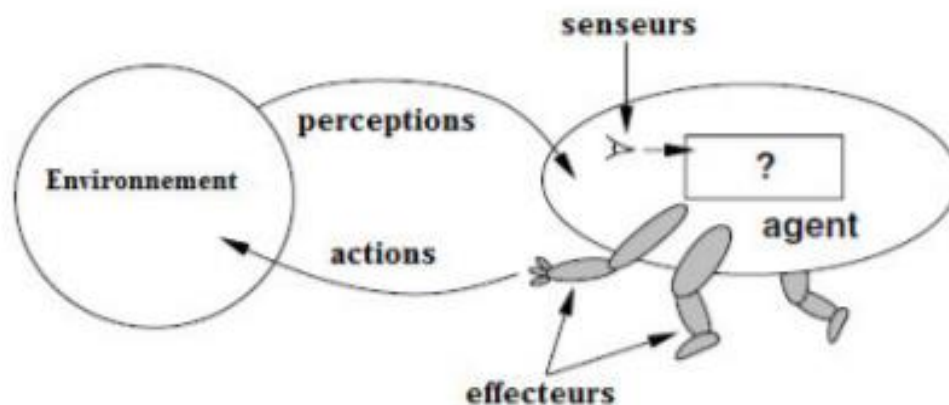


Figure 24 Relation entre agent et environnement

Le comportement général d'un SMA est lié à l'activité combinée de l'ensemble de ses agents et la réalisation d'une tâche peut alors impliquer plusieurs entités.

Un agent peut participer aux dialogues avec les autres agents d'une manière passive (en acceptant les interrogations des autres agents et en répondant à leurs questions) ou bien active (en interrogeant les autres agents). Dans un dialogue les agents alternent des rôles actifs et passifs, et échangent des séries de messages en respectant des protocoles bien précis :

Les protocoles de coordinations : ils aident à gérer les engagements des agents et à revoir ces engagements dans le cas où les circonstances de leurs élaborations ont évolué.

➤ **Les protocoles de coopérations :**

La coopération entre agents consiste à décomposer les tâches en sous-tâches puis à les répartir entre les agents. La procédure de décomposition doit tenir compte des ressources disponibles et des compétences des agents

➤ **Les protocoles de négociations :**

La négociation intervient lorsque des agents interagissent pour prendre des décisions communes, alors qu'ils poursuivent des buts différents. Les éléments clés de la négociation sont le langage de négociation et le processus de négociation.

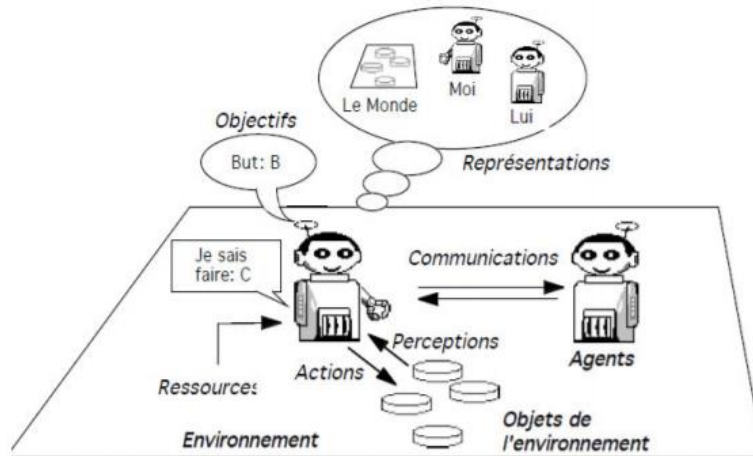


Figure 25 Représentation d'un système multi-agents

### Les différents types de SMA :

Nous distinguons dans la littérature deux types de systèmes multi-agents, ayant pour chacun ses particularités :

#### a. SMA réactif :

C'est un SMA composé d'agents réactifs et donc qui ne font que réagir au changement de leur environnement sans délibération ni planification. Étant donné qu'il n'y a pratiquement pas de raisonnement, ces agents peuvent agir et réagir très rapidement.

#### b. SMA cognitif :

Composé d'agents cognitifs. L'agent cognitif est un agent qui dispose d'une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations et de savoir-faire nécessaires à la réalisation de sa tâche et la gestion des interactions avec les autres agents et avec son environnement

Tableau 12 Comparaison entre agent cognitif et réactif.

| Système d'agents cognitifs                         | Systèmes d'agents réactifs         |
|--|------------------------------------|
| <b>Représentation explicite de l'environnement</b> | Pas de représentation.             |
| <b>Prise en compte de leur passé</b>               | Pas de mémoire.                    |
| <b>Agents complexes.</b>                           | Agents simples (Stimulus/réaction) |
| <b>Petit nombre d'agents</b>                       | Grand nombre d'agents.             |

Grace à leurs différents protocoles de communications et d'échanges les SMA apparaissent comme des candidats surs pour la résolution de problèmes complexes impliquant des distributions de ressources limités entre différentes entités, ce qui est particulièrement vrai pour l'activité de transport.

En effet, l'utilisation des ressources disponibles afin de satisfaire les besoins des clients est une tâche ardue. Il s'agit de garantir à des entités physiques (véhicules) de se

déplacer dans un réseau avec un moindre cout financier et temporel (Km à vide). Un système adaptatif pour la résolution de ce problème et la satisfaction de ces contraintes peut être dégagé à partir d'un modèle multi-agents.

Dans notre cas les agents peuvent s'apparenter aux différentes plateformes de départ à la disposition de NUMILOG. L'idée est que dès qu'un nouvel ordre de transport apparaît dans l'environnement du SMA (Le TMS dans notre cas) les différents agents entrent en négociations pour l'obtention de cet OT. Chaque agent présente ses arguments en vue de prendre possession de l'OT. A noter que grâce aux protocoles de coordinations il peut y avoir renégociation entre les agents en cas de changements dans l'environnement du SMA (pannes de véhicules, embouteillage, arrivé d'un OT plus intéressant). Il aussi possible de décomposer le SMA encore plus en nommant les véhicules comme agents, ce qui aura pour conséquences de rendre le SMA encore plus pertinent et efficace, mais chaque décision nécessitera énormément plus de temps de calcul et de communication.

Dans ce second chapitre, nous avons effectué un état de l'art sur quatre axes principaux :

- Le premier axe nous a permis de comprendre l'origine de la quantification de la prise de décision logistique et ses spécificités.
- Le second axe nous a aidés à mettre en avant les différentes variantes de VRP, domaine de problèmes que nous estimons proche de notre problématique.
- Le troisième axe a développé la dynamisation des problèmes précédents, avec une échelle d'identification du degré de dynamisme.
- Enfin, le dernier axe contient les différentes méthodes heuristiques, qui représentent différentes possibilités de solutions réalisables dans notre recherche.

A présent que l'état des lieux et l'état de l'art sont effectués, nous formulerons dans ce qui suit, une méthodologie de résolution pour notre problématique.

# Chapitre III : Elaboration du modèle mathématique pour la résolution du problème

## **Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique pour la résolution du problème**

Maintenant que nous nous sommes penchés sur les différents travaux existants dans la littérature scientifique, et que nous avons délimité l'environnement contenant et influant sur notre problématique, nous allons à présent tenter de modéliser cette dernière à travers un modèle mathématique. Dans un premier temps, nous mettrons en avant les principales raisons ayant motivé le choix de notre solution. Par la suite, une seconde partie sera consacrée à l'élaboration d'un modèle permettant de faire face à la partie « statique » du problème. Enfin, une troisième partie portera sur la partie dynamique de notre solution, ainsi que des procédures inhérentes à son implémentation sur le terrain.

### **1. Catégorisation et solution retenue**

Nous avons effectué dans les deux chapitres précédents, une étude de l'existant, de l'environnement et des aspects de notre problématique, suivie d'une étude des différents travaux et théorèmes énoncés dans la littérature scientifique, et traitant des problématiques relativement similaires à celle que nous rencontrons, ou alors appartenant au même champ d'étude.

A partir de cela, nous avons pu établir une classification de notre problème, et de ce pas déduire la démarche à suivre.

Nous avons affaire à un cas de problème de tournées de véhicule avec collecte et livraison, ou VRPPD. Notre système est une flotte de véhicules qui doit servir plusieurs commandes, ou OT, consistant en un ramassage en un point de collecte, et une livraison à un autre point.

Le ratio du nombre d'OT devant être servis le jour même, sur le nombre total d'OT présente une moyenne faible à très faible. Nous pouvons ainsi catégoriser notre cas selon son degré de dynamisme comme étant un DVRPPD d'échelon I, ce qui détermine alors la nature de l'objectif, qui sera un objectif de minimisation de coût, tel qu'énoncé dans le chapitre 2, partie 3.

Toutefois, il convient de préciser que les capacités des camions ne sont pas prises en compte, étant donné que les clients demandent un nombre de camion spécifique.

Enfin, les OT sont associés à des fenêtres de temps, qui seront donc nos conditions d'arrêt, devant être respectées durant la planification. Nous avons alors affaire à un DVRPPDTW, ou problème dynamique de tournées de véhicules avec fenêtre de temps.

Notre objectif est de maximiser le kilométrage à charge, autrement dit nous devons minimiser le roulage à vide des camions de la flotte.

Les résultats de l'analyse ont été récapitulés dans le tableau 13 :

Tableau 13 Récapitulatif des facteurs de catégorisation du problème.

| Facteur              | Description                     | Catégorisation |
|----------------------|---------------------------------|----------------|
| Problème             | Tournées de véhicules           | VRP            |
| Dynamisme            | 5% (Echelon I)                  | DVRP           |
| Nature de l'objectif | Minimisation de coûts           | DVRP           |
| Nature des requêtes  | Multi-collecte, multi-livraison | DVRPPD         |
| Condition d'arrêt    | Temps de réponse                | DVRPPDTW       |

## 2. Partie statique du modèle

Dans cette section, nous allons expliquer la modélisation mathématique que nous avons choisie pour la représentation théorique de notre problème. Nous détaillerons notamment les différentes composantes de cette dernière, à savoir les variables et paramètres, la fonction objectif ainsi que les différentes contraintes, imposées au système par son environnement.

La partie statique représente la première étape de notre solution, et consiste en un programme linéaire destiné à affecter des camions à des OT déjà connus au moins la veille du début de l'exécution. Cet algorithme présentera en sortie, une solution initiale pour la partie dynamique qui elle, s'occupera de l'insertion des OT dynamiques, c'est-à-dire les OT qui tombent après le début des opérations, et devant être satisfait le jour même.

### 2.1. Définition des paramètres et des variables

Afin de conceptualiser la situation que nous rencontrons, il est nécessaire d'arrêter un certain nombre de paramètre, qui seront donc des données d'entrée pour notre système, et aussi des variables, qui représenteront quant à eux la solution élaborée par ce dernier. Les paramètres pour la plupart importées depuis les progiciels de collecte de données de l'entreprise, à savoir le Géologue *Fleetcenter* et le TMS *Reflex*. Pour le reste, les données ont été déduites suite à des calculs faits par l'équipe Engineering de la firme.

Dans notre modèle, chaque OT  $i$  sera identifié par deux nœuds :  $i$  et  $n_i+i$ , qui seront donc les localisations de collecte et de livraison respectives,  $n_i$  étant donc la distance entre le point de collecte et le point de livraison de  $i$ . On obtient donc un « distancier » précisant les distances à parcourir pour chaque commande.

- On obtiendra donc un ensemble de nœuds  $N=P \cup D$ , tel que :
  - $P= \{1, 2, 3, \dots, n\}$  est l'ensemble des nœuds de collecte.
  - $D= \{n+1, n+2, \dots, 2n\}$  est l'ensemble des nœuds de livraison.
  - Etant donné que la flotte est hétérogène, nous distinguerons dans l'application, la flotte et les requête spécifiques aux camions de type « maraîchers », ainsi que la flotte et les requêtes relatives, quant à elles, aux véhicules de type « frigorifique » ou encore « citerne ».
  - $K$  : Nombre total de camions composant la flotte.



### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

- $P_k$  est l'ensemble des points de collecte visités par  $k$ .
- $D_k$  est l'ensemble des points d'arrivée visités par le camion  $k$ .

A noter que par « flotte », nous entendons sous-ensemble des véhicules parfaitement identiques de la flotte NUMILOG, c'est-à-dire pouvant effectuer le même type de mission. Cela s'applique par exemple aux camions citernes, qui peuvent en effet livrer les mêmes chargements de type « liquide ».

Aussi, nous ne prendrons ici que la flotte « disponible », qui n'est donc ni figée sur des trajets spécifiques, ni sujette à une maintenance ou tout autre aléa et imprévu.

- Pour chaque camion  $k$  appartenant à la flotte  $K$ , nous définissons un graphe  $G = \{V_k, A_k\}$ .
- $V_k = N_k \cup (o(k), d(k))$  comprends l'ensemble des nœuds visités par le camion  $k$  en plus de son point de départ (ou origine) et sa destination finale.
- $A_k = V_k \times V_k$  inclut dès lors tous les arcs possibles reliant deux nœuds de l'ensemble  $V_k$  entre eux.
- $t_{ijk}$  est la durée du trajet du camion  $k$  entre le point  $i$  et le point  $j$ .
- Pour ce qui est de la contrainte de la fenêtre de temps, nous supposons que le service au point  $i$ , que l'on notera  $s_i$  doit se faire entre les instants  $a_i$  et  $b_i$ .

Pour ce qui est des variables, nous avons opté pour l'emploi de deux variables, la première sera une variable binaire d'affectation, et la seconde une variable temporelle.

$$X_{ijk} : \text{Variable indicatrice d'affectation} \quad \left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ si le } k \text{ est affecté au} \\ \text{trajet } i \text{ à } j. \\ = 0 \text{ sinon.} \end{array} \right.$$

$T_{ik}$  : Variable temporelle indiquant la date de début de service au point  $i$  par le camion  $k$ .

#### 2.2. Formulation des contraintes

Du fait de des activités de l'entreprise, des exigences de la clientèle ou même de la nature de l'environnement dans lequel NUMILOG évolue, il est nécessaire d'intégrer une série de contraintes.

Parmi ces contraintes, certaines permet d'imposer l'objectif qui nous a été fixé, tandis que d'autres permettent plutôt de « préserver » la logique de notre modèle et de s'assurer qu'il soit fonctionnel.

Nous aurons donc les contraintes suivantes :

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_k \cup (d(k))} x_{i,j,k} = 1 \quad \forall i \in P \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N_k} x_{i,j,k} - \sum_{j \in N_k} x_{j,n_i+i,k} = 0 \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in P_k \quad (2)$$

$$\sum_{j \in P \cup (d(k))} x_{o(k),j,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N_k \cup o(k)} x_{i,j,k} - \sum_{i \in N_k \cup o(k)} x_{j,i,k} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N_k \quad (4)$$

$$\sum_{i \in DU(o(k))} x_{o(k),j,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{i,j,k} (T_{ik} + s_i + t_{ijk} - T_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V_k \quad (6)$$

$$a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in V_k \quad (7)$$

$$T_{ik} + t_{i,n+i,k} \leq T_{(n+i)k} \quad \forall k \in K, \forall i \in P_k \quad (8)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, \quad \forall (i, j) \in A_k \quad (9)$$

$$x_{ijk} = \{0, 1\} \quad \forall k \in K, \quad \forall (i, j) \in A_k \quad (10)$$

Les contraintes citées ci-dessus représentent les différentes lois régissant notre système. Les contraintes (1) et (2) permettent d'assurer que chaque nœud ne soit visité qu'une et une seule fois, et que le même véhicule serve les points de collecte et de livraison d'un même OT. La contrainte (3) et la contrainte (5) imposent que chaque camion démarre de son dépôt d'origine et achève sa tournée dans son dépôt final. La contrainte (4) assure la continuité du flux tandis que les contraintes (6) et (7) imposent au système le respect des fenêtres de temps. La contrainte (8) assure pour sa part que le nœud de collecte d'un OT soit visité avant son nœud de livraison. Enfin, les contraintes de non-négativité et de binarité sont imposées par les inégalités (9) et (10).

### 2.3. Elaboration de la fonction objectif

La Fonction Objectif sera ici une fonction qui aura pour but de maximiser le kilométrage à charge, autrement dit de minimiser la distance parcourue par les camions qui ne génère pas de revenu à l'entreprise, c'est-à-dire les distances où ces derniers ne transportent pas de marchandises.

Une autre interprétation de cette dernière phrase serait de dire que la problématique consiste tout simplement à minimiser la distance (ou le temps) qui sera parcourue par les K camions dans trois situations différentes : lorsqu'il quitte son dépôt, lorsqu'il y revient, ou bien lorsque qu'il livre une marchandise et se dirige vers la prochaine.

Ainsi, la minimisation du kilométrage « à vide » se fait suivant la formule :

$$\min f = \sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} \sum_{j \in D_k} t_{j,i,k} x_{j,i,k} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} t_{o(k),i,k} x_{o(k),i,k} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in D_k} t_{j,d(k),k} x_{j,d(k),k}$$

### **Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique**

En somme, la première partie de l'équation :  $\sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} \sum_{j \in D_k} t_{j,i,k} x_{j,i,k}$  permet la minimisation de la distance à vide parcourue par les camions pour effectuer une nouvelle livraison, une fois leur précédente mission achevée.

La seconde partie, ou autrement dit  $\sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} t_{o(k),i,k} x_{o(k),i,k}$ , permet quant à elle de réduire le déplacement à vide du camion sortant du dépôt pour effectuer sa première collecte,

Tandis que la dernière partie de l'équation  $\sum_{k \in K} \sum_{j \in D_k} t_{j,d(k),k} x_{j,d(k),k}$  permet de minimiser ce dernier lorsqu'un camion rentre au dépôt une fois sa tournée achevée.

Au final, nous obtenons le modèle suivant :

$$\min f = \sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} \sum_{j \in D_k} t_{j,i,k} x_{j,i,k} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in P_k} t_{o(k),i,k} x_{o(k),i,k} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in D_k} t_{j,d(k),k} x_{j,d(k),k}$$

Sous contraintes :

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N_k \cup \{d(k)\}} x_{i,j,k} &= 1 \quad \forall i \in P \\ \sum_{j \in N_k} x_{i,j,k} - \sum_{j \in N_k} x_{j,n+i,k} &= 0 \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in P_k \\ \sum_{j \in P \cup \{d(k)\}} x_{o(k),j,k} &= 1 \quad \forall k \in K \\ \sum_{i \in N_k \cup \{o(k)\}} x_{i,j,k} - \sum_{i \in N_k \cup \{o(k)\}} x_{j,i,k} &= 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N_k \\ \sum_{i \in D \cup \{o(k)\}} x_{o(k),j,k} &= 1 \quad \forall k \in K \\ x_{i,j,k} (T_{ik} + s_i + t_{ijk} - T_{jk}) &\leq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V_k \\ a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K \quad \forall i \in V_k \\ T_{ik} + t_{i,n+i,k} &\leq T_{(n+i)k} \quad \forall k \in K, \forall i \in P_k \\ x_{ijk} &\geq 0 \quad \forall k \in K, \quad \forall (i, j) \in A_k \\ x_{ijk} &\geq 0 \quad \forall k \in K, \quad \forall (i, j) \in A_k \end{aligned}$$

**Figure 26** Algorithme de résolution "statique".

### **3. Partie dynamique**

#### **Recherche tabou avec mémoire adaptative**

L'heuristique de la recherche taboue peut être utilisée pour la résolution du problème statique présenté précédemment, cette dernière suit les lignes directrices établies par *Glover* (1989,1990) et est caractérisé par l'exploitation d'une mémoire adaptative (*Rochat et Taillard* 1995).

### **Problème dynamique**

Dans la version dynamique du problème la majorité des requêtes ne sont connues en avance, elles sont révélées de façon dynamique à mesure que le temps passe. Cette situation impact la solution obtenue par la méthode statique de nombreuse façon, comme démontré dans la partie qui suit :

### **Scénarios d'exploitation**

Les scénarios d'exploitation dynamiques sont basés sur les hypothèses suivantes :

- Les requêtes doivent être reçues avant un certain délai pour pouvoir être traitées le même jour. Celles reçues après ce délai pourront toutefois être traitées le lendemain. C'est le cas par exemple du Cut-off de CEVITAL, qui est un fichier plat regroupant l'ensemble des demandes en transport du groupe pour le lendemain du jour de sa réception. Les journées de travail commencent donc avec un certain nombre de requêtes statiques en attente (pour les quelles une solution peut déjà avoir été établie).
- L'incertitude ne provient que d'une seule source, l'apparition des requêtes le jour même. En outre, les distances entre les lieux de dépôt et de collecte ainsi que les temps nécessaires pour l'accomplissement de la requête sont supposés connus avec certitude, sans prendre en compte les possibles perturbations dues au monde extérieur (accident, détour, etc.). Dans la pratique, ces éléments sont connus et contenus dans une table Excel récapitulant les vitesses, les distances et les temps de trajets.
- La communication entre les camions et la tour de contrôle se font à travers les différentes agences et ont pour objectif d'informer les chauffeurs sur leurs prochaines missions. A noter que les chauffeurs n'ont pas une vision globale de leur itinéraire prévu (qui peut être modifié en cours de route).
- Si un temps d'attente est prévu pour les camions à leurs prochaines locations (temps de chargement et de déchargement par exemple), ils leur sont demandés d'attendre leur prochaine mission sur place. Ceci est fait dans une optique de stratégie de moindre engagement, car un déplacement doit être effectué au plus tard instant possible, de façon à pouvoir effectuer des changements de dernière minute sur les itinéraires si besoin est pour répondre aux requêtes dynamiques. Cependant une fois qu'un ordre de transport est affecté à un camion ce dernier doit compléter la requête.

### **Adaptation de la méthode de résolution du problème statique**

D'une manière générale l'environnement dynamique est traité en résolvant une série de problème statique, un nouveau problème étant déterminé à chaque mis à jour d'un input (ajout ou annulation de requête, indisponibilité des camions, fin de service...). Le problème statique prend en compte les requêtes (pas encore servies) déjà connues lors de la dernière mise à jour des inputs. Bien que chaque problème statique puisse être résolu par le modèle présenté dans la partie statique, l'évolution dynamique des expéditions au fil du temps implique un certain nombre de modification à l'algorithme de base :

1. Tant que 'pas d'évènement' optimiser le planning des routes avec la recherche tabou.

### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

2. Si un évènement survient alors :

2.1. Arrêter les différentes instances de recherche tabou en cours et ajouter les itinéraires de leurs meilleures solutions à la mémoire adaptative.

2.2. Si l'évènement en question est l'apparition d'une nouvelle requête alors :

- a) Mettre à jour la mémoire adaptative avec l'insertion des nouvelles requêtes dans chaque solution
- b) Si aucune place pour l'insertion n'est trouvée alors rejeter la requête. Cette règle est traduite chez NUMILOG par le recours à la flotte affrétée par les partenaires de la firme pour satisfaire la commande. Au final, aucune requête n'est réellement refusée par le système.

Si l'évènement est la fin de service auprès d'un client :

- a) Identifier la prochaine destination du camion en utilisant la meilleure solution stockée dans la mémoire adaptative
- b) Mettre à jour les autres solutions en conséquence.

2.3. Recommencer le processus de la recherche tabou avec les nouvelles solutions obtenues de la mémoire adaptative

Ainsi la recherche tabou marche en arrière-plan entre l'arrivée des évènements en recherchant les meilleurs itinéraires possibles. Les différentes instances de la recherche sont interrompues à chaque nouvelle mise à jour des inputs. Ces événements sont traités précisément de la façon suivante :

- a. Si l'évènement est une fin de service chez un client (ce qui n'est pas un évènement aléatoire car les temps entre les différentes localisations sont connus avec précision), le camion doit connaître sa prochaine destination. Etant donné que plusieurs solutions sont stockées dans la mémoire adaptative la meilleure est utilisée dans ce cas et les solutions restantes sont mises à jour dans la mémoire en enlevant ce client d'où il se trouve dans la mémoire et en l'ajoutant en première place à l'itinéraire du camion en question s'il n'y est pas déjà.
- b. En cas d'ajout d'une nouvelle requête, cette dernière est ajoutée à toutes les solutions dans la mémoire. Le lieu d'insertion est ici choisi de façon à minimiser la fonction objectif développée précédemment pour minimiser le kilométrage à vide des camions.

Dans le cas où l'on ne trouve pas de lieu d'insertion dans aucune des solutions la requête est rejetée, et donc réorientée vers un partenaire.

Il est nécessaire de définir un critère de refus d'insertion. En se basant sur l'objectif de l'entreprise, nous pourrions opter pour une condition de roulage à charge total de **78%** du roulage total des camions. Cependant des tests préliminaires devront être effectués pour vérifier que la flotte affrétée puisse absorber l'ensemble des OT rejetés.

Enfin, dans le cas où aucun véhicule n'est disponible, le client est informé immédiatement que sa requête ne pourra pas être traitée aujourd'hui. Dans le cas contraire si un point d'insertion est trouvé la requête est acceptée et toutes les solutions où l'insertion est

### **Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique**

impossible sont supprimés de la mémoire. En suite la meilleure solution dans la mémoire est traitée avec une heuristique locale pour rechercher toute amélioration possible. Cette heuristique s'arrête au premier minimum local. De cette façon, une solution performante est générée rapidement avec le nouvel ensemble de requête (et est disponible dans la mémoire adaptative afin de créer de nouvelles solutions de départ)

Après ces modifications, les instances de recherche peuvent redémarrer avec les nouvelles solutions construites à partir de la mémoire mise à jour.

A noter que le travail effectué par les différentes instances de recherches pour la solution actuelle n'est pas perdu quand ces dernières sont interrompues par un nouvel événement. Leurs meilleures solutions sont retournées à la mémoire adaptative pour de possible inclusion.

#### **Affinage de la méthode**

Dans la procédure de décomposition un nombre fixe de cycles  $C$  peut mener à une perte de diversité dans la mémoire adaptative, en effet plus de solutions seraient retournées et reconstruites à partir de la mémoire (pour un nombre donné de requête) quand l'intervalle de temps entre deux événements consécutifs augmente. La valeur  $C$  est donc ajustée dynamiquement après chaque événement suivant la formule :

$$C = C_0 + \frac{H}{R}$$

$H$  représente le nombre d'appels vers la mémoire adaptative entre les deux derniers événements et  $R$  représente le nombre de procédure de décomposition ou bien instance de recherche.

Le nombre de cycles  $C$  est donc basé sur le nombre moyen d'appels vers la mémoire par instance de recherche, avec un minimum de  $C_0 = 6$  cycles. Quand une augmentation du nombre d'appels vers la mémoire est observée la valeur de  $C$  augmente aussi : ainsi les processus tabous travaillent plus longtemps sur chaque problème avant de retourner leurs résultats vers la mémoire adaptative.

#### **4. Tests de simulation et validation du résultat**

Afin de valider notre hypothèse, nous allons dérouler une petite simulation, qui se fera avec une petite quantité de donnée, dans le but de valider la faisabilité de notre modèle.

##### **4.1. Préparation des données**

Avant de commencer à dérouler notre algorithme, il est nécessaire d'opérer à un prétraitement des données. Le tableau 14 ci-dessous récapitule par exemple, le distancier traduit en **heures**, obtenu pour le cas de deux dépôts et quatre OT (ayant chacun un point de collecte et un point de livraison).

Tableau 14 Distancier obtenu après préparation des données.

| t  | l1 | l2 | l3 | l4 | o1 | o2 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| c1 | 5  | 0  | 0  | 0  | 3  | 2  |
| c2 | 3  | 5  | 0  | 0  | 6  | 5  |
| c3 | 4  | 4  | 6  | 0  | 8  | 6  |
| c4 | 5  | 6  | 8  | 7  | 5  | 8  |
| d1 | 1  | 9  | 8  | 6  | 0  | 15 |
| d2 | 3  | 2  | 7  | 5  | 15 | 0  |

Les données ont été préparées suivant certains postulats :

- Il est impossible de se déplacer d'un point de collecte à un point de livraison d'un OT différent, ce qui se traduit pour l'instant par une distance temporelle nulle.
- La conversion distance-temps se fait en partant du principe que tous les camions roulent à une vitesse constante de 45 Km/h, dans un but de simplification du modèle.
- Les fenêtres de temps pour le service sont pareilles, et s'étalent de 00h à 24h pour tous les OT. Cela répond à l'exigence de satisfaire les OT le jour même des opérations.

### 4.2. Algorithme statique

Pour le déroulement de cette simulation nous allons nous baser sur les résultats obtenus par l'optimisation du plan de transport. Ce plan de transport, avait pour input les résultats des prévisions et présente en output un plan de transport hebdomadaire, et des boucles optimisées avec un nombre de camions déterminé.

Ce plan de transport servira d'input à notre outil, dont la partie statique aura pour but de sélectionner les TR qui vont effectuer les boucles.

Nous aurons donc en entrées :

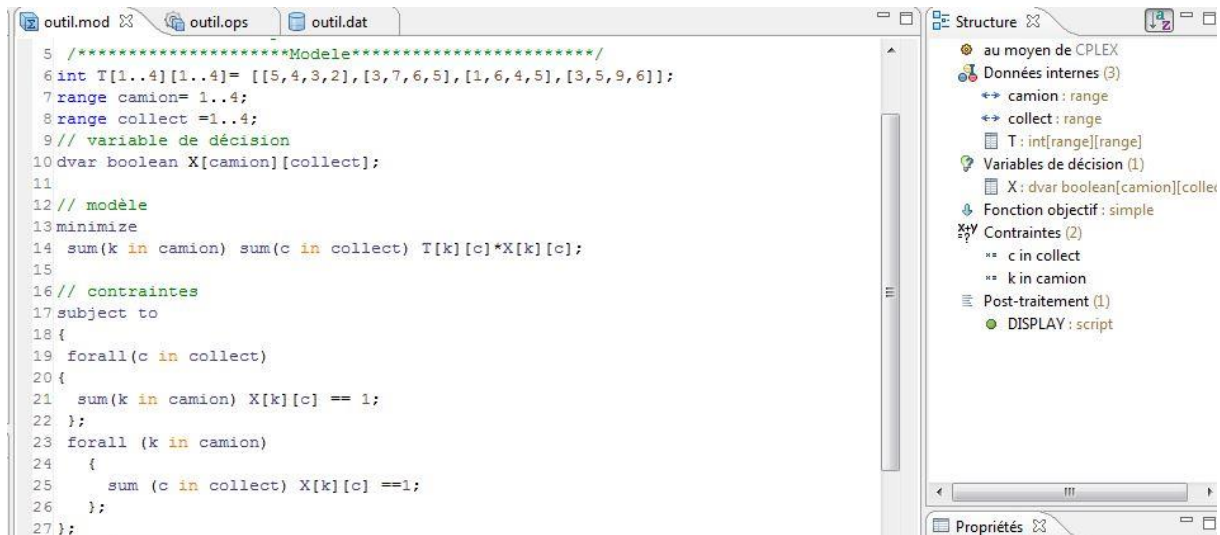
- Le point de collecte du premier OT de chaque boucle.
- La liste des camions **disponibles** et la localisation prévue de chacun au moment du début des opérations.

L'algorithme sera par la suite inséré dans le logiciel CPLEX de la façon qui suit :

- On suppose l'existence de quatre boucles dans le scénario d'aujourd'hui, et donc quatre OT qui seront les débuts de chaque boucle.
- On suppose quatre camions se trouvant dans quatre dépôts différents.
- On intègre une matrice (4x4) spécifiant les distances séparant les localisations des camions des différents points de collecte des premiers OT de chaque boucle.
- Nous intégrons la fonction à minimiser, c'est-à-dire le roulage à vide des camions pour rejoindre les points de collecte.
- Nous intégrons les deux variables du modèle pertinentes pour ce cas : la contrainte imposant que chaque sommet ne soit visité qu'une seule fois, la contrainte de non-négativité et la contrainte de binarité.

Nous commençons par l'intégration d'un plage de données contenant un distancier mettant en relation les quatre camions et les quatre boucles, en précisant les distances temporelles entre chaque couple camion-point de collecte en termes d'heures de trajet. Ces données sont répertoriées dans le fichier « data » comme le monte la figure 27 :

Le modèle est traduit en langage OPL, ou *Optimization Programming Language*, pour nous donner l'algorithme suivant :



```
5 /*****Modele*****/
6 int T[1..4][1..4]= [[5,4,3,2],[3,7,6,5],[1,6,4,5],[3,5,9,6]];
7 range camion= 1..4;
8 range collect =1..4;
9 // variable de décision
10 dvar boolean X[camion][collect];
11
12 // modèle
13 minimize
14 sum(k in camion) sum(c in collect) T[k][c]*X[k][c];
15
16 // contraintes
17 subject to
18 {
19 forall(c in collect)
20 {
21 sum(k in camion) X[k][c] == 1;
22 };
23 forall (k in camion)
24 {
25 sum (c in collect) X[k][c] ==1;
26 };
27};
```

Figure 27 Algorithme de solution initiale.

### 4.3. Résultat

Afin de visualiser le résultat dans CPLEX, il est nécessaire de passer par le développement d'une commande d'exécution, comme le montre la figure 29 :

```
28 // exécution
29 execute DISPLAY
30 { for (var i in camion)
31   {for (var j in collect)
32     { if (X[i][j]==1)
33       write ("|ok");
34     else
35       write ("| ");
36   }
37   write("\n");
38 }
39 }
```

Figure 28 Bloc d'exécution (post-traitement)



Une fois la configuration entière exécutée, nous obtenons le script suivant :

Figure 29 Solution optimale dans le journal de script.

Nous obtenons donc un optimum de 14h de roulage à vide total pour le début des boucles de scénarios.

La matrice suivante représente l'affectation optimale des camions pour ce cas :

Figure 30 Matrice de solution d'affectation

Cette matrice peut s'interpréter de la manière suivante :

Tableau 15 Plan d'affectation optimal des camions (initiation).

|                 | <b>Boucle 1</b> | <b>Boucle 2</b> | <b>Boucle 3</b> | <b>Boucle 4</b> |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Camion 1</b> | N/A             | N/A             | N/A             | Affecté         |
| <b>Camion 2</b> | Affecté         | N/A             | N/A             | N/A             |
| <b>Camion 3</b> | N/A             | N/A             | Affecté         | N/A             |
| <b>Camion 4</b> | N/A             | Affecté         | N/A             | N/A             |

Il est cependant nécessaire que l'algorithme, tout comme le modèle choisi, reste assez modulable en fonction du changement de contexte. En effet :

### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

- Les contraintes de temps ont ici été allongées à une période de 00h à 24h, ce qui est assez représentatif de la situation actuelle en entreprise, les clients ne précisant que le jour du service, et non l'heure. Toutefois, nous pouvons supposer l'arrivée future de fenêtre de temps, du fait de la stratégie actuelle de l'entreprise consistant à acquérir plus de parts de marché, ce qui la contraint à toujours être plus efficiente et compétitive.
- Nous sommes partis dans l'exemple précédent du principe que les projets prévisionnels et d'optimisation des flux ont déjà été déployés. Le plan de transport généré alors par ces deux outils fait ici office d'input à l'algorithme, qui ne s'occupe alors que de la sélection optimale des TR à utiliser, les boucles étant déjà optimisées à l'entrée.
- La fonction objectif est dès lors réduite à l'optimisation du roulage à vide de départ (la première double somme de l'équation totale), mais peut toutefois être sujette aux extensions précisées dans le modèle présenté plus haut dans la figure 24.

#### 4.4. Méta-heuristique et dynamisation

Reprenons à présent la solution obtenue précédemment, et injectons la comme solution de départ pour l'algorithme dynamique.

Nous projetons à un instant  $t$  le déroulement de nos scénarios, instant au cours duquel un évènement  $n_t$  imprévu fait que le camion 3 doivent retourner à sa base (panne, fin de service d'un chauffeur, etc.). La situation est représentée dans la figure ci-contre :

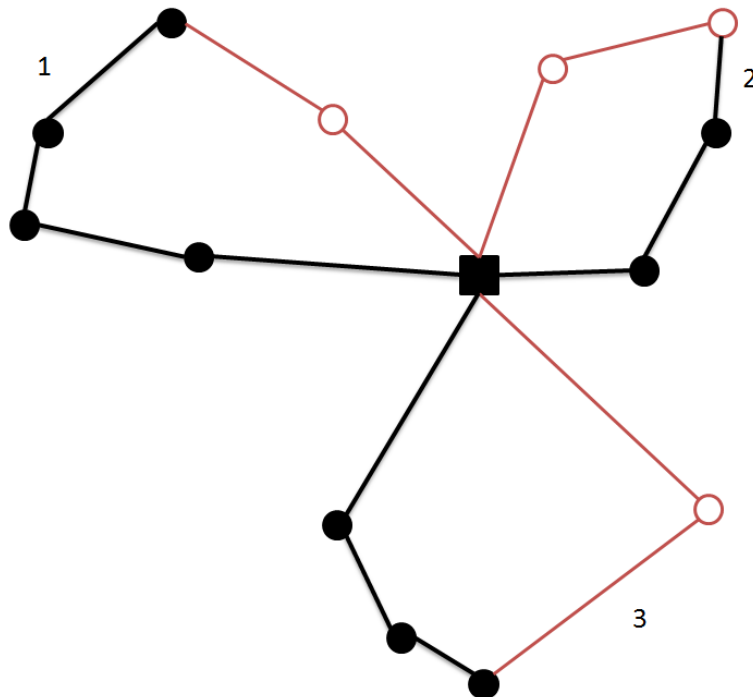


Figure 31 Avancement d'un modèle à trois boucles à l'instant  $t$ .

Dans le modèle de la figure 29, les points déjà visités et les trajets déjà effectués à l'instant  $t$  sont respectivement représentés par des cercles et des lignes rouges, la couleur noire représentant la partie de la boucle qui n'est pas encore effectuée à cet instant. Supposons que le camion fait l'objet d'un aléa qui le contraint à retourner au dépôt :

- Une recherche Tabou est effectuée sur le système avec une projection à  $t+\Delta h$ , et compile dans la mémoire adaptative les trois solutions possibles.
- Les solutions possibles sont : l'envoi d'un camion 4 depuis le dépôt, ou le re-routage des camions 1 ou 2 pour satisfaire les OT restants de 3.
- La solution retenue est celle qui ajoutera le moins de roulage à vide au roulage total du système.

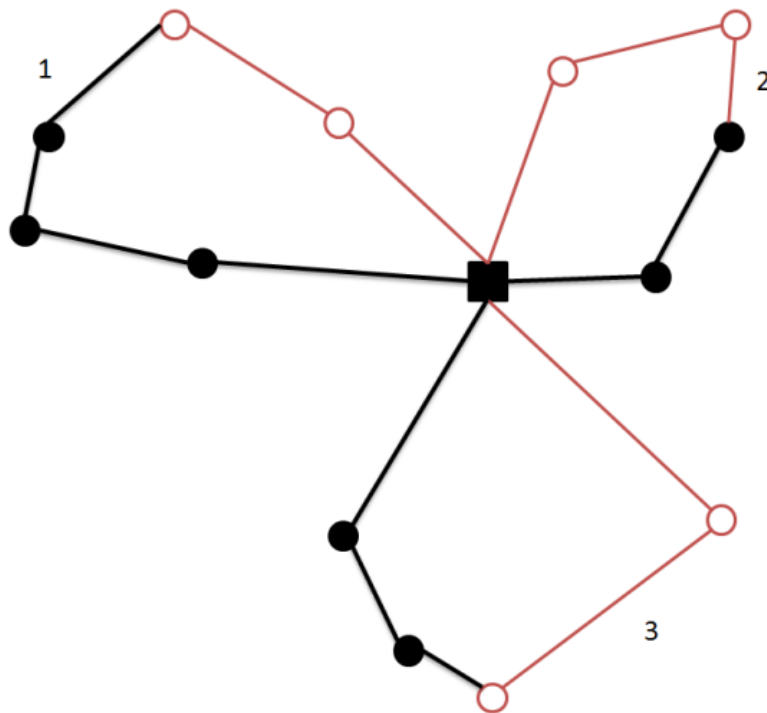


Figure 32 Projection du système à l'instant  $t+\Delta h$ .

Dans notre cas, la projection révèle que les camions 1 et 3 ont achevé une première livraison, mais que le camion 2 a déjà rejoint un nouveau point de collecte : les solutions qui lui sont liées seront ajoutés à la liste taboue et seront donc des solutions interdites.

La recherche taboue est alors déployée, en divisant l'ensemble des routes en deux sous-ensembles  $S_1$  et  $S_2$  de routes disjointes et répètera un certain nombre de fois, des simulations déterminant les solutions possibles.

Ces solutions réalisables sont toutes stockées dans une mémoire adaptative, qui sera mise à jour à chaque fois qu'un imprévu de la sorte se produit ou, dans de rares cas, à chaque

### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

occurrence de nouvelles demandes devant être satisfaites le jour même de leur arrivée.

L'algorithme est de ce fait qualifié de dynamique, et est régi par la programmation suivante :

---

**Algorithm 1** *Dynamic*

---

```
1:  $AM(t) \leftarrow \text{update}(AM(t-1))$ 
2: for  $j = 1$  to  $J$  do
3:    $S \leftarrow$  subset of disjoint routes of  $AM(t)$  (some transportation demands may not appear in  $S$ ,
   they constitute the set of unsatisfied demands)
4:   Try to insert all unsatisfied demands in the routes of  $S$ 
5:   for  $k = 1$  to  $K$  do
6:     Decomposition: create two subsets of routes  $S_1$  and  $S_2$  from  $S$ 
7:     Apply the tabu search on  $S_1$  which gives  $S'_1$ 
8:     Apply the tabu search on  $S_2$ , keeping the previous tabu list, which gives  $S'_2$ 
9:     Reconstruction: gather  $S'_1$  and  $S'_2$  and obtain a new solution  $S'$ 
10:     $S \leftarrow S'$ 
11:    Improve  $S$  (reorganization of the changes of vehicles)
12:    Try to insert all unsatisfied demands in the routes of  $S$ 
13:   end for
14:    $S \leftarrow$  the best solution found during the  $K$  iterations
15:   Add the routes of  $S$  to  $AM(t)$ 
16: end for
17: Post optimization of the best solution by using the tabu search and add its routes to  $AM(t)$ 
```

---

Figure 33 Algorithme général de la recherche taboue dynamique. (Gendreau et al. 1999)

A ce stade, nous sommes précisément à la ligne 12 du code généré plus haut.

La mémoire adaptative compile trois solutions possibles, tel qu'illustré dans la figure 35. Nous pouvons donc soit réorienter le camion 1 ou, ou encore envoyer un nouveau camion pour satisfaire les requêtes restantes en 3.

L'avantage de la recherche taboue prend ici tout son avantage, puisque la liste taboue permet de supprimer la solution C et ainsi gagner en temps de calcul.

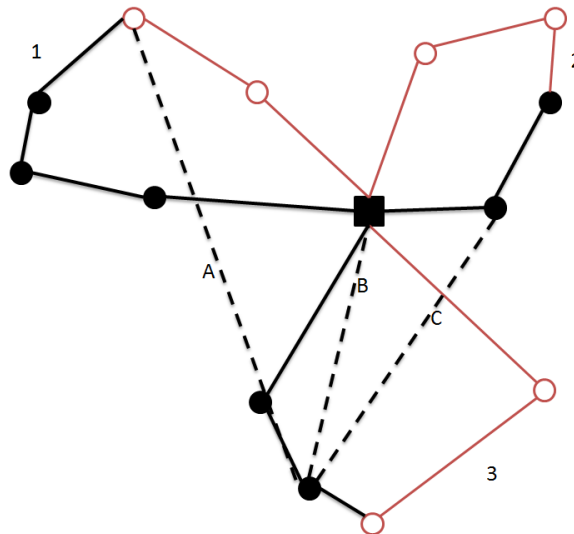


Figure 34 Calcul des solutions réalisables dans la mémoire adaptative

#### 4.5. Validation de la solution :

Une validation quantitative absolue est assez complexe à réaliser dans notre cas, et ce pour plusieurs raisons :

- La nature actuelle de la prise de décision du service opérations, basée essentiellement sur la compétence humaine, et ne reposant pas vraiment sur un système défini, rend difficile toute tentative de comparaison, les indicateurs étant totalement différents.
- L'absence d'historiques sur les emplacements des camions lors des lancements de service ne permet pas la détermination d'échantillons représentatifs du comportement global du système.
- Enfin, les règles de confidentialité de NUMILOG concernant les chiffres d'affaires et les montants des coûts ne nous permettent pas de formuler clairement une évaluation monétaire de l'impact du déploiement de notre outil.

Toutefois, nous tenterons dans ce qui suit d'établir un ordre de grandeur de l'apport supplémentaire de l'outil d'aide à la décision que nous proposons. Dans cette optique, nous définissons un indicateur de performance basé sur la moyenne de roulage à charge des camions de quatre échantillons prélevés à différentes périodes au cours du premier semestre 2019. Le Roulage à Charge Effectif, ou R.C.E, est calculé en faisant le produit du rapport du coût total sur la distance totale parcourue sur la période choisie, et de la différence en pourcentage de roulage à charge moyen avant (expérimental) et après l'utilisation de l'outil développé (théorique).

$$R.C.E = \frac{\text{coût total}}{\text{Distance totale parcourue}} * (\text{Roulage à charge}_{théo} - \text{Roulage à charge}_{exp})$$

Pour mettre en avant la contribution de l'outil, nous partons du principe que le coût kilométrique (ou le ratio coût / Distance de l'équation), est constant sur les quatre périodes des tests. Par souci de confidentialité, nous ramènerons donc ce ratio à 1 dans ce qui suit.

### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

Les données obtenues sur les quatre échantillons représentatifs sélectionnés, issus des activités des mois de Janvier, Février et Mars 2019, sont récapitulées dans le tableau qui suit :

Tableau 16 Informations sur les échantillons représentatifs de la validation.

| Echantillon e       | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| R.C <sub>exp</sub>  | 65% | 62% | 68% | 67% |
| R.C <sub>théo</sub> | 76% | 80% | 75% | 78% |
| R.C.E               | 11% | 8%  | 7%  | 11% |

Partant de ces résultats, nous calculer une moyenne de notre indicateur pour apporter un ordre de grandeur de l'apport :

$$\overline{R.C.E} = \frac{1}{n} \sum_{e=1}^n R.C.E_e = \frac{1}{4} \sum_{e=1}^4 R.C.E_e = 9.25\%$$

Ainsi, nous pouvons à partir du roulage à charge effectif, conclure que la solution proposée induira une réduction des coûts dus au roulage à vide des camions de l'ordre des 10% sur l'ensemble des mouvements de la flotte.

Toutefois, ce chiffre reste sujet à interprétation, dans le sens où les 10% énoncés pourrait varier en fonction de la maturité des systèmes mis en place pour exécuter la solution.

## 5. Démarche d'implémentation

La section qui suit concerne la démarche d'implémentation de la solution, développée précédemment, au niveau de la tour de contrôle de NUMILOG.

Pour ce faire une série d'ajustements et de modifications doivent être réalisés au préalable :

Dans un premier temps il sera nécessaire de fluidifier l'opération des préparations des données, par la suite un paramétrage du TMS sera nécessaire, tout en assurant la possibilité de migration des données entre les différents progiciels. Enfin, les facteurs de capacité de stockage, d'historisation des données et de vitesse de calcul devront également faire l'office de démarche d'amélioration.

### 5.1. Les limites du modèle

Bien qu'efficace, la solution n'en est pas efficiente pour autant. En effet, faire fonctionner le modèle pour une flotte aussi large que celle de NUMILOG nécessite des infrastructures informatiques conséquentes.

#### Partie statique

La première partie du modèle, développée dans le point 2.1 de ce chapitre, concerne la mise en place du programme linéaire chargé de déterminer la solution initiale de la partie dynamique

- Les paramètres temporels de datation (date de début et de fin de service, durée de chargement / déchargement), doivent être inséré avec une règle de mise à jour

constant. En outre, il sera nécessaire de pointer les camions en temps réel, pour un suivi continu des localisations » et des dates.

- Il est également nécessaire de pouvoir adapter le modèle à la situation rencontrée. En fonction des outputs et de la fiabilité des prévisions et des plans de transports élaborés, mais aussi en fonction de la quantité de données dont nous disposons sur chaque commande, les paramètres d'entrées, la fonction Objectif et les contraintes pourraient être modifiés en conséquence. Cela implique également plusieurs boucles de scénarios possibles dans la partie algorithmique.

#### **Partie dynamique**

La partie dynamique de la solution pourrait permettre à l'entreprise de préserver son objectif d'optimisation à mesure que les opérations sont exécutées. Cependant, l'environnement actuel de ce dernier ne permet pas une utilisation directe du programme, du fait des limites qu'il impose au déroulement du programme. Parmi ces derniers nous citerons :

- Les structure de mémoire doivent également être adaptées de façon à accueillir des listes taboues, et doivent donc présenter les caractéristiques d'une mémoire adaptative. A cela s'ajoute les besoins de capacité de calcul, de stockage et de normalisation de données, nécessaire au déroulement d'une recherche taboue.
- Les procédures nécessitent l'utilisation de données accessibles depuis deux progiciels séparés, et doivent donc être extraits, regroupées puis traitées sur Excel avant d'être réinjectés. Cela rallonge la vitesse de calcul de manière intolérable, rendant l'outil totalement inefficace. D'où la nécessité de la mise en place d'outil de migration de données.
- Une architecture décisionnelle doit être mise en place. A tout moment, les requêtes refusées doivent faire l'office de décisions rapide de la part des managers, qui devront choisir entre l'augmentation du roulage à vide, le recours aux affrétés ou encore le rejet. La vitesse de la prise de cette décision est intimement liée à la vitesse globale de déroulement des opérations.
- Afin de déterminer des KPI et de suivre l'évolution de la performance du système, il faudra également mettre en place un système d'archivage et d'historisation global des données, qui permettraient d'accéder aux itinéraires suivis et aux délais et temps de livraison des OT.

#### **5.2. Perspectives futures, la structure décisionnelle proposée**

Afin de permettre la mise en place de l'outil d'aide à la décision, nous proposons dans ce qui suit une architecture de référence qui, en venant renforcer le système transactionnel déjà mis en place, permettrait l'intégration des outils pour la prévision, l'optimisation des flux, des TR, et des CSR au système complet. Ce dernier point vise à capitaliser les résultats obtenus dans les quatre projets menés cette année chez NUMILOG :

- L'outil d'aide à la prévision, qui aura pour rôle « d'aligner » les décisions prises à l'instant  $t$  et de les rapprocher de la réalité du temps  $t+\Delta h$ .

### **Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique**

- L'outil d'aide à l'optimisation des flux, qui déterminera la longueur des boucles, et le nombre de camions utilisés.
- L'outil d'aide à l'optimisation des moyens, que nous proposons ci-dessus, et qui a pour mission de sélectionner les camions à affecter.
- L'outil d'aide à la gestion des chauffeurs, qui a pour attribution de retirer les contraintes sociales de l'environnement des trois outils précédents.

Avant de commencer, il est nécessaire de capitaliser l'ensemble de connaissances sur les flux de l'information actuels :

- La tour de contrôle comprends deux organismes principaux : La division planification et la division opérations, qui inclut les relations partenaires en son sein.
- Les données utilisées par ces départements sont accessibles depuis deux sources : le Système géologue et le TMS.
- Chaque outil nécessite de traiter des données spécifiques, avec des niveaux d'agrégation différents. (exemple : les wilayas de départ et d'arrivée pour les prévisions, les coordonnées GPS pour l'optimisation flux et moyens.)
- Une historisation des opérations effectuées est nécessaire pour permettre au top management d'effectuer des suivis de performance.
- Les mises à jour doivent être effectuées de façon rapide, en réponse à la fréquence élevée de changement des données de localisation ou de temps.

#### **Identification des besoins**

Dans ce qui suit, nous allons voir une série de points caractérisant la nature de la décision au sein de la tour de contrôle. Ces spécificités serviront ensuite à l'identification des composantes et de l'architecture du système d'information déployé :

Tableau 17 Besoins décisionnels détectés.

| <b>Besoin</b>                 | <b>Observation</b>  |
|-------------------------------|---|
| <b>Vitesse</b>                | La vitesse de mise à jour doit être importante, du fait de la fréquence de changement élevée des données.   |
| <b>Espace disque</b>          | La sauvegarde de l'espace disque est un élément majeur, du fait de la quantité importante de données et de métadonnées générées durant les opérations.            |
| <b>Historique des données</b> | L'historisation des données est un facteur clé pour le suivi de la performance. Dans le cas des camions par exemple, cela permettrait de retracer les parcours    |
| <b>Niveaux d'agrégation</b>   | La taille du grain devra être réduite à l'heure pour les temps et au Km pour les distances. Ceci pourrait générer d'importantes quantités de données par la suite |
| <b>Base de données</b>        | La base de données n'est pas centralisée, et la majorité des décideurs puisent leurs données depuis deux sources disjointes.                                      |



### Modélisation dimensionnelle

Dans ce qui suit, nous allons dérouler les cinq étapes de la modélisation dimensionnelle, développés dans la figure 35, pour ensuite expliciter l'architecture proposée :

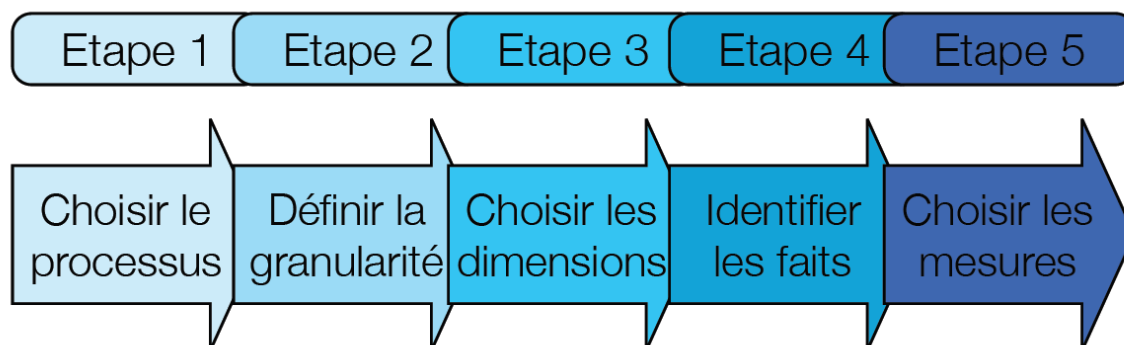


Figure 35 Les étapes de la modélisation dimensionnelle.

#### **Etape 1 : Le choix du processus**

Le processus choisi est le même processus de prise de décision développé dans le chapitre 1 partie 4.1 de ce travail : il s'agit entre autre du processus de décision effectué au sein de la tour de contrôle de NUMILOG basée à OUED SMAR.

Les faits mesurés seront dès lors :

- Les OT.
- Les clients.
- Les CSR.
- Les TR.

Le but final ici est d'établir un tableau de bord qui pourrait informer les décideurs sur des indicateurs de performance tels que : le kilométrage à charge et le Chiffre d'affaire par camion, par chauffeur, ainsi que les OT par client.

#### **Etape 2 : Définir la granularité**

A présent nous choisissons le niveau de détail pour chaque mesure :

- La dimension temporelle est définie sur l'année, avec une nécessité d'agrégation sur le trimestre, le mois, la semaine et le jour.
- La distance est exprimée en Km.
- On utilise la ligne comme référentiel, chaque ligne renvoyant aux spécificités d'une commande, d'un camion ou d'un chauffeur.

#### **Etape 3-5 : Le choix des dimensions, les faits et les mesures :**

- Les faits seraient : OT, CSR, TR, clients ... etc.
- Les dimensions seraient : les différentes distances, les temps ... etc.
- Les mesures seraient : kilométrage à charge, MOP (Marge opérationnelle), coûts ... etc.

### Chapitre III. Elaboration du modèle mathématique

Tableau 18 proposition de table de faits, dimensions et mesures.

| Fait                    | Dimensions | mesures                   |
|-------------------------|------------|---------------------------|
| <b>Opération</b>        | Client     | Kilométrage à charge      |
|                         | OT         | Distance                  |
|                         | TR         | Quantité                  |
|                         | CSR        | Durée                     |
|                         |            | Montant                   |
| <b>Roulage à charge</b> | TR         | Distance totale parcourue |
|                         | OT         | Roulage à charge          |
| <b>MOP</b>              | OT         | Roulage à charge          |
|                         | TR         | CA                        |

#### Architecture du système décisionnel :

Ce travail s'inscrit dans son intégralité dans le cadre d'un projet de NUMILOG consistant en l'élaboration d'un outil d'aide à la décision quadri-fonctions : l'aide à la prévision, l'aide à la planification, l'aide à l'affectation des camions et l'affectation des chauffeurs.

Toutefois, cet outil aura certainement une efficacité limitée sans le système décisionnel qui permettrait aux différents décideurs d'accéder au résultat. Même si nous considérons que ce point devrait faire l'objet d'un projet à part entière, nous recommandons dans ce qui suit une architecture spécifique du système décisionnel, en se basant sur les informations dont nous disposons.

Tableau 19 Proposition d'architecture décisionnelle globale.

| Dimension                    | Observations   | Recommandation  |
|------------------------------|--|---|
| <b>Base de données</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Les données ne sont pas centralisées.</li> <li>○ Redondances fréquentes dans les données OT-Clients et les données Date-heure.</li> </ul>   | Mise en place d'un <i>Data Warehouse</i> central, et d'une base de données. |
| <b>Structure de décision</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Plusieurs décideurs présentent des besoins en données différentes mais provenant d'une même source (datations en heure ou jour, lieu en GPS, en ville ou en wilaya ... etc.)</li> </ul> | Architecture en « Hub and Spoke »   |

Ainsi, le point final de ce travail est la proposition d'un nouveau lancement de projet de mise en place de structure décisionnelle qui apportera la structure et le support nécessaire au déploiement de l'outil d'aide à la décision développé ici. Le système en question sera notamment conçu en prenant en considération la structure du système transactionnel actuel, ainsi que des vitesses de mises à jour et de calcul requises pour l'outil à déployer.

Dans ce dernier chapitre, nous avons développé les différentes étapes qui nous ont permis l'élaboration d'un algorithme de sélection des camions à affecter aux différentes missions programmées, en temps réel, et en incluant les éventuels aléas inhérent aux opérations sur le terrain.

A l'heure actuelle, le programme a fait l'objet de simulations sur le terrain, et requiert une informatisation plus complète pour un déploiement en entreprise.

Nous avons également proposé une étape suivante pour l'entreprise, qui est le déploiement d'un système décisionnel pour encadrer et renforcer l'efficacité de l'outil développé.

## Conclusion générale

Le marché du transport et de la logistique en Algérie est un marché en proie à de profonds changements. Les régulations gouvernementales de plus en plus sévères et l'accroissement constant de la compétitivité des concurrents contraint toute entreprise de transport à optimiser sa gestion des coûts liés à ses opérations. NUMILOG y a vu une opportunité de s'imposer comme leader du transport routier, et comme référence algérienne de partenariat logistique.

C'est dans le cadre de cette stratégie qu'a été déployé le projet d'outil d'aide à l'affectation des camions sur lequel porte ce travail. Le besoin de l'entreprise était alors d'augmenter l'efficacité opérationnelle de sa tour de contrôle, récemment mise en place, dans le cadre de l'affectation des véhicules de sa flotte à un moindre coût.

Afin de répondre à cette problématique, nous avons dans un premier temps entrepris d'effectuer une étude de la situation actuelle et des actifs de NUMILOG, en effectuant un diagnostic externe puis interne de l'entreprise, suivi du déroulement de l'audit CAVAR sur la qualité des données sortantes de la tour. Ces analyses nous ont permis d'extraire notre problématique de l'intérieur, et d'en valider la source.

Suite à cela, une seconde partie du projet a été initiée, dans le but de faire un catalogue énumérant les différents domaines de la recherche scientifique que notre problématique touche. Une recherche bibliographique en quatre temps a alors été menée, et portait sur :

- La prise de décision logistique et sa quantification.
- Les problèmes de tournées de véhicules.
- L'extension dynamique des problèmes statiques avec la dimension temporelle.
- Les méthodes méta-heuristiques de résolution de problèmes complexes.

La recherche achevée, la troisième partie capitalisait les différentes informations énoncées dans les deux premiers chapitres, pour aboutir à une classification précise du problème auquel nous sommes confrontés, suivie par la proposition d'un modèle mathématique de résolution, et d'un test de validation à travers la programmation d'une simulation dynamique.

Nous sommes arrivés à la suite de plusieurs tests, à déduire que la solution devait être un algorithme que nous qualifions de « modulable », et que le modèle proposé pourrait changer afin de s'adapter à la situation qui est rencontrée par l'entreprise à tout moment. Nous avons ainsi proposé un algorithme général, scindé en deux parties :

- Une première partie qui est un algorithme statique, résultant de l'hybridation de plusieurs solutions types de cas de VRP classiques. Ce modèle représente justement la partie « modulable » énoncée précédemment, et nous avons donc proposé un modèle général comprenant tous les composants possibles pouvant être requis. En fonction de la précision de l'entrée, le modèle peut être réduit. A la sortie, une solution est générée, désignée comme « solution initiale ».
- Une seconde partie, intègre les problèmes liés aux activités en temps réel de l'entreprise. En démarrant de la solution initiale précédente, un algorithme de

recherche tabou a été déployé afin de maintenir l'optimisation du système même dans le cas où un évènement survient de manière non-calculée, notamment l'arrivée d'une nouvelle commande.

Enfin, une fois la solution explicitée, nous avons adopté une vision globale pour tenter de cerner le fonctionnement des outils découlant des quatre projets d'aide à la décision lancés cette année par NUMILOG. Une analyse des informations détenues jusqu'à présent nous a permis de formuler une recommandation, qui ouvre sur des perspectives d'améliorations futures.

Nous proposons ainsi dans la toute dernière partie un point de départ pour le lancement d'un projet d'optimisation du système d'information transactionnel, et d'implémentation d'un système décisionnel, qui auront pour objectifs respectifs de faciliter l'accès aux données et d'établir des tableaux de bords pour le top management, avec des indicateurs pertinents pour évaluer la performance opérationnelle de la nouvelle tour de contrôle.

Toujours dans une démarche de proposition, nous suggérons comme perspectives d'améliorations futures les thématiques suivantes :

- La standardisation et la normalisation des processus de la tour de contrôle, à travers la norme ISO : 9001, par exemple.
- L'amélioration et le renforcement structurels du système d'information de l'entreprise, permettant notamment l'archivage et le suivi des données, mais aussi la migration de ces dernières entre les différents progiciels de l'entreprise.
- L'établissement de tableaux de bords exhaustifs et représentatifs capables d'apporter aux décideurs une vision fiable et globale de l'état des activités en temps réel.

Ce projet a été très enrichissant à mener, car il nous a permis d'une part de mettre en pratique l'ensemble des connaissances acquises durant ces trois dernières années, et de nous familiariser d'autre part avec la gestion d'un projet dans les conditions de la vie réelle.

## Bibliographie

- AZI, GENDREAU et POTVIN.** *An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes.* 10, s.l. : European Journal of Operational Research, 2007
- BABIN, DENEALU et LAPORTE.** *Improvements to the or-opt heuristics for the symmetric traveling salesman problem.* 58, s.l. : Journal of the Operational Research Society, 2007
- BADEAU et al.** *A parallel Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows.* 31, s.l. : Transportation Science, 1997
- BENT, VAN HENTENRICK.** *Online stochastic Optimization Under Time Constraints.* s.l. : Working Paper, 2006. E
- BRAYSI, DULLAERT et GENDREAU.** *Evolutionary Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows.* 10, s.l. : Journal of Heuristics, 2004
- BROWN, ELLIS, GRAVES et RONEN.** *Real-time wide area dispatching of mobile tank trucks.* 17, s.l. : Interfaces, 1987. ISBN: 0092-2102
- CORDEAU.** *A Branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem.* 54, s.l. : Operations Research, 2006. ISBN: 0030-364X
- DANTZIG et al.** The truck dispatching problem. *Management Science.* 1959, Vol. 6, 80
- DROR, POWELL.** *Stochastic and dynamic models in transportation.* 41, s.l. : Operations Research, 1993. ISBN: 0030-364X
- GENDREAU et al.** Stochastic vehicle routing. *European Journal of operations research.* 1996, Vol. 88, p 3-12
- GHIANI et al.** *Parallel Tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem.* 30(3), s.l. : Parallel computing, 2004.p 377-387
- GLOVER, TAILLARD, DE WERRA.** *A Users Guide to Tabu Search,* Annals of Operations Research, 1993.
- ICHOUA et al.** *Diversion issues in Real-Time Vehicle dispatching.* 34 (4), s.l. : Transportation Science, 2000. p 426-438
- ICHOUA et al.** *Exploiting knowledge about future demands for real-time vehicle dispatching.* s.l. : Transportation Science Forthcoming, 2005
- JOHNSON,** *Local Optimization and the Traveling Salesman Problem* In Proc.17th Colloquium on Automata, Languages and Programming, 1990
- JOSSELIN, MARILLEAU, LANG,** *Modelling dynamic demand responsive transport using an agent based spatial representation,* Conférence Européenne des systèmes complexes, 2009
- KELLY, XU.** *Tabu Search and Vocabulary Building for Routing Problems,* Graduate School of Business and Administration, University of Colorado at Boulder, 1995

- LAPORTE, KRISHNAMURTI, MITROVI' C-MINI' C.** *Double-Horizon based heuristics for the capacited vehicle routing problem.* 3, s.l. : Transportation Science, 2004, Vol. B
- LIONG, OMAR.** *Vehicle routing problem : models and solutions.* s.l. : Universiti Kebangsaan Malaysia, 2008
- LUND, MADSEN, RYGAARD.** *Vehicle routing problems with varying degrees of dynamism.* s.l. : Technical University of Denmark, 1996
- LYSGAARD, LETCHFORD, EGGLESE.** *A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem.* 100, s.l. : Mathematical Programming, 2004. ISBN: 0025-5610.
- MADSEN, LARSEN, SOLOMON.** *Partially Dynamic vehicle routing - models and algorithms.* 637-646, s.l. : Journal of the Operational Research Society, 2002, Vol. 53
- PAUL.** *Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems.* In Principles and Practice of Constraint Programming CP98, 2001
- POWELL, JAILLET, ODONI.** *Stochastic and Dynamic networks and routing.* 141-195, s.l. : Operations Research and management science, 1995, Vol. 8
- PSARAFTIS.** *Dynamic vehicle Routing : Status and Prospects.*, *Annals of Operationnal Research.* 1995, Vol. 61. p 143-164
- PSARAFTIS.** *Dynamic Vehicle routing problems.* Elsevier Science Publisher. 1988, p 223-248
- REGAN et al.** *Evaluation of dynamic fleet management systems : simulation framework.* 1645 : Transportation Research Record, 1998
- RIGHINI, BIANCHESSI.** *Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery.* 34, s.l. : Computers & Operations Research, 2007, Vol. 2. ISBN: 0305-0548
- SAUSSOL, MAOUCHE, HAYAT, DEKOKERE, DUMONT.** *Elaboration et mise au point d'un système d'aide à la décision pour la gestion du réseau de transport collectif de Montbéliar, Rapport d'étape INRETS-I3D-LAIL, Appui à la modélisation du système multi-agents, juin 2000*
- SAVELSBERGH, SOL.** *DRIVE :Dynamic Routing Independent Vehicles.* 46 : Operations Research, 1998.p 474-490
- SEXTON, BODIN.** *Optimizing single vehicle many-to-many operations with desired delivery times: tome I.* 7, s.l. : Transportation Science, 1985, Vol. Scheduling
- SKORIN-KAPOV, CHAKRAPANI.** *Connection Machine Implementation of a Tabu Search Algorithm for the Traveling Salesman Problem.* 1, s.l. : Journal of Computing and Information Technology, 1993. ISBN: 1330-1136
- SORIANO, GENDRAU, CRAINIC et TOULOUSE.** *A Tabu Search Procedure for Multicommodity Location/Allocation with Balancing Requirements.* 41, s.l. : Annals of operations Research, 1993. ISBN: 0254-5330

**YANG, JAILLET, MAHMASSANI.** Real-Time Multi-Vehicle Truckload pick-up and Delivery Problem. *Transportation Science*. 2004, Vol. 38 (2), p135-148

**ZEIMPIKIS, TARANTILIS, GIAGLIS, MINIS.** *Dynamic Fleet Management, Concepts, Systems, Algorithms & Case Studies*. s.l. : Springer, 2007. ISBN: 978-0-387-71721-0

**ZIDI, MESGHOUNI, GHEDIRA.** *Application de l'Algorithme de Recuit Simulé pour la Résolution d'un Problème de Transport à la Demande Biobjectif.*, Marrakech, Maroc : 5<sup>o</sup> Conférence Internationale en Recherche Operationnelle., 2010.

### **Webographie :**

**WIKIPEDIA,** La logistique [en ligne], consulté le 03/01/2019. Disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Logistique>

**WIKIPEDIA,** matrice SWOT [en ligne], consulté le 26/02/2019, disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/SWOT\\_\(m%C3%A9thode\\_d%27analyse\)?fbclid=IwAR19ZBnO1Bybv8j7kB0Fn9Mw38NJpapupXksy5IeZ8pLCBv6B0kvKxPznXM](https://fr.wikipedia.org/wiki/SWOT_(m%C3%A9thode_d%27analyse)?fbclid=IwAR19ZBnO1Bybv8j7kB0Fn9Mw38NJpapupXksy5IeZ8pLCBv6B0kvKxPznXM)

**CEVITAL,** “Chiffres Clés” [en ligne], consulté le 12 Janvier 2019, disponible sur : [www.Cevital.com](http://www.Cevital.com)

**UNIVERSITE DE RENNES,** [en ligne], consulté le 26/05/2019, disponible sur : <https://perso.univ-rennes1.fr/thierry.penard/cours/master1ei/SupportMasterei4.pdf>



# ANNEXES

## **Annexes**

### **Annexe 01 : Audit CAVAR**

#### **Questionnaire de l'analyse approfondie des besoins des opérateurs.**

**Objectif :** Comprendre le processus de prise de décision et le rôle des différents intervenants du processus, ainsi que les besoins des opérateurs en termes d'information et de données pour mener à bien leurs tâches.

**Partie 1 :** comprendre le rôle des opérateurs dans le processus d'affectation des ordres de transport

Q1 : comment la direction des opérations est-elle organisée et quel est le rôle de chacun des opérateurs ?

Q2 : quelles sont les interactions principales entre lui (et son service) et les autres directions ?

Q3 : Quels sont les principales procédures suivies par les opérateurs pour prendre des décisions ?

**Partie 2 :** identifier les besoins des Opérateurs.

Q4 : Sur quels critères se basent les décisions prises par les opérateurs au quotidien ?

Q5 : Quelles sont les informations et données nécessaires à la prise de décision ?

Q6 : Les outils techniques et l'accompagnement sont-ils mis à dispositions des opérateurs ?

Q7 : Quelles sont les sources de ces données ? Sont-elles accessibles facilement et rapidement ?

Q8 : De quelle façon détermine-t-il les progrès et la réussite ?

Q9 : Quelles sont leurs principales mesures de performance ?

Q10 : Quelles sont les étapes de validations des décisions prises ?

Q11 : Quelles sont les possibilités d'amélioration ?

**Partie 3 :** La qualité des données

Q12 : Le temps d'interrogations des bases de données est-il suffisant ?

Q13 : L'information parvient-elle jusqu'à son demandeur ?

Q14 : Les données sont-elles présentées de façon claire et éligible ?

Q15 : Les données sont-elles traçables ?

Q16 : L'accès à la donnée est-il sécurisé ?

## Annexe 02 : Présentation du solveur CPLEX :

Pour la résolution du modèle mathématique, nous avons utilisé l'outil informatique CPLEX.

**Définition :** CPLEX est un outil informatique d'optimisation commercialisé par IBM depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe. Il est composé d'un exécutable (CPLEX interactif) et d'une bibliothèque de fonctions pouvant s'interfacer avec différents langages de programmation : C, C++, C#, Java et Python.

Il fournit des outils de modélisation puissants pour convertir les problèmes métier en modèles d'optimisation et résoudre un large éventail de problèmes d'optimisation. Il permet aussi de :

- Développer et déployer facilement des modèles d'optimisation des décisions
- Résoudre des modèles de programmation mathématique et de programmation par contraintes à l'aide de solveurs exceptionnels
- Exécuter des scénarios de simulation pour évaluer plusieurs scénarios et choisir le plan d'action optimal

### Les avantages du CPLEX :

| Avantage                       | Observation   |
|--------------------------------|---|
| Algorithmes robustes           | CPLEX fournit la puissance nécessaire pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes, ainsi que la vitesse requise pour les applications d'optimisation des décisions interactives d'aujourd'hui. CPLEX permet de résoudre des modèles d'optimisation avec plusieurs millions de contraintes et de variables. |
| Interface flexible             | Les développeurs disposent de plusieurs façons d'interagir avec CPLEX lors du développement et du déploiement de leurs applications.  |
| Redémarrage automatique rapide | Les programmes linéaires peuvent être modifiés, puis résolus à nouveau, en beaucoup moins de temps. Les programmes mixtes en nombres entiers peuvent être modifiés et résolus à partir d'un pool de solutions antérieures.  |



### **Contenu :**

La ligne de reporting comprend :

- L'identifiant l'OT.
- La référence et le nom du client.
- Le type de marchandise transportée.
- L'identifiant et l'immatriculation du TR affecté à chaque OT.
- La ville, la date, et l'heure du départ.
- La ville, la date, et l'heure prévue d'arrivée.
- L'état logistique :
  - « A affecter » pour les nouveaux OT.
  - « Pré affecté » suite à l'affectation du TR.
  - « Affecté » suite à l'affectation du CSR.
  - « Compte rendu » suite à la livraison et la remise du BAF.
- L'état administratif :
  - « OT en attente » si le BAF n'est pas encore remis.
  - « OT réalisé » si l'OT est déjà servi et en attente de facturation.
  - « OT facturé » si la facturation est terminée.
- Le nom et prénom du chauffeur CSR.
- Le nom ou la dénomination de l'expéditeur et du destinataire.

## Annexe 4 : L'approche Processus.

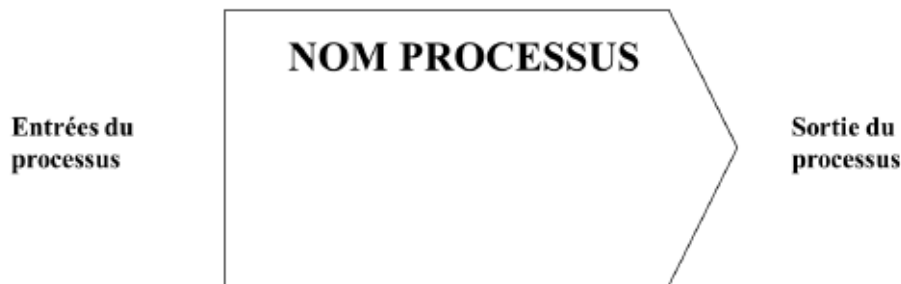
### Définition :

La définition de l'approche processus est donnée par la phrase qui suit :  
« *L'APPROCHE Processus est une méthode d'analyse et de modélisation. Elle consiste à décrire de façon méthodique une organisation ou une activité, généralement dans le but d'agir dessus* ». (Branderburg et al. ,2003)

Si l'approche processus est plus souvent utilisée dans la modélisation informatique des systèmes, nous l'avons utilisée ici dans un simple but de « visualisation » et de compréhension des systèmes de NUMILOG.

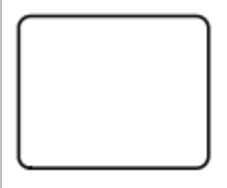
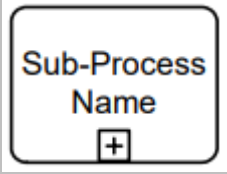


Dans cette approche, un processus est modélisé par un pentagone, et présente une entrée, et une sortie. A l'intérieur, il est caractérisé par une suite d'opérations, ordonnées de façon logique et chronologique.

Cette méthode, relativement simple, permet de déterminer les processus clés que requiert l'entreprise pour transformer les demandes de ses clients, en des prestations destinées à les satisfaire. Le tout est alors représenté dans un modèle standardisé, appelé cartographie.



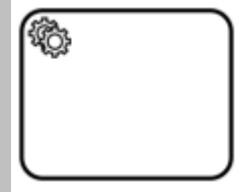
## Annexe 5 : La modélisation sous BPMN.

Explication détaillée des éléments <sup>1</sup> :

| Elément | Notion   | Explication   | Symbole  |
|---------|----------|---|--|
|         | Activité | Unité de travail qui a un début et une fin et est réalisée par un acteur ou un système. Elle peut être considérée comme : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tâche : unité de travail non décomposable (élémentaire).</li> <li>• Sous-processus : unité de travail composée de plusieurs tâches.</li> </ul> | <br>    |
|         |          | Activités avec intervention humaine :   |  |
|         |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tache utilisateur : représente une tâche qui est faite par un humain utilisant généralement un système.</li> <li>• Tache manuelle : représente une tâche qui est faite par un humain sans l'utilisation d'un système.</li> </ul>   | <br> |
|         |          | Activités sans intervention humaine :   |  |
|         |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tache service :</li> </ul>   |  |

<sup>1</sup> (BPMN version 2.0 2011)

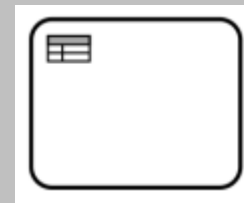
représente une tâche qui est faite par un système externe.



- Tache script : représente une tâche qui est faite par un système interne, généralement elle représente du code.



- Tache règle de gestion : représente une tâche qui obéit à un mécanisme de règle de gestion.



Activités d'envoi et de réception :

- Tache d'envoi : représente une tâche est faite pour envoyer un message.

- Tache de réception : représente une tâche est faite pour recevoir un message.



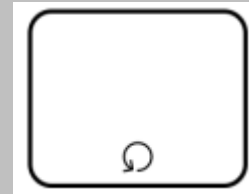
En ce qui concerne les marqueurs multi-instances, on peut trouver :

- Marqueur boucle :





représente une tâche qui est itérée jusqu'à la satisfaction d'une condition.



- Marqueur séquentiel : représente une tâche qui est exécutée sous plusieurs instances qui s'opèrent en séquentiel.

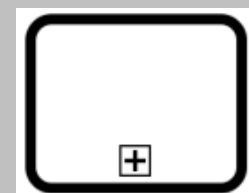


- Marqueur parallèle : représente une tâche qui est exécutée sous plusieurs instances qui s'opèrent en parallèle.



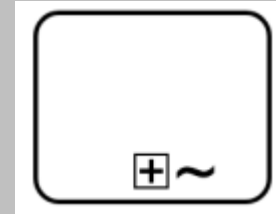
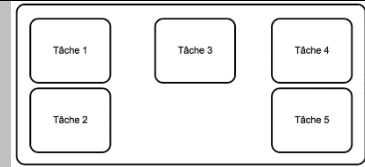
Il existe aussi plusieurs types de sous-processus tel que :

- Sous-processus appelé : regroupe plusieurs tâches réutilisables.



- Sous-processus parallèle : regroupe plusieurs tâches indépendantes.

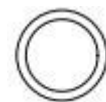
- Sous-processus Ad-Hoc : regroupe plusieurs taches indépendantes mais ce dernier est contrôlé par le process owner.



## Objets flux Evènement

Il s'agit d'un élément déclencheur qui lance, modifie ou termine un processus :

- Evènement de début : Lance le processus et est obligatoire pour chaque processus
- Evènement de fin : Met fin à un processus et est obligatoire pour chaque processus.
- Evènement intermédiaire : Modifie le déroulement du processus.



Il existe aussi des évènements qui peuvent nous donner plus d'information sur le déroulement du projet (ils peuvent être des évènements déclencheurs, intermédiaire ou de fin) tel que les évènements :

- Message.
- Signal.

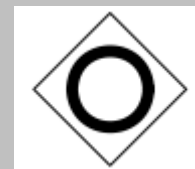
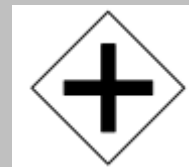
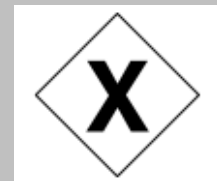


- Temps.
- Exception.
- Condition.
- Compensation.
- Escalade.
- Lien.
- Annulation.
- Multiple ou Multiple parallèle

Passerelle Il s'agit d'un point de décision qui modifie le cheminement de l'instance en fonction en fonction des conditions et des évènements.

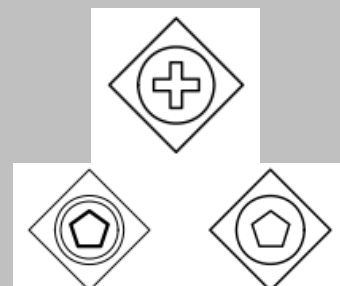
Elle peut être considérée comme :

- Passerelle exclusive (XOR) : prend un chemin alternatif (l'un ou l'autre)
- Passerelle parallèle (AND) : prend un chemin parallèle (les deux)
- Passerelle inclusive (OR) : peut prendre un chemin exclusif ou parallèle.



Il existe d'autres types de passerelles évènementielles comme :

- Passerelle évènementielle



(Event-based)

- Passerelle parallèle événementielle (parallel Event-Based)

**Connections** Flux normal Ils servent à relier les différentes activités du processus en définissant un ordre d'exécution.



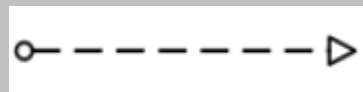
Flux conditionnel Même concept que le flux normal mais ce dernier opère sous une condition.



Flux par défaut Il définit le flux emprunté par l'instance lors de son passage par une passerelle inclusive ou exclusive.



Flux message Indique le flux de message entre deux participants.



**Couloirs** Bassin Il représente une schématisation d'un participant dans le processus cartographié.



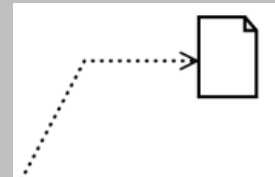
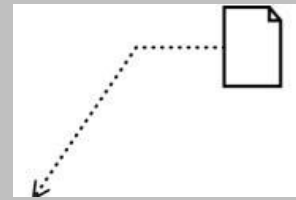
Couloir (Lane ou Swimlane) Il représente un sous élément d'un bassin et sont utiles lors de la catégorisation et de l'organisation des activités.

**Artéfacts** Objet de données Il représente une information additionnelle pour apporter un autre niveau de détails dans la cartographie.

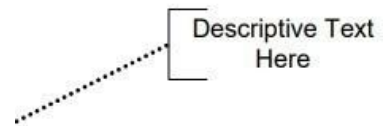


Association Comme son nom l'indique, l'association associe un objet de données ou autre objet représentant une information à un élément de la cartographie. Elle peut être soit en entrée soit en sortie.

- Entrée : consultation d'un objet de données.
- Sortie : ajout ou modification de l'objet de données.



Annotation Elle fournit une explication supplémentaire à une partie de la cartographie.



## Annexe 06 : Les outils de diagnostic.

Parmi les outils utilisés pour effectuer la série de diagnostic de ce travail, nous citons :

### - Le modèle des cinq forces concurrentielles de Porter :

Le modèle des « **cinq forces de Porter** » est un modèle d'analyse stratégique élaboré en 1979 par le professeur Michael Porter. Selon ce dernier, cinq forces déterminent la structure concurrentielle d'un marché, qu'il soit de biens ou de services :

1. le pouvoir de négociation des clients,
2. le pouvoir de négociation des fournisseurs,
3. la menace des produits ou services de substitution,
4. la menace d'entrants potentiels sur le marché,
5. l'intensité de la rivalité entre les concurrents.

La configuration, la hiérarchie et la dynamique de ces forces permettent d'identifier les *facteurs clés de succès*, et par extension dans le génie industriel, les indicateurs clés de performance, c'est-à-dire les éléments stratégiques qu'il convient de maîtriser afin d'éviter que le profit ne soit capté par ces cinq forces au détriment des firmes en présence



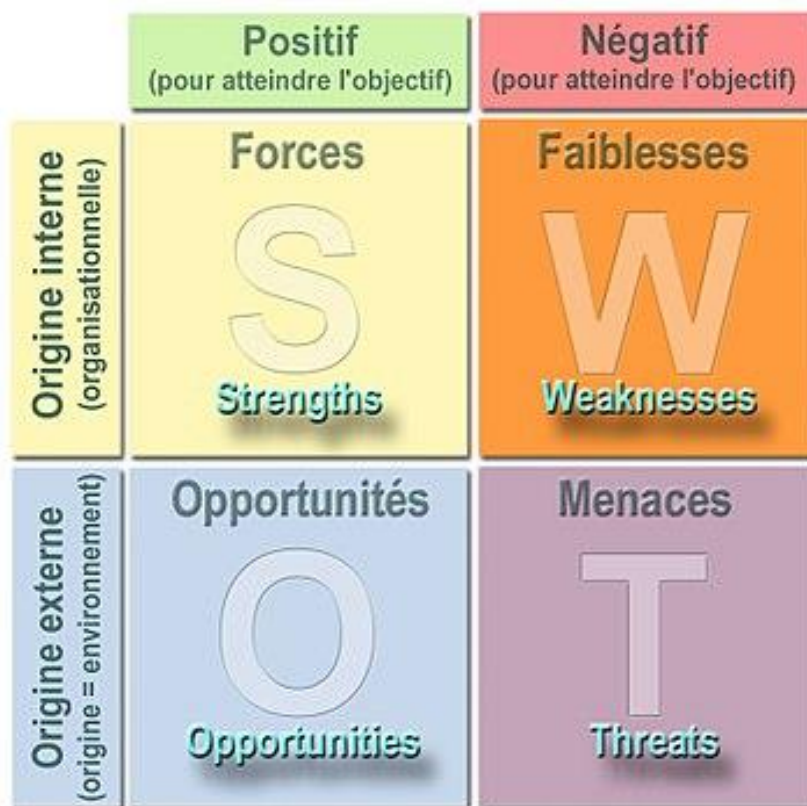
Le modèle des cinq forces de Porter<sup>2</sup>

- **La matrice SWOT :**

L'analyse suivant la matrice SWOT est un outil de stratégie d'entreprise qui détermine les options d'un domaine d'activités stratégiques. Il vise à préciser les objectifs d'un projet, en identifiant les facteurs internes et externes favorables et défavorables à leur réalisation<sup>2</sup>.

Le terme SWOT est un acronyme signifiant :

- **Forces (Strengths) :** Il s'agit des points avantageux du projet.
- **Faiblesses (Weaknesses) :** Cela concerne les points désavantageux du projet.
- **Opportunités (Opportunities) :** Cela indique les facteurs de l'environnement exploitable à l'avantage du projet.
- **Menaces (Threats) :** Eléments de l'environnement potentiellement problématiques pour le bon déroulement du projet.



Le modèle de la matrice SWOT

---

<sup>2</sup> Source : Wikipedia.