

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel  
L'entreprise Danone Djurdjura Algérie

Mémoire de projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie industriel

## **Optimisation des tournées de distribution directes des produits laitiers : Application Danone Djurdjura Algérie**

Réalisé par :

Ilham BOUASTIA (Management Industriel)  
Omyma Mariem ABDELLI (Management de l'innovation)

Sous la direction de :

Mme Sofia AIT BOUAAZA MAA  
Présenté et soutenu publiquement le (22/06/2020)

### **Composition du Jury :**

Président	M. Wassim BENHASSINE	Maitre de Conférences A	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS	Maitre-Assistant A	ENP
Promoteur	Mme Sofia AIT BOUAAZA	Maitre-Assistant A	ENP
Co-Promoteur	M. Yazid AMEZIANE	Warehouse Manager	DDA



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel  
L'entreprise Danone Djurdjura Algérie

Mémoire de projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie industriel

## **Optimisation des tournées de distribution directes des produits laitiers : Application Danone Djurdjura Algérie**

Réalisé par :

Ilham BOUASTIA (Management Industriel)  
Omyma Mariem ABDELLI (Management de l'innovation)

Sous la direction de :

Mme Sofia AIT BOUAAZA MAA  
Présenté et soutenu publiquement le (22/06/2020)

### **Composition du Jury :**

Président	M. Wassim BENHASSINE	Maitre de Conférences A	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS	Maitre-Assistant A	ENP
Promoteur	Mme Sofia AIT BOUAAZA	Maitre-Assistant A	ENP
Co-Promoteur	M. Yazid AMEZIANE	Warehouse Manager	DDA

## RESUMES ET MOTS CLES

### مختصر:

تتطور صناعة المواد الغذائية في الجزائر على مر السنين وتتميز بالعديد من التحديات والتي تتطلب مرونة كبيرة واستجابة من حيث معالجة الطلبات. وبالتالي، فإن اختيار قناة التوزيع قرار ذو أهمية استراتيجية يجب أن يكون متوافقاً.

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تنفيذ سياسة الإدارة الجديدة لجولات التوزيع. للقيام بذلك، سنجري تشخيصاً للأنشطة اللوجستية داخل شركة DDA الفرعية من خلال ملاحظة الاختلالات المذكورة من أجل تحديد مشكلتنا وتوجيه حالتنا الفنية. سنقترح بعد ذلك نمذجة رياضية ملائمة تلخص قيود الواقع. ثم يتم حل النموذج من خلال metaheuristics، مع الحكم على الأداء وصلاحيّة النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة الخوارزميات المقترحة.

وأخيراً، من أجل مراقبة أنشطة النقل والتحكم فيها، من الضروري تطوير لوحة القيادة. الكلمات المفتاحية: تحسين تدفقات النقل، النمذجة الرياضية، VRP، الخدمات اللوجستية، سلسلة التوريد.

### Abstract:

The food industry in Algeria develops over the years and is characterized by several challenges and which requires great flexibility and responsiveness in terms of processing requests. The choice of a distribution channel is therefore a decision of strategic importance which must be compatible.

The objective of this work is to contribute to the implementation of the new management policy for distribution rounds. To do this, we will conduct a diagnostic on the logistics activities within the DDA subsidiary by noting the dysfunctions noted in order to identify our problem and orient our state of the art. We will then propose an adequate mathematical modeling which summarizes the constraints of the terrain. The model is then solved by metaheuristics, while judging the performance and the validity of the results obtained by the proposed algorithms.

Finally, in order to monitor and control transport activities, the development of a dashboard is essential.

**Keywords: optimization of transport flows, mathematical modeling, VRP, logistics, Supply chain.**

### Résumé :

L'industrie agroalimentaire en Algérie se développe au fil des années et se caractérise par plusieurs défis et qui nécessite une grande flexibilité et réactivité en termes de traitement des demandes. Le choix d'un circuit de distribution est donc une décision d'importance stratégique qui doit être compatible.

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'implémentation de la nouvelle politique de gestion des tournées de distribution. Pour ce faire, nous allons mener un diagnostic sur les activités logistiques au sein de la filiale DDA en relevant les dysfonctionnements remarqués afin de cerner notre problématique et orienter notre état de l'art. Nous allons par la suite proposer une modélisation mathématique adéquate qui résume les contraintes du terrain. Le modèle est ensuite résolu par des métaheuristiques, tout en jugeant la performance et la validité des résultats obtenus par les algorithmes proposés.

De dernier, dans le but d'assurer un suivi et contrôler les activités de transport, l'élaboration d'un tableau de bord est indispensable.

**Mots clés : optimisation des flux de transport, modélisation mathématique, VRP, logistique, Supply chain.**

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et leur soutien tout au long de mes études. Puisse dieu me les garder,*

*À mes chers frères et sœurs, merci d'être toujours là pour moi.*

*A mes chères amis qui ont toujours été à mes côtés : Nihad, Sabrina, Radja, Syla, Hafssa, Housseem, Islem et Sohaib..*

*A mes professeurs qui m'ont beaucoup appris,*

*A toutes les personnes qui compte pour moi.*

*Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Ilham BOUASTIA*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents, pour leur perpétuel soutien et leur amour incessant.*

*A mes grands-parents pour ses supplications de réussite.*

*A la famille Abdelli, Achouri et Haider pour ses encouragements.*

*A tous mes Meilleurs amis, spécialement : Saliha, Ahlem, Amine, Sarah, Hasni, Djalil, Mahrez, à qui je souhaite plein de réussite.*

*Dédicace spéciale à ma meilleure amie **Abdelli Hadjer** qui a toujours cru en moi et m'a toujours poussé à devenir une personne meilleure. Je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi. Je te souhaite tout le bonheur du monde et beaucoup de réussite.*

*Nulle dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments et mon profond attachement.*

*Omya Mariem Abdelli*

## **Remerciements**

*Avant toute personne, je remercie le bon Dieu de m'avoir prêté vie, santé et volonté pour achever ce modeste travail.*

*Nous adressons en premier lieu, nos remerciements à Madame Sofia AIT-BOUAZZA, notre promotrice et enseignante pour son encadrement, son soutien, ses encouragements et ses conseils avisés qui nous ont permis de donner le meilleur de nous-mêmes tout au long de ce projet*

*Nos sincères remerciements vont également à monsieur Iskander ZOUAGHI, pour sa serviabilité, ses implications, sa disponibilité et ses remarques qui nous ont permis d'affiner les étapes de notre travail.*

*Un grand merci à notre encadreur au sein de Danone Djurdjura Algérie Mr. Yazid Ameziane pour son accueil, sa confiance, et sa maîtrise du domaine sans laquelle ce travail n'aurait pas eu lieu.*

*Nous adressons également nos remerciements à Kahina Chebbah, Hassan KLAAI, Farid MOUSSOUS et Yasser BRACHENE pour leur précieuse aide et leur disponibilité ainsi que toute l'équipe Danone pour leur dynamisme et sympathie.*

*Nous souhaitons vivement remercier les membres du jury de nous avoir honorés en acceptant d'examiner notre modeste travail.*

*Pour conclure, notre reconnaissance s'adresse à l'équipe pédagogique du Département Génie Industriel de l'École Nationale Polytechnique, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, et à tous ceux qui ont cru en nos capacités.*

# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

<b>Introduction générale.....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre 1 : L'organisation de la Supply Chain chez DDA .....</b>	<b>15</b>
Introduction :.....	16
1. Présentation du marché des produits laitiers : .....	16
2. Présentation générale du Groupe Danone (d'une manière générale) .....	18
2.1. Activités : .....	18
2.2. Son positionnement : .....	19
3. Présentation du Danone Djurdjura Algérie (DDA) .....	21
3.1. Historique : .....	21
3.2. Produits fabriqués : .....	21
3.3. Organigramme de DDA : .....	22
4. Présentation de la chaîne logistique de DDA & département Supply Chain .....	23
4.1. Département supply chain : .....	23
4.2. L'organisation de la Supply Chain de DDA : .....	24
Description des Flux amont : .....	24
Description des Flux aval : .....	25
4.3. Présentation de l'unité de stockage : .....	27
4.4. Classifications des clients : .....	28
4.5. Les systèmes de distribution : .....	30
4.6. Description des processus de distribution : .....	31
5. Analyse SWOT : .....	35
6. Audit des pratiques logistiques de Danone Djurdjura Algérie : .....	37
6.1. Logistique de transport : .....	38
6.2. Le stockage : .....	38
6.3. Logistique de distribution : .....	39
7. Dysfonctionnements détectés et énoncé de la problématique : .....	40
Conclusion : .....	41

<b>Chapitre 2 : Etat de l'art sur les problèmes de tournées de véhicules .....</b>	<b>42</b>
Introduction :.....	43
1. Problème de tournée de véhicule (Description du problème) : .....	43
2. Formulation mathématique :.....	44
3. La complexité :.....	46
4. Les méthodes de résolution :.....	46
4.1. Méthodes exactes : .....	48
<b>4.2. Méthodes approchées :.....</b>	<b>49</b>
5. Les variantes du VRP : .....	59
Conclusion : .....	65
<b>Chapitre 3 : Adaptation des outils de résolution et expérimentation.....</b>	<b>66</b>
Introduction :.....	67
1. La modélisation mathématique : .....	67
1.1. Description du problème : .....	67
1.2. Formulation mathématique :.....	68
1.3. Complexité du problème : .....	72
1.4. Vérification et Validation du modèle : .....	73
2. La résolution du modèle mathématique :.....	76
2.1. Choix de la méthode de la résolution : .....	76
2.2. Première solution : L'algorithme génétique (AG) :.....	77
2.3. Deuxième solution : MACS-VRPTW :.....	82
3. Expérimentation :.....	86
3.1. Présentation de l'outil et l'environnement de développement : .....	87
3.2. Echantillon de données et résultats obtenus : .....	87
3.3. Analyse et critiques : .....	88
3.4. Jeux de données : benchmark de Solomon :.....	89
4. Elaboration d'un tableau de bord par la méthode « GIMSI » :.....	92
Conclusion : .....	102
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>103</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>105</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>107</b>



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 : Variantes du problème de tournée de véhicules et ses contraintes</b> .....	60
<b>Tableau 2 : classification des variantes de VRP selon le type de contraintes</b> .....	64
<b>Tableau 3 : Codage par liste de permutation</b> .....	78
<b>Tableau 4 : Ordre de passage des véhicules</b> .....	78
<b>Tableau 5 : croisement à un seul point <math>P=2</math></b> .....	80
<b>Tableau 6 : Mutation de deux allèles quelconques à <math>k=2</math> puis <math>k=4</math></b> .....	82
<b>Tableau 7 : valeurs des fonctions objectives obtenues</b> .....	88
<b>Tableau 8 : détails des résultats obtenus pour chaque route</b> .....	89
<b>Tableau 9 : résultat de benchmark de Solomon</b> .....	91
<b>Tableau 10 : étapes d'élaboration d'un tableau de bord par la méthode « GIMSI »</b> .....	93

## Liste des figures

<b>Figure 1 : Consommation de lait et produits laitiers en fonction des régions en Algérie</b> .....	17
<b>Figure 2 : Répartition du CA par pôle d'activité en millions d'euros</b> .....	19
<b>Figure 3 : Présence de Danone dans le monde</b> .....	19
<b>Figure 4 : Répartition du CA par région en millions d'euros</b> .....	20
<b>Figure 5 : Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par Pôle</b> .....	20
<b>Figure 6 : les produits de Danone Djurdjura Algérie</b> .....	22
<b>Figure 7 : organigramme générale de Danone Djurdjura Algérie</b> .....	22
<b>Figure 8 : Organisation de la Supply Chain de Danone Djurdjura Algérie</b> .....	24
<b>Figure 9 : Répartition des centres de collecte de lait</b> .....	24
<b>Figure 10 : Types de distribution assurées par Danone Djurdjura Algérie</b> .....	27
<b>Figure 11 : schéma représentant le dépôt de TESSALA</b> .....	28
<b>Figure 12 : classification des clients par cluster</b> .....	29
<b>Figure 13 : processus d'amélioration continue des services logistiques par transwide</b> .....	30
<b>Figure 14 : modélisation du processus de distribution RTM sous la norme BPMN2.</b> .....	32
<b>Figure 15 : modélisation du processus de distribution externe la norme BPMN2.</b> .....	34
<b>Figure 16 : schéma logistique ASLOG</b> .....	37
<b>Figure 17 : schéma représentatif du VRP et TSP</b> .....	44
<b>Figure 18 : Les méthodes de résolution les plus utilisées des problèmes de tournées de véhicules</b> .....	47
<b>Figure 19 : Fonctionnement de l'algorithme de la recherche tabou</b> .....	53
<b>Figure 20 : Fonctionnement de l'algorithme de recuit simulé</b> .....	54
<b>Figure 21 : Fonctionnement des algorithmes génétiques</b> .....	55
<b>Figure 22: Fonctionnement des algorithmes des colonies de fourmis</b> .....	57
<b>Figure 23 : Compromis entre le temps de calcul et la qualité de la solution</b> .....	58
<b>Figure 24 : représentation globale des variantes du VRP</b> .....	65
<b>Figure 25 : schématisation d'une instance de VRP et sa solution</b> .....	68
<b>Figure 26 : déclaration des paramètres du modèle</b> .....	74
<b>Figure 27 : procédure d'initialisation des paramètres et déclaration des variables de décision..</b> 74	
<b>Figure 28 : les contraintes d'optimisation et boucle d'affichage de résultats</b> .....	75
<b>Figure 29 : résultat obtenu lors de l'exécution du programme</b> .....	75
<b>Figure 30 : schématisation de la procédure de travail</b> .....	77
<b>Figure 31 : L'algorithme de décodage d'un chromosome</b> .....	80
<b>Figure 32 : Algorithme de croisement à un point p</b> .....	82
<b>Figure 33 : Algorithme de mutation</b> .....	82
<b>Figure 34 : Architecture de l'algorithme MACS-VRPTW</b> .....	83
<b>Figure 35 : Algorithme MACS-VRPTW</b> .....	84
<b>Figure 36 : Algorithme ACS-Time</b> .....	85
<b>Figure 37 : Algorithme ACS-VEI</b> .....	86
<b>Figure 38 : L'ordre de passage des véhicules pour les tournées obtenues par (AG-VRPTW).....</b>	87
<b>Figure 39 : L'ordre de passage des véhicules pour les tournées obtenues par (MACS-VRPTW)</b> 87	
<b>Figure 40 : Fenêtre graphique de l'exécution pour AG-VRPTW (à gauche) et MACS-VRPTW (à droite)</b> .....	88

<b>Figure 41 : la distribution des clients dans les six types du problème .....</b>	<b>90</b>
<b>Figure 42 : Principaux KPI du tableau de bord sous power BI.....</b>	<b>101</b>

# Liste des abréviations

**ACO** : Ant Colony Optimization

**ACS** : Ant Colony System

**AG** : Algorithmes Génétiques

**ASLOG** : Association française pour la logistique

**BI** : Business Intelligence

**BPMN** : Business Process Model and Notation

**CA** : Chiffre d'affaire

**CAPEX** : Capital Expenditure

**CVRP** : Capacitated Vehicle Routing Problem

**DDA** : Danone Djurdjura Algérie

**DLC**: Date Limite de Consommation

**DSD** : Direct Sales Distribution

**DSS** : Distribution Sans Stock

**FEFO** : First Expired First Out

**FIFO** : First In First Out

**IBM** : International Business Machines Corporation

**IDE** : Integrated Development Environment

**KPI** : Key Performance Indicator

**MACS-VRPTW** : Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problem with Time Windows.

**MTSP** : Multiple Traveling Salesman Problem

**NP** : Non-deterministic Polynomial time

**ONIL** : Office national interprofessionnel du lait

**OPL** : Optimization Programming Language

**PDL** : Poudre De Lait

**PL** : Programmation Linéaire

**PLF** : Les Produits Laitiers Frais

**PLNE** : Programmation linéaire en nombres entiers

**RO** : Recherche Opérationnelle

**RTM** : Route To Market

**SAP** : Systems, Applications and Products for data processing

**SC** : Supply Chain

**SKU** : Stock-Keeping Unit

**SPA** : Société Par Action

**TMF** : Transport des Marchandises Frigorifiées

**TMS** : Transport Management System

**TSP** : Traveling Salesman Problem

**VRP** : Vehicle Routing Problem

**VRPTW** : Vehicle Routing Problem with Time Window

## Introduction générale

Un contexte économique et réglementaire changeant, des cycles de vie de produits de plus en plus courts, des innovations constantes, des exigences clients de plus en plus fortes, la conquête de nouveaux marchés, des contraintes métiers omniprésentes... La supply chain agroalimentaire est confrontée à des défis quotidiens de plus en plus complexes.

L'industrie agroalimentaire en Algérie se développe au fil des années, principalement l'industrie laitière qui représente une activité importante avec un taux de couverture d'environ 63 % de la demande nationale de lait et des produits laitiers. Toutefois, le secteur se caractérise par plusieurs défis à savoir la haute concurrence des marchés, la demande qui reste encore inférieure aux besoins recommandés par les standards nutritionnels, les caractéristiques spécifiques de la matière première (périssabilité), et la variabilité des gammes de produits.

En raison de ces facteurs, les entreprises ont constamment recherché des solutions innovantes pour transformer ces défis en un avantage compétitif. D'une part, par l'intégration de tous les acteurs de la chaîne logistique et par conséquent, la structure de la chaîne logistique est changée d'une chaîne traditionnelle (mono-site) avec une coordination générale vers une chaîne plus flexible avec une coordination multisites. D'autre part l'ordonnancement de la production et la planification de la distribution qui sont généralement des tâches difficiles qui devrait être axée sur des nouvelles méthodes visant l'optimisation des processus et des ressources non au niveau d'un site mais au niveau de toute la chaîne.

Par sa dimension de multinationale, le groupe Danone ambitionne d'occuper une position de leader dans chacun des pays où il est présent, il estime que le succès de sa stratégie de croissance repose avant tout sur la qualité, l'accessibilité et le caractère innovant des produits mis sur le marché, ainsi que sur l'image forte véhiculée par ses marques dans les domaines aussi importants que la santé, la nutrition et la sécurité alimentaire.

Sur le marché algérien et plus précisément dans la filière lait et produits laitiers, la forte concurrence entre les acteurs majeurs de cette filière qui sont principalement le groupe Soummam, Hodna, Trèfle et Danone Djurdjura Algérie, a amené les producteurs des produits laitiers à chercher d'autres solutions pour garder leur part de marché et assurer la survie dans un marché de plus en plus compétitif.

Afin de mener la politique définie par le groupe, et face à cette rude concurrence Danone Djurdjura Algérie s'oriente de plus en plus vers le client, dont la satisfaction est mesurée par un taux de service, et œuvre à mettre en place des plans de restructuration au niveau des différentes parties de sa chaîne logistique dans une démarche d'amélioration continue. Elle projette, en particulier, l'instauration des outils de maîtrise de la performance, en l'occurrence un système d'optimisation des tournées de distribution de ses produits laitiers frais au niveau de son entrepôt à TESSALA dont l'un des objectifs est de réduire les coûts logistiques en distribution et transport.

Le choix d'une politique de distribution est vital pour l'entreprise, car il ne s'agit pas seulement de concevoir un bon produit, mais de le distribuer comme il se doit, c'est-à-dire au moment voulu, à la qualité et quantité demandée et au moindre coût, et du point de vue du fabricant, le choix d'un circuit de distribution est donc une décision d'importance stratégique qui doit être compatible, non seulement avec les attentes du segment-cible visé, mais également avec les objectifs de l'entreprise, une gestion sans faille et optimisée des flux de produits et d'informations au sein du canal est donc nécessaire.

L'accomplissement de la distribution nécessite l'intervention de plusieurs acteurs (producteurs et distributeurs) qui opèrent en temps réel, dans un système particulièrement complexe, mais aussi la réalisation de multiples fonctions matérielles et immatérielles (transport, stockage, déstockage, manutention, communication, financement, ...) et fait appel à des techniques et technologies de plus en plus innovantes et performantes.

C'est dans ce contexte qu'un projet a été spécialement lancé par DDA, le projet ROUTING DYNAMIC, auquel nous avons pris part à travers l'équipe projet, au sein de laquelle il nous a été possible de contribuer à l'implémentation de la nouvelle politique de gestion des tournées de distribution.

Plus concrètement, on tentera d'apporter des éléments de réponse à la question suivante :  
**Comment concevoir un outil qui permet d'établir des plans de transport optimaux afin de réduire les coûts de transport et rendre ainsi Danone Djurdjura Algérie compétitive sur le marché ?**

L'idée de cette étude s'inscrit ainsi dans ce même contexte et à cet effet, nous avons structuré notre travail comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des lieux : nous commençons par une présentation générale de l'entreprise et son secteur d'activité. Par la suite, nous présentons un diagnostic de sa chaîne logistique. Finalement, nous exposons d'une manière claire la problématique qui fait l'objet de ce travail.
- Nous présenterons dans le deuxième chapitre l'approche théorique qui nous semble être la plus appropriée pour cerner la problématique de l'amélioration des performances du processus de distribution.
- Nous consacrerons le troisième chapitre à notre apport personnel qui consiste à présenter notre méthode de résolution.

Nous achèverons notre travail par une conclusion.



# **Chapitre 1 :**

## **L'organisation de la Supply Chain chez DDA**

**Introduction :**

Ce chapitre sera consacré dans sa première partie à la présentation du secteur d'activité des produits laitiers frais, nous nous intéressons en particulier au marché algérien du yaourt, et nous présentons ensuite le leader sur ce marché mondial qui est le groupe Danone, ses activités et ses principaux marchés, en nous appuyant sur quelques chiffres clés.

L'accent est mis sur sa filiale Danone Djurdjura Algérie (DDA), où nous nous intéresserons à l'organisation de sa chaîne logistique et au département Supply Chain dans lequel nous avons effectué notre stage.

La deuxième partie, abordera un diagnostic sur les activités logistiques au sein de la filiale DDA en relevant les dysfonctionnements remarqués. Nous présenterons ensuite notre problématique.

**1. Présentation du marché des produits laitiers :**

En Algérie, l'industrie agro-alimentaire a connu un développement remarquable particulièrement au cours de la décennie 1980 ; elle occupe actuellement une place importante dans l'économie nationale et la consommation de la population est assurée en grande partie par des produits transformés.

Cette expansion s'explique surtout par le développement rapide des capacités de transformation des produits de large consommation : les céréales, le lait, les huiles et le sucre. Ces produits de base qui représentent moins de 25% des dépenses budgétaires des ménages, procurent plus de 80% de l'apport énergétique de la ration.

Ces dernières décennies, le secteur des produits laitiers frais (PLF) en Algérie est devenu un marché très porteur, où la demande intérieure ne cesse d'augmenter en raison des difficultés de production en viandes rouges et d'approvisionnement en poissons.

L'Algérie est le premier consommateur laitier du Maghreb (ONIL-2018), avec une consommation de l'ordre de 140 l/habitant/an. Sur la consommation totale, qui est d'environ 5,5 Md de litres équivalent lait, environ 3 Md de litres proviennent de l'importation. L'Algérie importe 260000 à 300 000 t de poudre par an, pour une valeur de 800 à 900 M EUR, ce qui en fait le 2 ou 3ème importateur mondial de poudre de lait.

Par ailleurs, la production nationale de lait de vache est de l'ordre 2,4 Md l/ an, seulement 30 % sont collectés pour l'industrie qui transforme 0,8 Md de litre pour la production de yaourts, desserts et laits fermentés.

Ce secteur a connu une émergence dans un laps de temps à travers, d'une part, la naissance de plusieurs entreprises privées florissantes et l'arrivée d'autres entreprises étrangères, et d'autre part, une concurrence féroce entre-elles qui a entraîné une qualité supérieure et un cycle de vie court des produits. Le marché du yaourt est dominé par SOUMMAM et DANONE.

La filiale du géant français des produits laitiers, Danone Algérie, a réussi à coup d'opérations commerciales et de marketing très poussées, mais aussi en misant sur sa tradition d'excellence en matière de qualité, à accaparer 40 % des parts du marché algérien, en se basant principalement sur le produit yaourt.

Le yaourt est un produit laitier, conditionné en pots ou en bouteilles, constitué par du lait fermenté obtenu à l'aide de l'ensemencement des bactéries. Les fabricants offrent une gamme très diversifiée de yaourts : brassé, étuvé, fruité, à boire, mélangé au jus, crème dessert, crème chantilly, etc.

Son marché est estimé à 500 000 tonnes par an et progresse de 10% par an environ. Les plus grands producteurs de yaourts en Algérie sont Soummam, Danone, Hodna et Trèfle, quelques usines du groupe GIPLAIT et de plus en plus de laiteries de taille moyenne. Les leaders sont Soummam avec environ 45 % du marché et Danone avec environ 40 % suivi par Hodna et Trèfle.

Bien que le marché paraisse saturé, des études démontrent que les ventes de yaourts vont encore s'accroître car des demandes additionnelles restent insatisfaites. Ce qui encourage les acteurs du marché comme DDA à se développer encore plus. (DJAZAGRO le salon professionnel de la production agroalimentaire-2019)

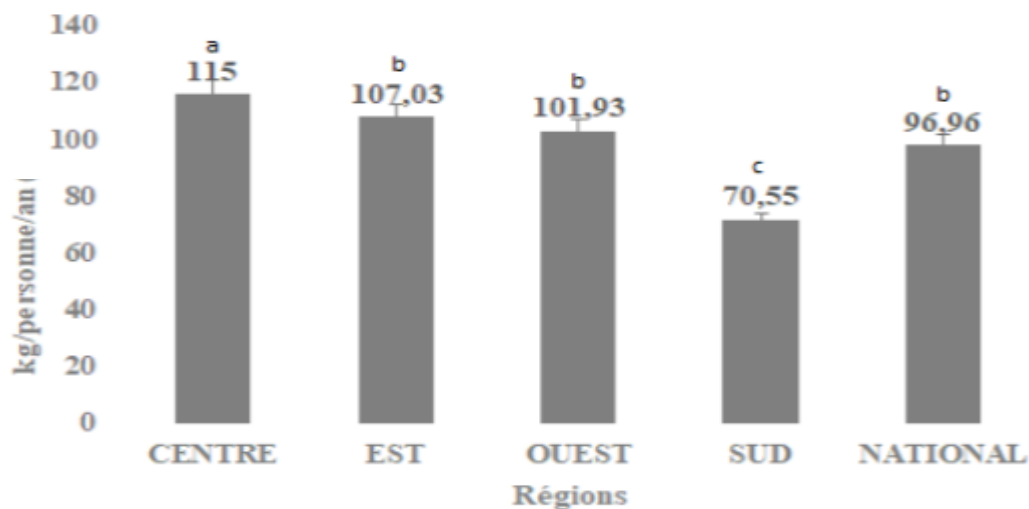


Figure 1 : Consommation de lait et produits laitiers en fonction des régions en Algérie (Revue Agrobiologia-2019 page 1452)

## **2. Présentation générale du Groupe Danone (d'une manière générale)**

Danone est une multinationale française, un acteur majeur dans l'industrie agroalimentaire et leader mondial des produits laitiers frais. Sa mission consiste à produire, développer et commercialiser des produits laitiers frais, eaux minérales, biscuits et produits céréaliers. En 2019, l'entreprise enregistre 25,29 milliards d'euro de Chiffre d'Affaires (résultat financier), dont plus de la moitié est réalisée dans les pays émergents. C'est la 4ème entreprise agroalimentaire du monde. Le groupe emploie 100 000 collaborateurs à travers le monde, et compte plus de 180 sites de production. Ses produits sont vendus sur les cinq continents avec la mission "d'apporter la santé par l'alimentation au plus grand nombre".

### **2.1. Activités :**

Avec la mission d'apporter la santé par l'alimentation au plus grand nombre, Danone figure parmi les leaders mondiaux de l'alimentation et s'appuie, depuis l'acquisition de Numico, le spécialiste néerlandais de la nourriture pour bébés, en 2007 puis de groupe américain WhiteWave Foods en 2017, sur quatre Métiers principaux :

- le Métier Produits Laitiers et d'Origine Végétale : production et distribution de produits laitiers fermentés frais et autres spécialités laitières ; de produits et de boissons d'origine végétale (à base notamment de soja, d'amande, de noisette, de riz, d'avoine, de noix de coco) et de crèmes à café ;
- le Métier Nutrition Infantile : production et distribution d'alimentation spécialisée pour les nourrissons et les jeunes enfants en complément de l'allaitement maternel ;
- le Métier Eaux : production et distribution d'eaux naturelles conditionnées et d'eaux aromatisées ou enrichies en vitamines ;
- le Métier Nutrition Médicale : production et distribution d'alimentation spécialisée pour les personnes souffrant de certaines pathologies ou les personnes fragilisées par l'âge.

Afin de refléter les évolutions récentes de Danone et de son organisation, l'Entreprise a revu l'organisation de ses Pôles :

- le Pôle EDP International (34 % du chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2017) ;
- le Pôle EDP Noram (18 % du chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2017) ;
- le Pôle Nutrition Spécialisée (29 % du chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2017) ;
- le Pôle Eaux (19 % du chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2017).

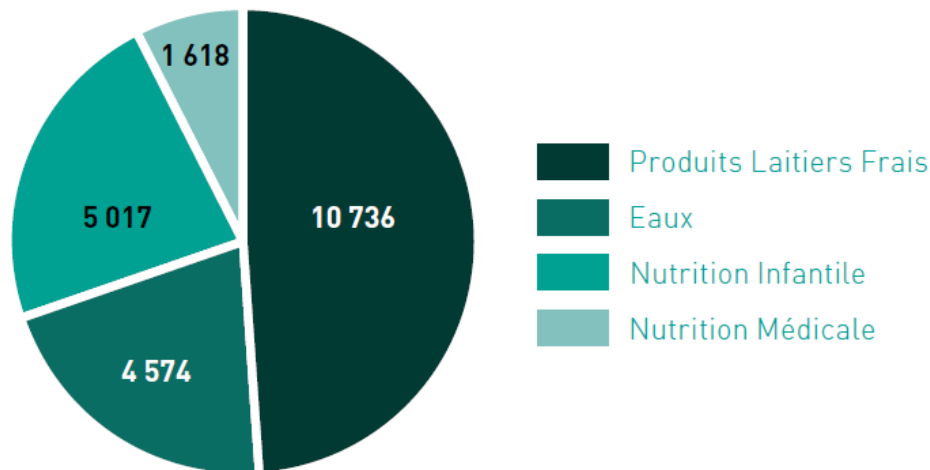


Figure 2 : Répartition du CA par pôle d'activité en millions d'euros (Danone, 2017)

## 2.2. Son positionnement :

Le groupe est présent dans plus de cents vingt pays à travers le monde, exclusivement en France et en Europe de l'Ouest avec une présence de plus en plus croissante en Europe de l'Est ainsi que dans d'autres régions du monde.



Figure 3 : Présence de Danone dans le monde (Danone-Document\_de\_Reference\_2017)

- La zone Europe, incluant la Turquie, représente 39 % du chiffre d'affaires de l'entreprise en 2016, reparti sur l'ensemble des quatre Métiers. Les principaux pays de la zone sont la France, le Royaume-Uni et l'Espagne.
- La zone NORAM (États-Unis, Canada) et CEI (communauté des états indépendants) représente 20 % du chiffre d'affaires de l'entreprise en 2016.
- La zone ALMA qui regroupe les activités en Asie Pacifique, en Amérique Latine, en Afrique et au Moyen-Orient, représente quant à elle 41 % du CA de l'entreprise en 2016.

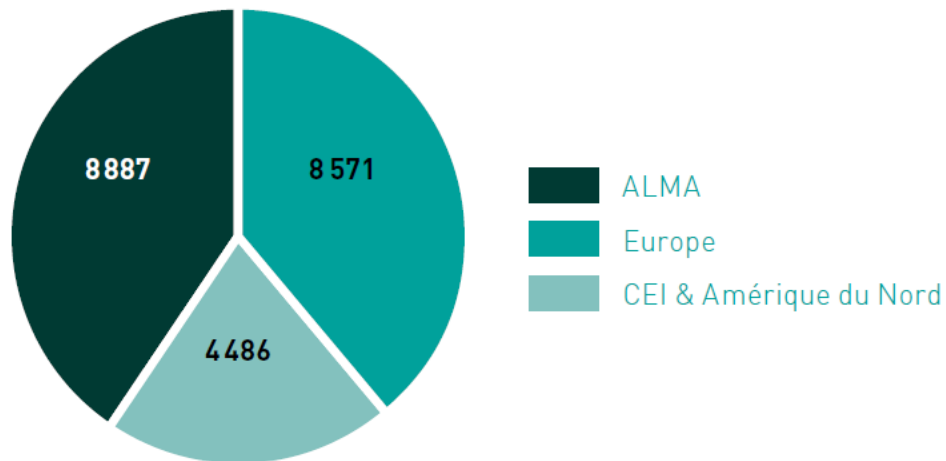


Figure 4 : Répartition du CA par région en millions d'euros (Danone, 2016)

Danone bénéficie, en valeur, des positions de leader suivantes (sur les catégories et marchés pertinents) :

- n° 1 mondial des produits laitiers frais ;
- n° 1 mondial des produits et boissons d'origine végétale ;
- n° 3 mondial des eaux conditionnées ;
- n° 2 mondial de la nutrition infantile ;
- n° 1 européen de la nutrition médicale.

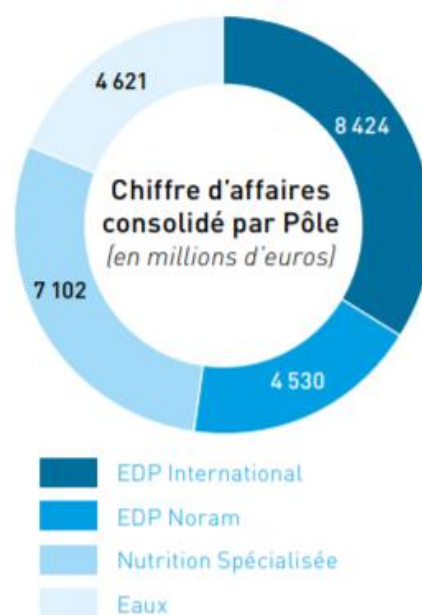


Figure 5 : Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par Pôle (Danone, 2018)

### **3. Présentation du Danone Djurdjura Algérie (DDA)**

La société Danone Djurdjura Algérie est une société par actions (SPA), avec un chiffre d'affaires de 200 millions d'euros en 2019. Son siège social se trouve à l'Algerian Business Center de Mohammadia (Alger).

DDA dispose actuellement de (02) unités de production situées à Akbou (zone industrielle de Tahracht), et Blida (zone industrielle Ben Boulaid), elle compte plus de 1200 employés parmi ses équipes, et se retrouve en position de Co-leader du marché des Produits Laitiers Frais (PLF), avec une part de marché globale estimée à 40%.

#### **3.1.Historique :**

En 1984, la laiterie Djurdjura a été créée par la famille BATOUCHE. L'unité a démarré avec une remplisseuse de pots préformés d'une capacité de 1000 pots/heure. Son outil de production s'est développé très rapidement ce qui l'a placé leader de l'industrie des produits laitiers frais sur le marché algérien.

En octobre 2001, le leader mondial des produits laitiers frais "Groupe Danone" a conclu un accord de partenariat avec la laiterie Djurdjura en prenant une participation de 51 % dans la société "Danone Djurdjura Algérie".

L'année 2002 a été consacrée à la rénovation de l'unité d'AKBOU en engageant d'importants investissements nécessaires pour l'expansion future de la société. En Aout de la même année la marque Danone est apparue sur le marché algérien.

Deux ans après, Danone Djurdjura Algérie a connu une croissance en chiffre d'affaire supérieure à 60%. Sa part de marché en valeur est passée selon des estimations de 28 % à 35 % et elle devient nettement leader du marché algérien. Elle a contribué à faire accroître de 40% en volume le marché des produits laitiers frais.

En avril 2006, le Groupe Danone a porté sa participation de 51 % à 95 % dans la société Danone Djurdjura Algérie.

#### **3.2.Produits fabriqués :**

DDA a pour mission principale la fabrication et la commercialisation de produits laitiers frais pour le marché Algérien, à travers trois marques à savoir Danone, Djurdjura et Trèfle. Et depuis l'acquisition de Trèfle SPA, DDA a étoffé sa gamme de produits par les produits Trèfle dont des jus de fruits, du petit lait et de la citronnade. Les principales marques commercialisées sont illustrées sur la figure suivante :



Figure 6 : les produits de Danone Djurdjura Algérie

### 3.3.Organigramme de DDA :

L'organisation générale de Danone Djurdjura Algérie se présente sous une structure fonctionnelle, avec plusieurs niveaux hiérarchiques, répartie en huit départements, sous l'autorité du directeur général. Nous nous intéressons par la suite au département Supply chain.

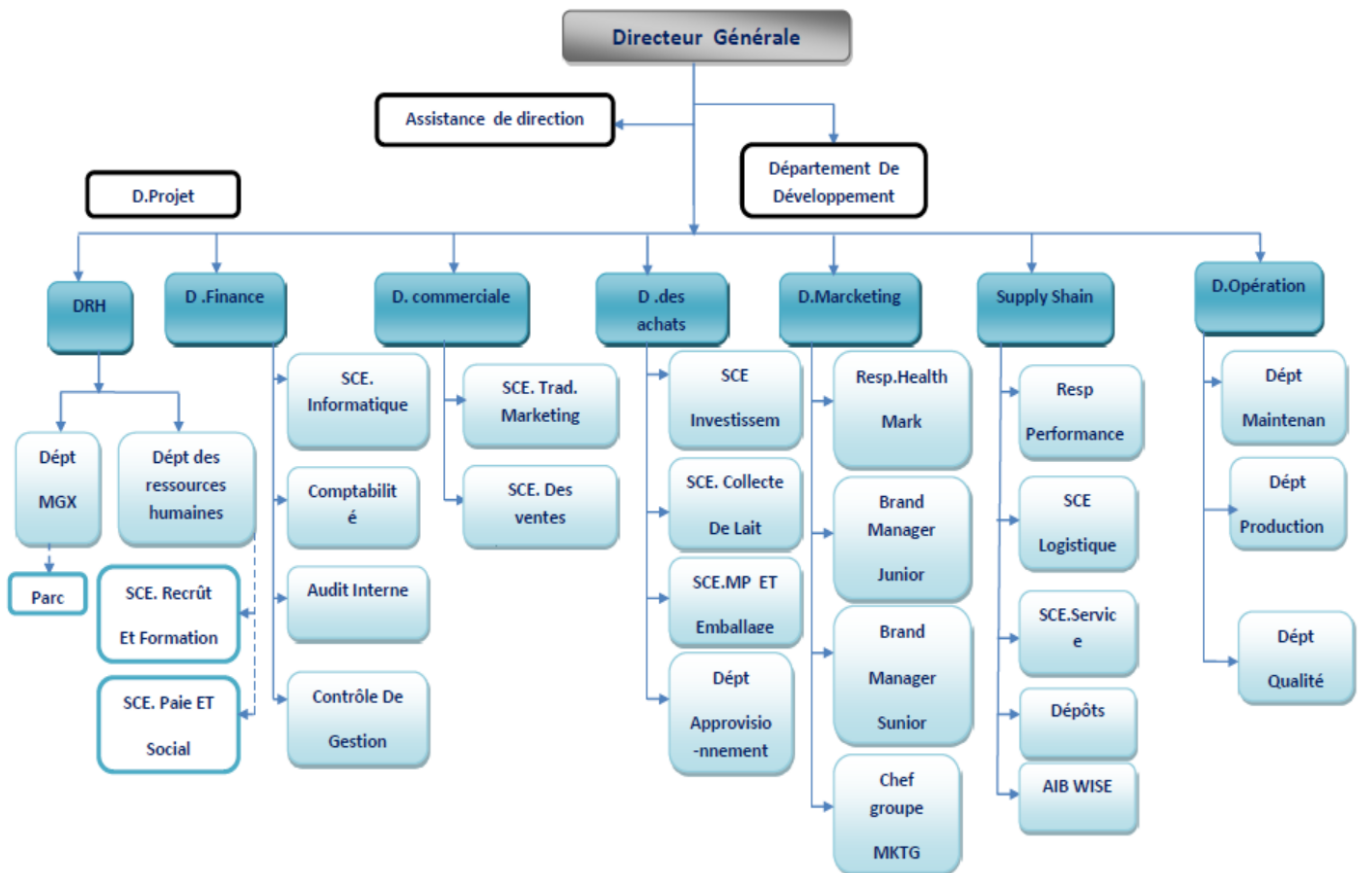


Figure 7 : organigramme générale de Danone Djurdjura Algérie



#### 4. Présentation de la chaîne logistique de DDA & département Supply Chain

##### 4.1. Département supply chain :

Comme la principale activité de DDA est la fabrication et la commercialisation des produits laitiers et nutritionnels pour le marché algérien, un département Supply Chain est en charge de tout le cycle de produit :

- En amont, il s'occupe des achats et des approvisionnements en matières premières auprès des fournisseurs.
- En interne, il est impliqué dans la production, le transport des produits finis vers les entrepôts, et le stockage en bonnes conditions.
- En aval, il intervient dans la distribution vers les distributeurs ou vers les clients finaux.

La principale mission du département est d'assurer la bonne gestion de ces flux physiques, mais aussi des flux d'informations permettant d'assurer la distribution des produits de qualité aux clients finaux au bon moment, au bon endroit, et avec les bonnes quantités et au moindre coût à travers les services suivants :

- **Service Demand & Supply Planning** : Il a pour missions, de calculer des prévisions de ventes suivant les événements futurs (promotion, publicité) en coordination avec la communication et le marketing, et faire le suivi en effectuant le réajustement en fonction des ventes actuelles. De plus, il est responsable de la planification à court, moyen, et long terme. Il se charge aussi, de l'approvisionnement des dépôts selon leurs besoins et le déploiement des ventes aux clients directs,
- **Service Client** : Il assure le support client, et l'administration des ventes qui englobe, la prise de commande, la facturation et le recouvrement
- **Service Performance** : Ce service évalue la performance de la SC suivant les indicateurs de rapprochement entre tous les rapports de la Supply Chain (Taux de vente, disponibilité produit dans les dépôts, mesurer les pertes...), et la coordination entre la production et le commercial.
- **Service logistique** : Il regroupe plusieurs opérations liées aux flux physiques, dont le management des dépôts, qui consiste à assurer la bonne exécution des procédures de la logistique ainsi que la sécurité au niveau des dépôts ; la gestion de transport, qui vise à assurer le transfert des produits du centre d'expédition vers tous les dépôts, la préparation de la commande, la conduite des inventaires physiques, et le pilotage d'activité à l'aide d'indicateurs clés (qualité, sécurité, productivité).

### 4.2.L'organisation de la Supply Chain de DDA :

DDA étant considérée comme l'entreprise focale avec ses deux usines, liées directement aux membres de l'échelon 1 (fournisseurs et clients). Nous présenterons plus en détail, les membres de la SC de DDA dans ce qui suit.

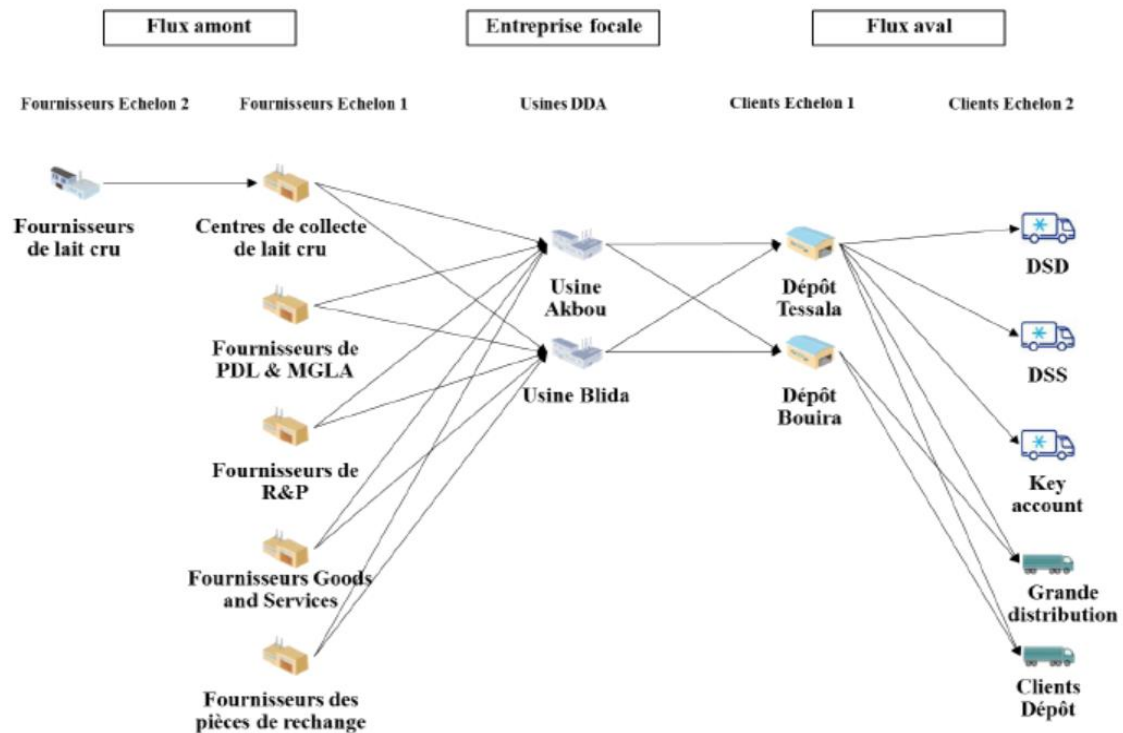


Figure 8 : Organisation de la Supply Chain de Danone Djurdjura Algérie (document interne)

#### Description des Flux amont :

*Les fournisseurs Echelon 1* : représentent les fournisseurs directs de DDA. Il est possible de les regrouper en cinq classes :

- ✓ **Centre de collecte lait cru** : DDA récolte environ 140.000 litres de lait cru par jour à travers un réseau de 26 centres appelés « Maison des éleveurs » répartis sur 17 wilayas.



Figure 9 : Répartition des centres de collecte de lait (document interne)

- ✓ **Fournisseurs de poudre de lait PDL & matière grasse laitière anhydre MGLA :** les fournisseurs de ces matières essentiels à la fabrication de yaourt sont généralement des fournisseurs stratégiques internationaux, DDA travaille en étroite collaboration avec eux pour assurer la bonne gestion de l'approvisionnement.
- ✓ **Fournisseurs Raws & Packs :** ce sont des fournisseurs d'ingrédients : arômes, vitamines, et des additifs qu'on trouve dans la composition de yaourt, en plus des fournisseurs de packaging.
- ✓ **Fournisseurs Goods and Services :** ce sont principalement les fournisseurs de prestation de service comme, les entreprises de prestation logistique (de stockage et de transport), les agences de communication, les agences de voyage, etc.
- ✓ **Fournisseurs des pièces de rechange et CAPEX (investissement) :** les pièces de rechange des machines sont généralement fournies par l'entreprise mère. Dans cette catégorie de fournisseurs, nous trouvons aussi en cas d'un nouvel investissement des fournisseurs de machines, outils ou même d'immobiliers.

**Les fournisseurs Echelon 2 :** ce sont les éleveurs ou les fermiers qui sont au nombre de 1500 et qui fournissent le lait cru pour les centres de collecte. Ils sont classés en trois catégories selon le volume quotidien fourni :

- ✓ La catégorie VIP qui assure un volume supérieur à 500 L/j,
- ✓ La catégorie clé assure un volume supérieur à 200 L/j,
- ✓ Les petits fermiers qui assurent un volume inférieur à 200 L/j.

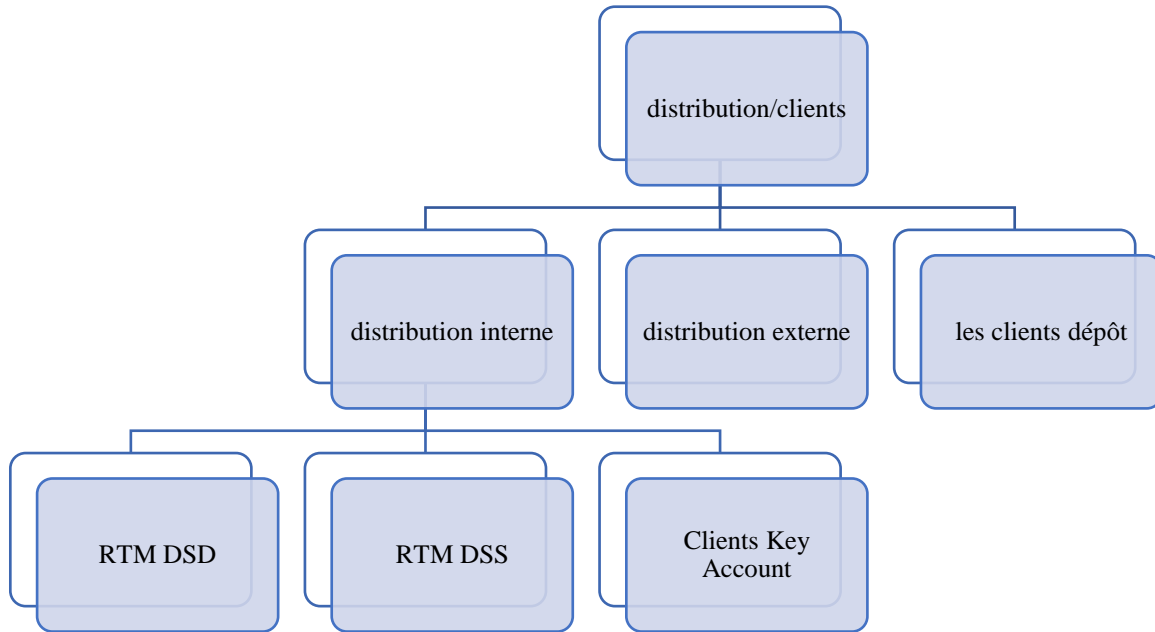
#### **Description des Flux aval :**

**Clients Échelon 1 :** sont les deux dépôts utilisés par DDA : le premier situé à TESSALA (W. Alger) qui couvre environ 60% des activités de stockage et distribution, et le deuxième situé à Bouira, qui couvre le reste de l'activité.

**Clients Échelon 2 :** ce sont les points de vente classés selon leur type de distribution comme suit :

- ✓ **La distribution interne :** elle est de type « Route To Market (RTM) », en Français « accès au marché ». C'est une stratégie développée et lancée en 2008 par le groupe Danone pour augmenter ses parts de marché. Elle consiste à desservir, à partir du dépôt de TESSALA, tous les points de vente de la capitale (Alger) avec ses propres camions et sa propre force de vente à travers des tournées. Cela lui permet de mieux maîtriser la qualité des produits atteignant les consommateurs en réduisant les intermédiaires (grossistes et distributeurs). Danone Djurdjura Algérie, pour mettre en place ce processus, s'est dotée d'une flotte de 30 camions, destinés tous à la pre-sales, c'est-à-dire la prise de commande du client se fait au jour J par le pré-vendeur et la livraison se fait par camion RTM le lendemain. Ce type englobe trois configurations : DSD, DSS et Key Account :
  - **Les DSD (Direct Sales Distribution) :** représentés par des camions, chauffeurs, livreur et pré-vendeurs propres à Danone Djurdjura Algérie.
  - **Les DSS (Distribution Sans Stock) :** qui représentent les partenaires de Danone Djurdjura Algérie. Ils se chargent de livrer les points de ventes, avec leurs propres camions et chauffeurs mais avec des pré-vendeurs de DDA.
  - **Les « Key Account » :** qui constitue une forme de distribution directe établie par DDA. Elle consiste à livrer les produits directement aux grandes surfaces de la région centre avec un traitement spécial.
- ✓ **Les Clients Dépôt :** appelés encore clients propres moyens, ce sont des clients qui viennent s'approvisionner directement du dépôt par leurs propres moyens. Le mode de paiement se fait en cash lors de transactions au niveau de chaque dépôt de l'usine.
  
- ✓ **La distribution externe :**

Appelé aussi la grande distribution : ce sont des clients indirects. Ils sont livrés par des cellules de 20 tonnes sous-traitées par DDA (NUMILOG, MESSAOUDI, GreenLine, TMF...) qui se chargent de faire de la vente directe hors la région centre.



**Figure 10 : Types de distribution assurés par Danone Djurdjura Algérie**

#### **4.3.Présentation de l'unité de stockage :**

Le dépôt TESSALA possède une zone de 5083,412 m<sup>2</sup>, soit 2854,902 m<sup>2</sup> dédiés au stockage, avec une capacité de stockage de 1482 palettes. Le dépôt est partagé en 5 zones, chaque zone est dédiée à une activité spécifique et partagée en allées, chaque allée doit contenir un seul type de produit mais à des DLC différentes.

- Zone 1 : (marron) dédiée au stockage des palettes en bois venant généralement de l'usine de BLIDA. Ces produits peuvent être palettisés sur deux niveaux.
- Zone 2 : (bleu) dédiée au stockage des palettes en plastique venant généralement de l'usine de AKBOU. Celles-ci sont relativement lourdes et donc stockées sur le sol.
- Zone 3 : (jaune) c'est la zone tampon utilisée lors des déchargements des cellules et également lors des préparations des commandes avant le chargement.
- Zone 4 : (vert) c'est la zone picking dédiée au détail.
- Zone5 : (rouge) est dédiée aux produits déclassés qu'ils soient périmés, cassés ou de mauvaise qualité et qui vont être détruits.

On trouve également quatre quais de chargement et déchargement dédiés à la grande distribution et le déchargement des produits venant des deux usines, et onze autres quais pour le chargement de la livraison RTM.

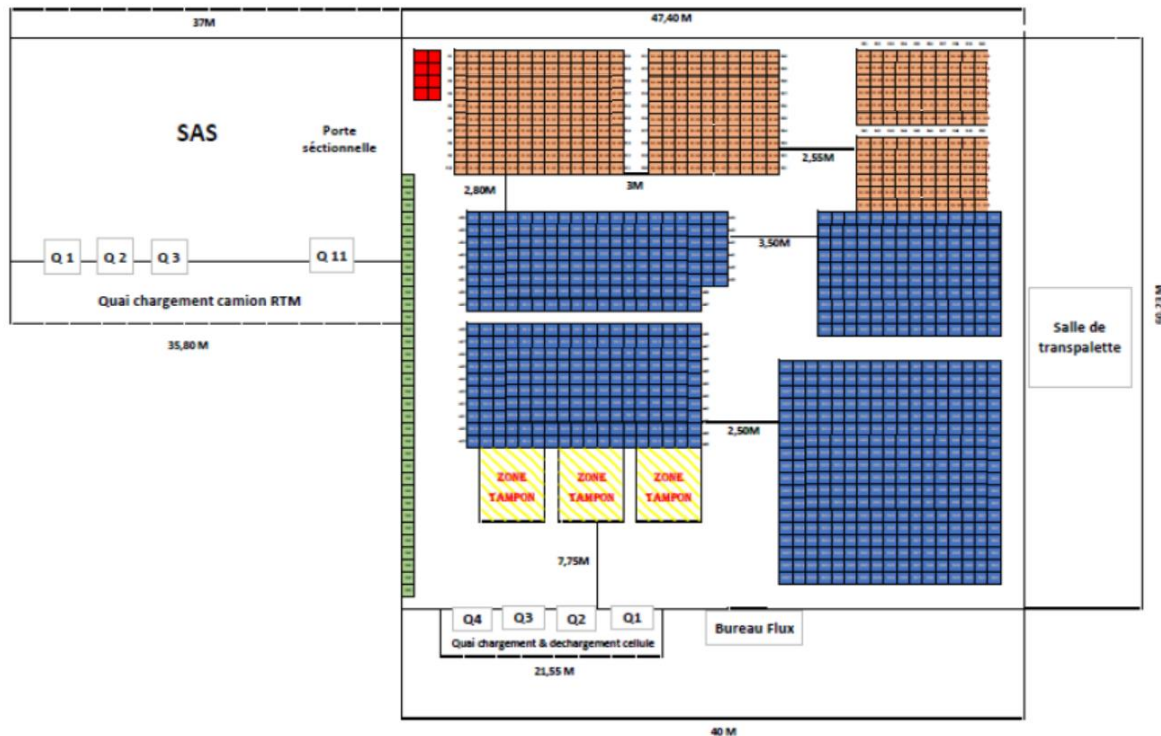


Figure 11 : schéma représentant le dépôt de TESSALA

#### 4.4. Classifications des clients :

Les clients RTM ont été classifiés en quatre catégories appelées clusters. Cette classification tient compte de trois principaux paramètres :

- ✓ Chiffre d'affaire hebdomadaire du client (Il s'agit du chiffre d'affaire généré par Danone grâce à ce client. En d'autres termes, c'est le montant dépensé par le client pour les achats des produits Danone)
- ✓ Type du réfrigérateur dans lequel le produit Danone est exposé : On distingue le Frigo Self-service (le client se sert lui-même tels ceux utilisés dans les grandes épiceries et les superettes) du frigo traditionnel (ouvert généralement par le vendeur tel que dans les petites épiceries).
- ✓ Surface frigo : la surface de l'étagère du réfrigérateur réservée aux produits Danone.

Chaque cluster (catégorie de client) a droit à tous les brands (gamme de produits) mais pas à tous les SKU (parfums). S'il désire plus de SKU, il devra augmenter le montant de ses achats (chiffre d'affaire), agrandir son frigo (self-service) et réserver plus d'espace aux produits Danone. Cette politique vise 2 objectifs :

- Le premier est de pousser le client à augmenter son chiffre d'affaire en réservant plus d'espace frigo aux produits Danone. De cette manière, il touchera plus de consommateurs en proposant une gamme de produits plus diversifiée.
- Le second objectif vise à maintenir la fréquence d'achat des petits clients en ne leur donnant droit qu'aux produits Danone à forte rotation. De cette manière, leurs produits s'écoulent rapidement et leur demande se renouvelle régulièrement.

Cette classification a aussi permis un équilibrage en volume tenant compte de la capacité du camion et de la fréquence de visite des clients lors du traçage des tournées. On distingue donc les 4 clusters suivants :

- 1X : regroupe l'ensemble des clients auxquels une seule demande de livraison est planifiée par semaine.
- 2X : regroupe l'ensemble des clients auxquels deux demandes de livraison sont planifiées par semaine.
- 3X : regroupe l'ensemble des clients auxquels trois demandes de livraison sont planifiées par semaine.
- 6X : regroupe l'ensemble des clients auxquels une livraison au quotidien est planifiée.

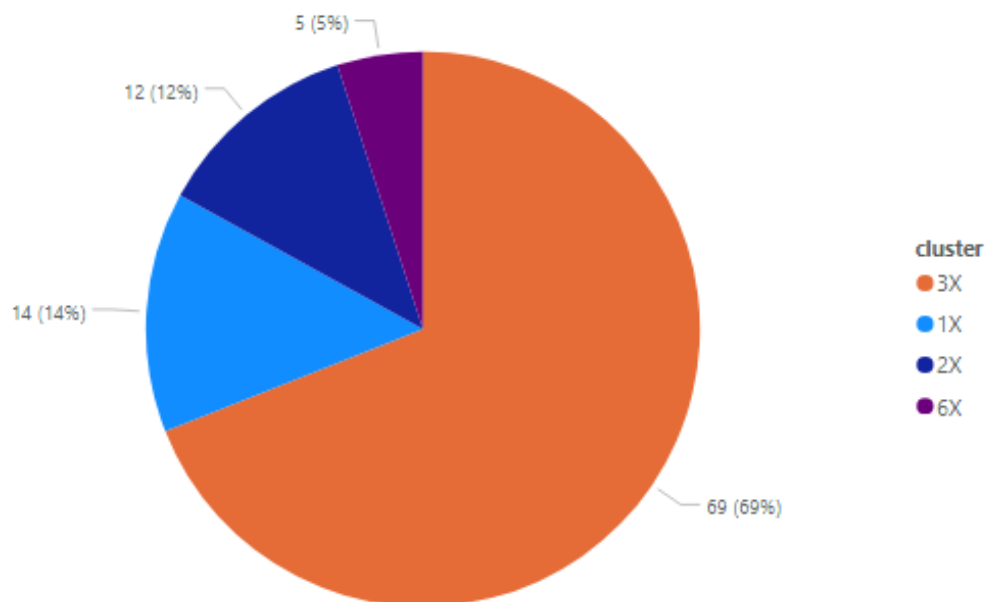


Figure 12 : classification des clients par cluster

#### 4.5. Les systèmes de distribution :

**Pour la grande distribution :** DDA a mis en marche le « TRANSWIDE », un TMS basé sur le cloud qui grâce à une intégration transparente des partenaires, il offre une visibilité globale, une automatisation de processus de bout en bout et des informations détaillées pour une amélioration continue des services logistiques.

La solution TMS Transwide rationalise les étapes de sourcing, planification, exécution, règlement et analyse pour révolutionner la collaboration entre les chargeurs, prestataires logistiques et transporteurs à travers les fonctionnalités suivantes :

- La sélection des prestataires dans une base de données comprenant 18 000 transporteurs.
- L'optimisation du plan de transport avec le calcul et l'approbation de l'ensemble des frais.
- L'audit avec la présence de plusieurs outils de reporting.
- Un logiciel d'achats transports.
- Un suivi de la qualité des prestations sur la base des informations liées à l'exécution des tâches.

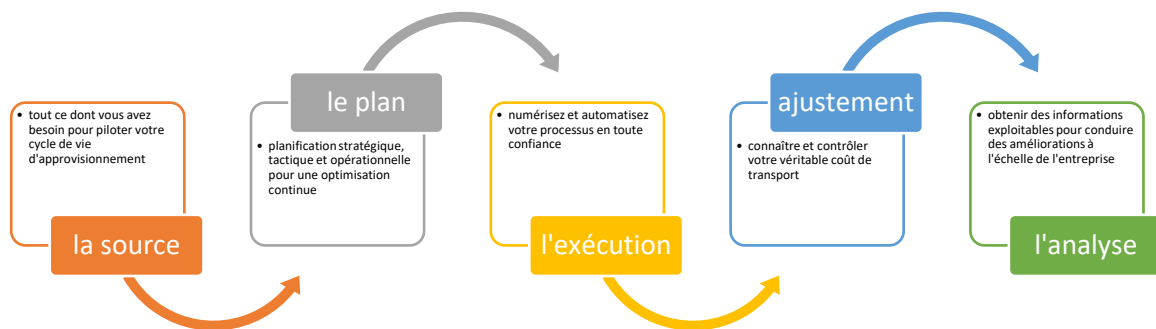


Figure 13 : processus d'amélioration continue des services logistiques par transwide

**Pour la distribution interne :** DDA a opté pour ASSABIL, une solution logicielle de distribution largement adoptée en tant qu'outil stratégique clé pour la gestion des forces de vente mobiles. Elle permet de réduire les coûts à différents niveaux opérationnels et à améliorer la productivité et l'efficacité des équipes, grâce aux domaines fonctionnels de la solution :

- Gestion de la vente et de la prévente mobiles
- Merchandising des points de vente
- Gestion des actifs
- Suivi géographique des ventes



Elle est orientée métier et est centrée sur les besoins en matière de ventes mobiles en offrant une :

- Gestion automatisée de la connectivité et des modes en ligne et hors ligne.
- Sécurité et fiabilité et cohérence des données généralisées à travers le système.
- Haute performance et rapidité des temps de réponse.
- Intégration transparente avec le système d'information SAP existant à DDA.

#### **4.6.Description des processus de distribution :**

##### **a) Description du processus de distribution Route To Market (RTM) :**

Les commandes RTM sont prélevées grâce à un service de prévente propre à DDA qui segmente la région Alger en un réseau de routes où l'on trouve une trentaine de magasins sur chaque route. L'agent du back office consulte SAP pour effectuer l'allocation du stock réservé à la distribution RTM et dispatche les commandes entre les différents superviseurs ensuite entre les livreurs/pré-vendeurs.

Les pré-vendeurs font synchroniser leurs smartphones pour avoir les quantités qui leur sont attribuées sur ASSABIL. Ils commencent alors les tournées auprès des magasins pour ramener les commandes de la journée j+1. A la fin de la journée, après leur retour en site, chaque pré-vendeur resynchronise son smartphone afin de transférer automatiquement toutes les commandes de chaque magasin vers la base de données ASSABIL.

L'agent back office fait ensuite l'affectation des produits disponible par route pour les livreurs en fonction des commandes enregistrées et du stock RTM disponible, prépare le bon de chargement pour le livreur.

Pour les commandes DSD, le chargement se fait le soir de jour j et par 10 camions. Une fois les camions entrés en quai, les opérateurs commencent à préparer les commandes. En général, la préparation s'effectue par 12 opérateurs travaillant par groupes de deux. A la fin de la préparation de la commande, le responsable de la chambre froide donne l'ordre de chargement dans le camion après avoir vérifié les quantités.

Après le chargement, L'agent du back office procède à l'édition des factures de paiement pour tous les magasins et ceci sous SAP. Le gestionnaire des flux s'occupe du déstockage des produits sur SAP. A la journée J+1, les livreurs arrivent sur sites et commencent les tournées.

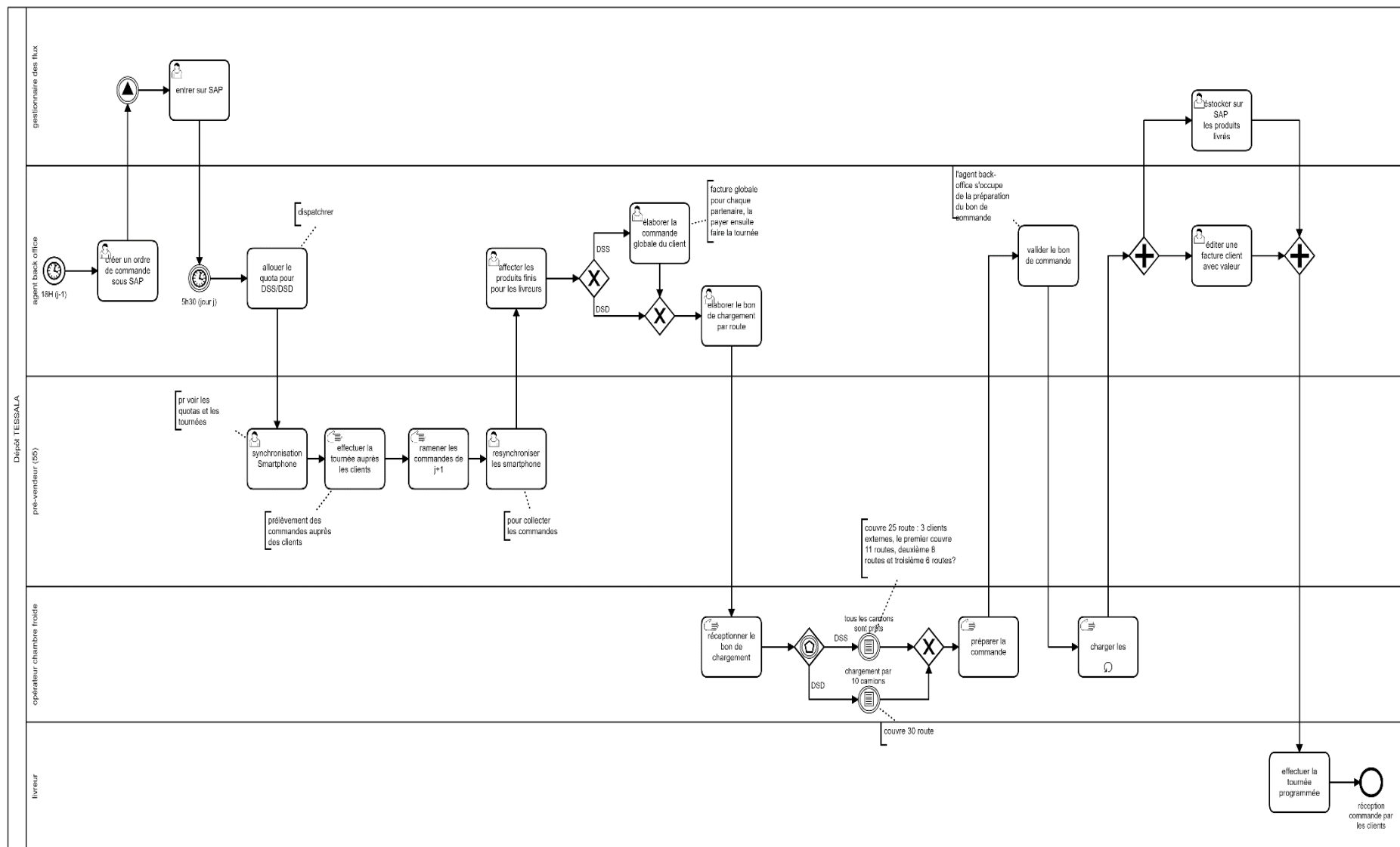


Figure 14 : modélisation du processus de distribution RTM sous la norme BPMN2.

**b) Description du processus de distribution Externe :**

La distribution externe commence par le processus « pull commande » c'est-à-dire la prise de commande, ensuite à 13h de la journée j, l'agent du bureau back office crée un ordre de commande sous SAP. Après le gestionnaire de flux consulte le programme de livraison sous SAP afin d'élaborer « une picking liste » qu'il enverra aux opérateurs. Cette dernière est une fiche qui contient l'ordre de chargement avec les détails des produits et leurs quantités

Une fois les camions entrés en quai, les opérateurs commencent à préparer les commandes. En générale la préparation s'effectue par sept opérateurs avec deux opérateurs par commande. A la fin de la préparation de la commande, après avoir vérifié les quantités, le responsable de la chambre froide donne l'ordre de chargement dans la cellule.

A la fin du chargement, le gestionnaire des flux procède à l'édition et à la validation d'une fiche navette. Il s'occupe ensuite du déstockage des produits sur SAP. Quant à l'agent du back office, il fait l'édition d'une facture de paiement en utilisant SAP aussi.

Après le chargement de la cellule, la validation de la fiche navette et l'édition de la facture, le livreur fait sortir la cellule du site pour transporter les produits vers le client.

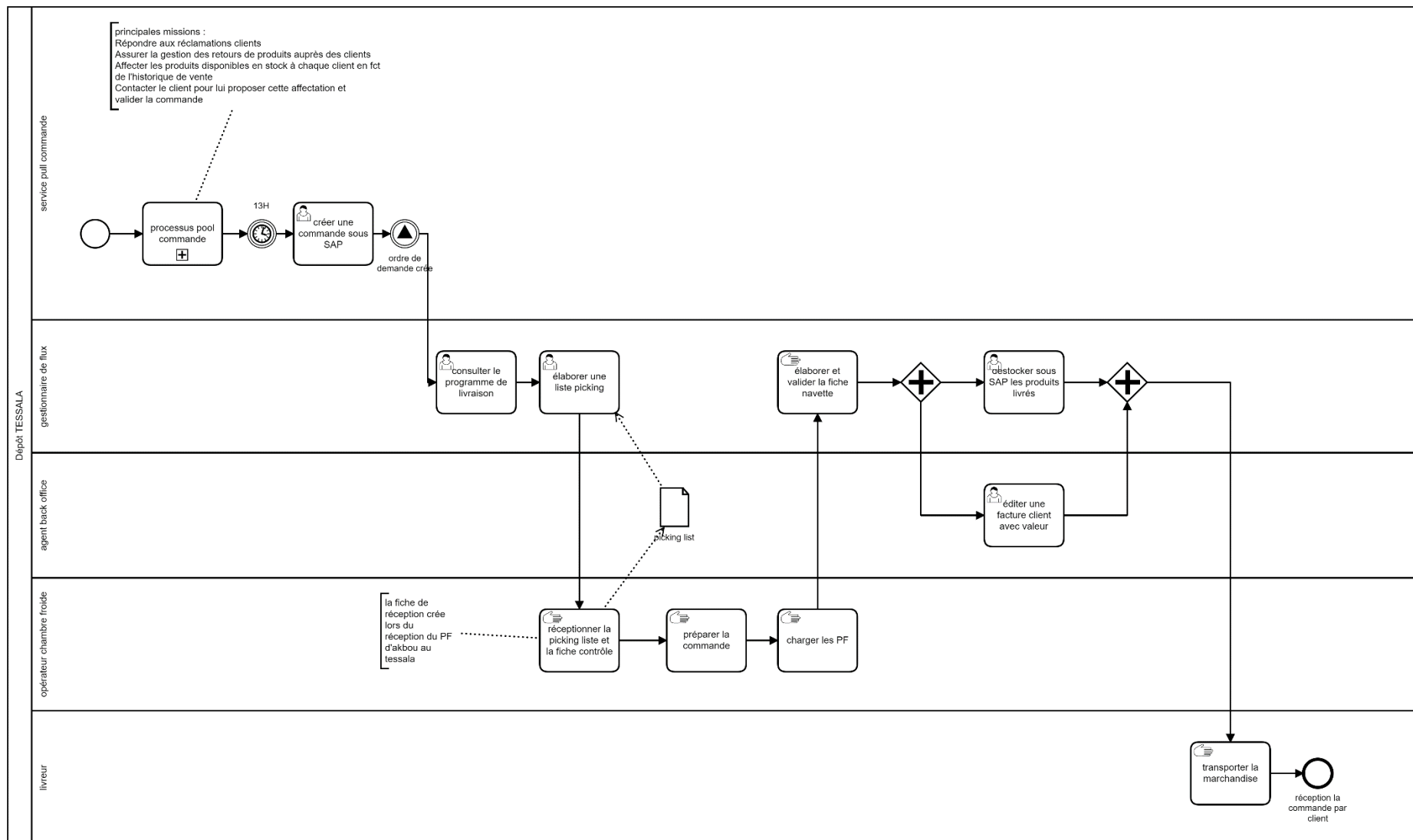


Figure 15 : modélisation du processus de distribution externe la norme BPMN2

## 5. Analyse SWOT :

Avant de présenter le département auquel nous nous intéressons, il semble nécessaire de résumer l'ensemble des éléments constituant les forces et les faiblesses de l'entreprise, pour nous permettre de mettre en lumière les opportunités et menaces qui l'entourent. Il est donc naturel de présenter cela sous la forme d'une analyse SWOT.

### ❖ Forces :

- Présence sur quatre marchés porteurs : eau minérale, nutrition infantiles, nutrition médicale et produits laitiers, et leader mondial sur ce dernier.
- Solides performances financières enregistrées ces dernières années : la santé financière de l'entreprise est globalement bonne et la capacité d'endettement est intacte.
- Externalisation des activités : avoir recours à un prestataire de transport pour une partie de distribution (grande distribution + DSS)
- Pilotage d'activité à l'aide d'indicateurs : qualité, sécurité, productivité.
- Garantir des services de qualité : délai, température, conditions ; la livraison par route peut souvent se faire un jour après confirmation de commande.

### ❖ Faiblesses :

- Des ventes nettement inférieures par rapport aux concurrents mondiaux (Nestlé, Unilever et Kraft) et au concurrent national (Soummam).
- Coûts de production et de structures importants.
- Un positionnement haut de gamme avec très peu de marge de manœuvre pour relever ses prix.
- Capacité de stockage réduite et Rupture en emballages (caisses) à cause des non retours.

### ❖ Opportunités :

- Possibilité d'augmenter la part de marché et d'améliorer la position concurrentielle.
- De solides perspectives dans l'alimentation infantile (16 millions de bébé par an en chine)
- Développement du système informatique par mise en place d'un WMS.
- Possibilité d'optimiser et d'améliorer les tournées de distribution.

- Externalisation croissante : les expéditeurs continueront d'externaliser le transport et les activités connexes pour rester compétitifs.

❖ **Menaces :**

- Pouvoir de prestataire du transport surtout pour la grande distribution que DDA externalise.
- Blocage des routes suite à des congestions de trafic.
- Pressions des gros clients par rapport aux horaires de livraison.
- Des fraudes sur les normes de climatisation par certains chauffeurs dégradant ainsi la qualité des produits
- Baisse des coefficients de remplissage des camions de livraison, qui nuit à la rentabilité de l'activité.

Cette analyse nous montre l'importance d'une meilleure maîtrise de la logistique au sein de la société. En effet, les menaces mises en lumière sont importantes, et pourraient à termes nuire à la rentabilité de l'activité.

## 6. Audit des pratiques logistiques de Danone Djurdjura Algérie :

Dans le but de faire une analyse complète de la Supply Chain de Danone Djurdjura Algérie, d'évaluer sa performance et de détecter les dysfonctionnements qui touchent les différents services, nous avons mené un audit en se basant sur le référentiel d'évaluation de la performance logistique ASLOG. L'objectif de cet audit est donc de mettre en lumière les faiblesses et pistes d'amélioration possibles de la logistique au sein de l'entreprise, afin d'augmenter la compétitivité et la rentabilité de celle-ci.

Il existe de nombreux référentiels permettant de réaliser un audit logistique, nous avons opté pour ASLOG puisque celui-ci se positionne à mi-chemin entre la distribution et la production en situant la focalisation principale vers le local, à quelques exceptions près.

Le Référentiel ASLOG est un référentiel logistique conçu par l'Association Française pour la Logistique, qui a pour vocation d'aider les entreprises à analyser, diagnostiquer et améliorer la performance de leurs Supply Chain. Ce référentiel compte 124 questions réparties sur dix chapitres. Chaque chapitre est constitué de plusieurs sous chapitres, qui sont eux-mêmes constitués d'une à plusieurs questions, qui touchent divers aspects de la logistique, afin d'en analyser les principaux processus sur le plan stratégique, tactique et opérationnel et d'en évaluer la performance globale, et proposer un plan d'amélioration. L'évaluation de chaque chapitre se base sur les critères destinés pour chaque niveau, et la notation est de 0 à 3 par question.

L'audit de l'ASLOG se caractérise principalement par sa finalité et son contenu. L'objectif de celui-ci réside dans le fait d'améliorer les performances de l'entreprise sur l'ensemble des éléments logistiques : service aux clients, fiabilité des livraisons, délais de livraison améliorés, réactivité, optimisation des stocks, diminution des coûts logistiques



Figure 16 : schéma logistique ASLOG

L'audit s'est déroulé sous forme d'entretiens individuels avec les responsables de département Supply Chain, nous avons retenu du référentiel ASLOG, les chapitres suivants :

- **Chapitre 5** : Logistique de transport
- **Chapitre 6** : Stockage.
- **Chapitre 7** : logistique de distribution

### **6.1. Logistique de transport :**

La stratégie principale de DDA est la couverture du marché. Le fait d'avoir ses produits distribués sur tout le territoire national est une nécessité. Pour cela le choix des transporteurs est fait selon un processus précis et les besoins en transport sont intégrés dans le dispositif de planification générale. Tous les moyens sont mis en œuvre pour que les commandes soient livrées dans les délais. Des appels d'offres sont émis et traités à fréquence régulière de manière à répertorier les meilleurs opérateurs de transport répondant au schéma de distribution souhaité. Un plan général d'amélioration inclut la réduction des retards, des délais et des coûts de transport avec les statistiques fournies par le transporteur et l'entreprise sont discutées plusieurs fois par an.

Pour la maîtrise opérationnelle, tout incident ou aléa survenant pendant l'opération de transport et entraînant le non-respect des engagements contractuels est tout de suite signalé par l'opérateur du transport. Les règles de refacturation des produits détériorés et de leur transport sont respectées.

Des enquêtes systématiques sont effectuées auprès des clients pour mesurer leur niveau de satisfaction en matière de transport et de livraison.

Mais nous avons noté que les coûts de transport ont été mal déterminés ou du moins une meilleure estimation pourrait être faite. Nous avons aussi noté la non optimisation en allocation des ressources ; on retrouve parfois la mobilisation de toutes les flottes disponibles avec un taux de remplissage faible.

### **6.2. Le stockage :**

La gestion du stock en aval au niveau du dépôt TESSALA est assurée par les gestionnaires de stock. Le réapprovisionnement se fait par quotas directement depuis les usines.

Les stocks sont gérés suivant une démarche continue vise à optimiser sans cesse l'arbitrage entre le niveau des stocks et le taux de rupture pour garantir le niveau de service au client. Elle permet d'assurer la disponibilité dans des conditions suffisantes tant économiques que pour le



taux de service et le délai visés. De plus, le système d'information SAP utilisé rend impossible tout mouvement physique autre que celui prévu, s'il n'a pas été préalablement permis par une autorité supérieure. En outre, les stocks extérieurs sont gérés comme des stocks internes via SAP. Les calculs préalables à la prise de chaque décision de ce type conduisent à l'optimisation des coûts.

Les mouvements de stock sont enregistrés, l'intégration via les systèmes d'information évite la reprise des données et permet, par simple validation, la mise à jour rapide du niveau des stocks lors des mouvements.

Les moyens de manutention et de stockage font l'objet d'un plan de maintenance préventive : des mesures préventives sont prises pour lisser l'activité des magasins afin d'optimiser l'utilisation des ressources en cas de variations d'activité.

La politique de gestion des stocks est de type FEFO (First Expired First Out) en prenant en considération les DLC des produits.

En cas d'écart entre les mouvements et transactions de stocks, le personnel aide aux recherches et analyses. Il participe aux actions de progrès.

Cependant, nous avons remarqué que le coût lié au stockage des produits est important, pouvant être optimisé et pour la gestion des opérations de magasinage, les emplacements ne sont pas gérés, le système d'information ne propose pas d'adressage dans des zones appropriées,

### **6.3. Logistique de distribution :**

Danone Djurdjura Algérie possède deux principaux circuits de distribution : la distribution directe dont elle fait la prestation elle-même par ses propres camions de livraison destiné à servir la zone centre uniquement, et la distribution externe à travers un ensemble de cellules sous traités qui assurent la distribution dans le reste des zones.

L'entreprise possède ainsi ses propres itinéraires qu'elle a sélectionné suivant des critères bien précis, mais qui prennent en compte d'avantage l'aspect sécurité que celui relatif aux coûts, ce qui fait que son réseau de distribution, malgré le fait qu'il soit relativement fiable, est plutôt coûteux.

DDA cherche de manière permanente à améliorer l'offre logistique : qualité, coût, délai. Le niveau et le type de prestations proposées sur le marché sont connus. Ils contribuent à mieux répondre aux attentes du client.

Les prévisions de vente sont mises à jour à une fréquence appropriée. Elles sont consommées par les commandes fermes. Les personnes qui élaborent, consolident, utilisent ces prévisions sont formées à cette tâche et disposent de méthodes efficaces, de modèles pertinents et de

ressources suffisantes. Pour certains clients, un suivi préventif est organisé. Il vise à prévenir, dès livraison, tout litige réel ou fictif, dont le but serait de décaler les échéances de règlement.

Pour les délais de livraison, des analyses catégorielles du respect du délai promis sont exploitées. Des dispositions sont prises concernant les jours de fermeture (entreprise et clients).

Les moyens mis en œuvre pour réduire les délais de façon occasionnelle, sont pérennisés.

Dans le cas d'une pénurie de produits finis, des règles de gestion bien définies en matière d'affectation du disponible, prévoient une information et une négociation avec le client.

Pour le suivi opérationnel, des règles de programmation des tournées de distribution sont formalisées et es résultats sont fournis aux responsables des opérations de livraison.

Pour assurer la traçabilité de ses flux de produits, toute défaillance ou non-conformité relatives à ce processus font l'objet d'actions correctives dont la mise en œuvre, le suivi et l'efficacité sont décrits dans le système de management de l'entreprise.

### **7. Dysfonctionnements détectés et énoncé de la problématique :**

Cet audit nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la Supply Chain de Danone Djurdjura Algérie et de cerner les interactions entre les différents départements. Nous avons ainsi pu mettre en évidence les dysfonctionnements suivants:

1) les équipes de livraison consacrent une grande partie de leur temps de travail à organiser leurs déplacements et à gérer les modifications d'ordonnancement de leurs visites ; l'ordre des clients n'est pas disponible, ils perdent du temps à préparer les itinéraires à suivre avant de démarrer la tournée.

2) les équipes ont du mal à respecter les horaires de visites convenus avec les clients. Les tournées réalisées ne correspondent pas du tout aux tournées planifiées pour les raisons suivantes : durées d'interventions mal estimées, absences des clients, nouvelles prises de rendez-vous ajoutées à la dernière minute... les équipes essuient régulièrement des plaintes une fois sur place, et un certain nombre de retours de clients insatisfaits est enregistré.

Comme nous venons de voir dans ce chapitre, Danone Djurdjura Algérie fait partie d'une chaîne logistique complexe, mettant en jeu des acteurs se trouvant dans des régions disparates à travers le monde.

Pour faire face à l'évolution de la demande que subit le marché des produits laitiers en Algérie, maîtriser ses coûts logistiques ne sera plus un luxe mais une nécessité si Danone Djurdjura Algérie veut rester compétitive et garder sa place dans le marché national.

Pour ce faire, l'entreprise a opté pour asseoir un nouveau concept d'optimisation des flux de transport en vue de rendre ces opérations plus rentables, plus efficaces et efficientes,

La problématique que nous traitons dans le cadre de ce mémoire repose sur la question suivante : « **Comment établir des plans de transport optimaux afin de réduire les coûts et rendre ainsi Danone Djurdjura Algérie compétitive sur le marché ?** »

Les analyses précédentes nous ont permis d'identifier une piste d'amélioration possible visant l'optimisation des coûts de transport par une affectation des capacités logistiques basées sur un modèle mathématique d'optimisation adapté à la spécification du réseau de distribution de DDA.

Nous allons donc agir sur deux aspects importants :

- Le premier aspect consiste à concevoir des itinéraires qui garantissent un coût de transport minimum et qui respectent également un certain nombre de contraintes d'ordre social et temporel.
- Le deuxième aspect consiste à réduire le nombre total de véhicules mobilisés.

### **Conclusion :**

Ce chapitre, nous a permis d'avoir une idée sur secteur d'activité laitier, et du contexte du marché de yaourts en Algérie.

La présentation du groupe Danone et sa filiale Danone Djurdjura Algérie, avec son département Supply Chain et ses différents processus de distributions nous a permis de détecter les dysfonctionnements qui existent à ce niveau, et après un diagnostic interne, nous avons abordé notre problématique.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les outils que nous allons utiliser pour ce projet et qui vont nous servir à résoudre notre problématique.

**Chapitre 2 :**

**Etat de l'art sur les**

**problèmes de tournées de**

**véhicules**

**Introduction :**

Le problème de tournées de véhicules (VRP) est appliqué dans plusieurs domaines économiques. La livraison de colis, la collecte du lait, la collecte d'argent (distributeurs), le ravitaillement de stations essences sont des exemples parmi les plus connus. Il apparaît aussi dans la distribution des produits agroalimentaires.

Dans ce chapitre et en premier lieu, on présentera d'une manière détaillé le VRP ainsi que sa formulation mathématique. On met l'accent par la suite sur ses nombreuses méthodes de résolution qui ont été développées en recherche opérationnelle (RO). On proposera en dernier une classification des différentes variantes du problème de tournées de véhicules.

**1. Problème de tournée de véhicule (Description du problème) :**

Le problème de construction de tournées de véhicules (VRP : Vehicle Routing Problem en anglais) est un problème d'optimisation combinatoire et de recherche opérationnelle. Il fait partie de la catégorie des problèmes de transport (AOUADJ, 2019).

Le VRP est une extension du problème du voyageur de commerce classique TSP, le nom donné à ce dernier (TSP) vient du fait qu'un circuit hamiltonien est celui que suivrait un voyageur de commerce partant d'une ville pour traverser une seule et unique fois  $n$  autres villes et revenir à son point de départ et ce à cause de son travail. Son objectif est rationnellement d'effectuer ces trajets, ce circuit en un temps minimal, une distance minimale ou un coût minimal. Pour parvenir à ses fins, le voyageur commercial peut bien sûr effectuer des essais successifs différents en notant à chaque essai, le temps nécessaire, le coût et la distance (ATTIA, 2013).

Chaque problème VRP peut être considéré comme un ensemble de plusieurs problèmes TSP dépendants appelés donc MTSP.

Etant donnée une flotte de caractéristiques connues, déterminer, pour chacun des véhicules les tournées de distribution. Le VRP consiste à d'affecter à chaque véhicule un sous-ensemble de clients et de définir l'ordre de passage de manière à minimiser le coût total de distribution.

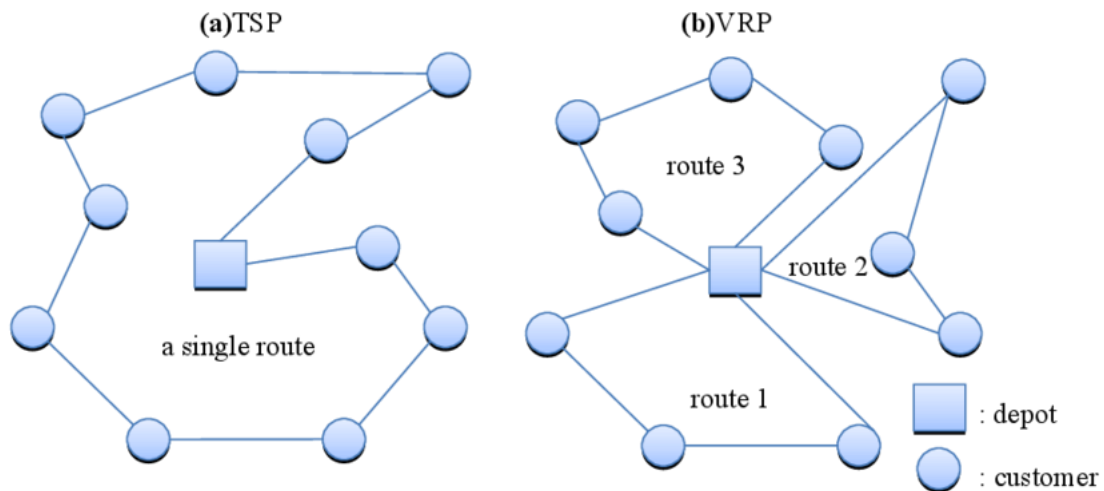


Figure 17 : schéma représentatif du VRP et TSP

Ce type de problème peut être décrit comme un problème de conception d'itinéraires à moindre coût, d'un dépôt à un ensemble de points géographiquement dispersés (ville, magasins, entrepôts, écoles, clients, etc.).

Dans sa version la plus basique dite Capacitated VRP (CVRP) ou VRP avec contraintes de capacité, une flotte de véhicules de capacité finie, basée dans un dépôt, doit assurer des tournées entre plusieurs clients (ou villes) ayant demandé chacun une certaine quantité de marchandises. L'ensemble des clients visités par un véhicule désigne la tournée de celui-ci. Chaque client doit être desservi une et une seule fois et chaque tournée commence et se termine au dépôt.

## 2. Formulation mathématique :

La formulation du VRP que nous présentons ici correspond à la formulation mathématique utilisée en programmation linéaire en nombres entiers. Cette formulation est la plus utilisée dans la littérature, et a ainsi été adoptée par Laporte (1992), Rego (1994), etc.

Le VRP est un problème de conception des routes. Il est défini par un graphe complet  $G(N, E)$ , c'est-à-dire que tous les sommets sont reliés entre eux. Cela signifie qu'une ville peut être visitée à partir de toute autre ville (BERRAKI, 2014).

Considérons :

- $N = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$  L'ensemble des  $n+1$  nœuds (villes) avec :
  - $v_0$  : le dépôt qui est le point de départ et d'arrivée de toutes les routes

- $\{v_1, \dots, v_n\}$  : L'ensemble des clients.
- $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in N, i \neq j\}$  l'ensemble des arcs possibles
- Une distance  $d_{ij}$  est associée à chaque arc  $(i, j) \in E$ , ces distances sont symétriques c'est-à-dire que  $d_{ij}=d_{ji} \forall i, j \in E$ .

Les autres constantes du problème sont les suivantes :

- $n$  nombre de clients (ou sommets)
- $m$  nombre de véhicules
- $Q$  capacité des véhicules
- $q_i$  demande du client  $i$
- $c_{ij}$  le coût de l'arête entre les sommets  $i$  et  $j$  (distance ou temps de parcours)

Les variables de décision du problème sont les  $x_{ijk}$  :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Si } (i, j) \text{ est parcouru par le véhicule } k; \\ 0, & \text{Sinon} \end{cases}$$

La fonction objective est :  $\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk}$

Ainsi, en tant que problème d'optimisation, le modèle du CVRP s'écrit :

$$\left( A \right) \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk} \quad (1) \\
 \text{S.O.} \\
 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq j \leq n \quad (2) \\
 \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (3) \\
 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n x_{ilk} = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ljk} \quad (4) \\
 \sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (5) \\
 \sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (6) \\
 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} * q_i \leq Q \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (7) \\
 x_{ijk} \in (0,1) ; \quad \forall 0 \leq i, j \leq n ; 1 \leq k \leq m \quad (8)
 \end{array} \right.$$

Sous cette formulation :

- La première formulation (1) signifie que l'objectif du problème d'optimisation est de minimiser la somme des coûts de toutes les tournées.
- Les contraintes (2) et (3) imposent que chaque client soit desservi une et une seule fois
- Les contraintes (4) assurent la conservation de flot.
- Les contraintes (5) et (6) assurent que chaque tournée commence et se termine au dépôt.
- La contrainte (7) sont les contraintes de capacité
- La contrainte (8) sont des contraintes de binarité sur les variables de décision  $x_{ijk}$ .

### 3. La complexité :

La théorie de complexité s'intéresse à l'étude formelle de la difficulté des problèmes en informatique. L'objectif de calculer la complexité d'un algorithme, est d'obtenir un ordre de grandeur du nombre d'opérations élémentaires nécessaires pour que l'algorithme fournisse la solution du problème à l'utilisateur. Ceci permet de comparer la performance des algorithmes indépendamment des caractéristiques de la machine ou du langage utilisé (HOUSROUM, 2005).

Un problème décisionnel peut appartenir à deux classes :

- La classe P (polynomial time) : contient l'ensemble des problèmes pouvant être résolus, de manière exacte, par un algorithme de complexité polynomiale.
- La classe NP (Non-deterministic Polynomial time) : contient l'ensemble des problèmes dont on peut vérifier qu'une proposition donnée est bien une solution du problème avec un algorithme de complexité polynomiale (HAJ-RACHID, 2010).

On peut distinguer deux autres sous classes :

- Un problème de décision est dit NP-Complet s'il appartient à la classe NP et il résolu, au mieux, en un temps exponentiel.
- Un problème d'optimisation est dit NP-Difficile, si le problème de décision associé est NP-complet.

Comme le VRP est une extension du TSP (problème du voyageur de commerce) qui est de classe NP-complet, le VRP est donc de classe NP-difficile.

### 4. Les méthodes de résolution :

Les méthodes de résolution de problèmes d'optimisation tels que les problèmes de tournées de véhicules sont classés en deux catégories : les méthodes exactes et les méthodes approchées (heuristiques et méta-heuristiques.) :



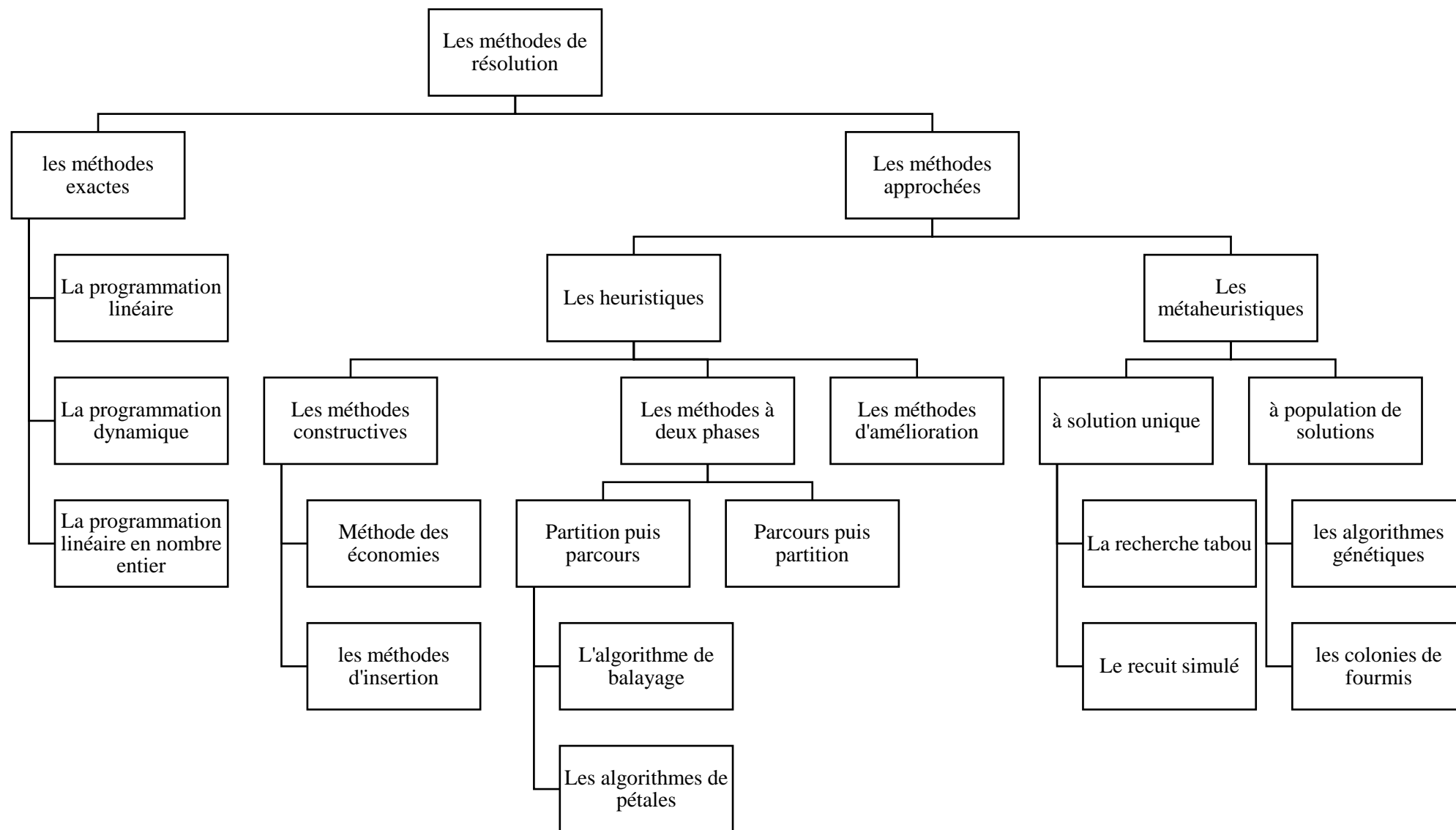


Figure 18 : Les méthodes de résolution les plus utilisées des problèmes de tournées de véhicules

#### 4.1.Méthodes exactes :

Le principe des méthodes exactes, appelées aussi méthodes complètes, consiste à rechercher, souvent de manière implicite, une solution, la meilleure solution ou l'ensemble des solutions possibles d'un problème (LAYEB, 2010).

Les méthodes exactes ont souvent, des durées de calcul qui augmentent exponentiellement avec la taille des problèmes qu'elles essaient de résoudre (le parcours exhaustif de ce domaine des solutions réalisables est impossible à partir d'une certaine taille du problème). Elles doivent donc être arrêtées prématurément lors de la résolution. Dans ce cas, les méthodes exactes ne produisent que des minorants appelés bornes inférieures ou des majorants appelés bornes supérieures. Cette classe comprend principalement la programmation linéaire, en nombre entiers et dynamiques :

##### 4.1.1. Programmation linéaire :

La programmation linéaire (PL) est une branche de l'optimisation permettant de résoudre de nombreux problèmes économiques et industriels. La programmation linéaire désigne la manière de résoudre les problèmes dont la fonction objective et les contraintes sont toutes linéaires.

Sa formulation mathématique est la suivante :

$$P = \begin{cases} \text{Min } C^T x \\ S.C. \\ A \cdot x \leq b \\ x \geq 0 \end{cases}$$

Avec :

- $n$  : nombre de variables ( $x=(x_1, \dots, x_n)$ ) ;
- $m$  : nombre de contraintes  $m \leq n$  ;
- $A = (a_{ij})$  ;  $i = 1, \dots, m$  ;  $j = 1, \dots, n$  : matrice des contraintes ( $m \times n$ ) et  $\text{rang}(A) = m$  ;
- $C = (C_1, \dots, C_n)$  : vecteur ligne des profits (ou gains) ;
- $b = (b_1, \dots, b_m)$  : vecteur colonne des seconds membres.

La résolution de ce problème consiste à trouver une solution optimale  $x = (x_1, \dots, x_n)$  de sorte que la fonction  $Z$  soit à son minimum, sans violation de la moindre contrainte (CORNE, 1999).

#### 4.1.2. Programmation linéaire en nombre entier :

Programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) est un domaine des mathématiques et de l'informatique théorique dans lequel on considère des problèmes d'optimisation d'une forme particulière. Ces problèmes sont décrits par une fonction de coût et des contraintes linéaires, et par des variables entières.

Le programme linéaire en nombres entiers est le suivant :

$$(P): \begin{cases} \text{Min } c^T x + d^T y \\ \text{s. c. } Ax + By \leq b \\ x \geq 0, y \geq 0 \\ x \in \mathbb{Z}_+^n \end{cases}$$

Soit  $(x^*, y^*)$  une solution optimale de P et soit  $(\bar{x}, \bar{y})$  une solution optimale alors  $c^T \bar{x} + d^T \bar{y} \leq c^T x^* + d^T y^*$ , la valeur optimale est une borne inférieure pour P.

#### 4.1.3. Programmation dynamique :

La programmation dynamique, est une technique générale de résolution exacte de problèmes d'optimisation qui consiste à énumérer explicitement l'ensemble des solutions du problème tout en factorisant autant que possible les calculs et en évitant tout raisonnement redondant. La programmation dynamique travaille sur une formulation récursive du problème, pour laquelle on effectue une tabulation des résultats intermédiaires. Le point fort de cette méthode est le fait d'éviter d'évaluer deux fois la même fonction, généralement en utilisant une table de résultats obtenus, remplie à fur et à mesure que l'on résout les sous-problèmes et c'est ainsi qu'on gagne un temps considérable.

#### 4.2.Méthodes approchées :

Les méthodes approchées fournissent une solution approchée au problème traité. A l'inverse des méthodes exactes, lorsqu'il s'agit de problèmes de dimension importante, le recours aux méthodes approchées s'impose. Ces méthodes (comme les heuristiques et les métaheuristiques) ont pour but de produire une solution réalisable, de bonne qualité mais pas forcément optimale, sans nécessiter des temps de calcul importants (MARSIS, 2015).

Dans ce qui suit, nous récapitulons, les méthodes approchées les plus fréquents dans la littérature, qui ont été utilisés pour résoudre le problème de tournées en général.

##### 4.2.1. Les heuristiques :

Une heuristique (Étymologiquement, le mot heuristique signifie « trouver, découvrir » en grec ancien) est un moyen de guider les choix que doit faire un algorithme pour réduire sa complexité. Une heuristique est spécifique à un problème et ne peut pas être généralisée.

En général, les heuristiques qui ont été développées pour le VRP sont fondées sur des heuristiques initialement développées pour le TSP. Dans cette section nous présentons un survol des heuristiques classiques proposées pour le VRP. Les heuristiques classiques peuvent être réparties en trois classes (GRID, 2018) :

- Les méthodes constructives.
- Les méthodes à deux phases.
- Les méthodes d'améliorations.

**a) Les méthodes constructives :**

Les méthodes constructives sont des méthodes itératives où, à chaque itération, une solution partielle est complétée. Les plus connues sont la méthode des économies (savings) de Clarke et Wright et les méthodes d'insertion.

- **Méthode des économies :** Dans cette méthode, le nombre de véhicules est une variable de décision. Il nécessite le calcul du gain possible pour toute paire de sommets  $(i, j) \in A$ , et  $i, j \in C$  liée à la fusion de routes. Partant d'une solution initiale où chaque client est desservi par une tournée différente, on regarde le gain réalisé par des fusions possibles de routes. Pour calculer le gain lié à une fusion de routes, on évalue  $S_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ . On trie ensuite les gains possibles par ordre décroissant et on choisit la fusion réalisant le gain le plus grand. Pour les étapes suivantes, on cherchera à fusionner des routes deux à deux soit au début soit en fin de tournée. Par exemple si on considère une route  $(0, i, \dots, j, 0)$  on va chercher à déterminer le meilleur gain  $S_{ki}$  ou  $S_{jl}$  parmi toutes les fusions possibles qui peuvent être réalisées en formant une route réalisable (i.e. respectant les contraintes du problème) par la fusion de la route courante et d'une autre route se terminant par  $(k, 0)$  ou commençant par  $(0, l)$ . La méthode s'arrête dès qu'il n'est plus possible de trouver une fusion améliorante.
- **Les méthodes d'insertion :** sont constituées de deux phases, la première sélectionne le prochain nœud à insérer et la deuxième réalise l'opération d'insertion. La méthode d'insertion construit les tournées de manière séquentielle. Partant de la tournée

constituée par le sommet non desservi le plus éloigné du dépôt, elle consiste à insérer les sommets non inclus sur une tournée existante.

### **b) Les Méthodes à deux phases :**

Les méthodes à deux phases se répartissent en deux classes d'algorithmes suivant l'ordre dans lequel les deux phases sont effectuées :

- Les algorithmes de partition d'abord puis de parcours
- Les algorithmes de parcours d'abord puis de partition.

Dans la première catégorie se trouvent des méthodes très connues telles que l'algorithme de balayage et les algorithmes de pétales.

- **L'algorithme de balayage (sweep) :** (GUIBADJ, 2014) repose sur l'hypothèse qu'à chaque sommet du graphe sont associées des coordonnées polaires définies en prenant le dépôt pour origine et un sommet choisi de façon quelconque. Les sommets sont ensuite classés par coordonnée angulaire croissante. Partant du sommet de la plus petite coordonnée angulaire non affectée, les sommets sont inclus successivement dans le groupe courant tant que les contraintes sont vérifiées. Lorsqu'une des contraintes est violée, la constitution du groupe est stoppée et l'on passe à l'élaboration du groupe suivant. Le processus est répété jusqu'à ce que tous les sommets soient inclus dans un groupe. Les groupes de sommets étant formés, un TSP est ensuite résolu pour chacun d'eux.

Si la satisfaction des contraintes de capacité peut se faire aisément lors de l'inclusion d'un sommet dans un groupe, celle portant sur la longueur de la tournée ou sur les fenêtres de temps nécessite la résolution d'un problème du voyageur de commerce (TSP) lors de chaque insertion.

- **Les algorithmes de pétales :** Les algorithmes de pétales sont les extensions de l'algorithme de balayage. Ils consistent à générer un sous-ensemble de  $T$  tournées (appelées pétales) a priori intéressantes puis à résoudre le modèle de partition d'ensemble restreint à ces tournées. La meilleure méthode de ce type pour le VRP est la méthode 2-pétales proposée par. Elle consiste à générer non seulement des tournées

individuelles mais également des blocs de deux tournées qui, soit s'entrecroisent, soit sont incluses l'une dans l'autre (HARBAOUI, 2010).

Pour la deuxième catégorie et parmi les algorithmes de parcours d'abord puis de partition, cette approche proposée par (Beasley 1983) pour le VRP consiste à résoudre dans un premier temps un tour TSP en omettant les contraintes, puis à déterminer une partition optimale de ce tour en y intégrant les contraintes. Cette dernière est obtenue en résolvant un problème de plus court chemin dans un graphe sans cycle.

### **c) Méthodes d'améliorations :**

Deux classes de méthodes d'amélioration ou de recherche locale pour le VRP peuvent être distinguées. La première comprend les méthodes qui essaient d'améliorer individuellement chacune des tournées.

La seconde inclut des heuristiques d'amélioration de la solution courante en modifiant plusieurs tournées simultanément. Elles sont typiquement basées sur la définition d'un mécanisme d'échange d'arêtes ou d'arcs entre tournées (GUIBADJ,2014).

### **4.2.2. Les métaheuristiques :**

Les métaheuristiques peuvent être vues comme des heuristiques puissantes et évoluées dans la mesure où elles sont généralisables à plusieurs problèmes d'optimisation. Les métaheuristiques sont habituellement classées en fonction du nombre de solutions qu'elles manipulent : les métaheuristiques à solution unique telles que la recherche tabou et le recuit simulé ; et les métaheuristiques à population de solutions telles que les algorithmes génétiques et les colonies de fourmis (MARSI, 2015).

#### **a) Les métaheuristiques à solution unique :**

Les méthodes itératives à solution unique sont toutes basées sur un algorithme de recherche de voisinage qui commence avec une solution initiale, puis l'améliore pas à pas en choisissant une nouvelle solution dans son voisinage.

Nous présenterons ici les méthodes les plus utilisées : le recuit simulé et la recherche tabou.

○ **La recherche tabou :**

La recherche tabou est une méthode de recherche locale combinée avec un ensemble de techniques permettant d'éviter d'être piégé dans un minimum local ou la répétition d'un cycle. Cette méthode a montré une grande efficacité pour la résolution des problèmes d'optimisation difficiles. En effet, à partir d'une solution initiale  $s$  dans un ensemble de solutions local  $S$ , des sous-ensembles de solution  $N(s)$  appartenant au voisinage  $S$  sont générés. Par l'intermédiaire de la fonction d'évaluation nous retenons la solution qui améliore la valeur de  $f$ , choisie parmi l'ensemble de solutions voisines  $N(s)$ . L'algorithme accepte parfois des solutions qui n'améliorent pas toujours la solution courante. Nous mettons en œuvre une liste tabou (tabu list)  $T$  de longueur  $k$  contenant les  $k$  dernières solutions visitées, ce qui ne donne pas la possibilité à une solution déjà trouvée d'être acceptée et stockée dans la liste tabou. Alors le choix de la prochaine solution est effectué sur un ensemble des solutions voisines en dehors des éléments de cette liste tabou. Quand le nombre  $k$  est atteint, chaque nouvelle solution sélectionnée remplace la plus ancienne dans la liste. La construction de la liste tabou est basée sur le principe FIFO, c'est-à-dire le premier entré est le premier sorti. Comme critère d'arrêt on peut par exemple fixer un nombre maximum d'itérations sans amélioration de  $s^*$ , ou bien fixer un temps limite après lequel la recherche doit s'arrêter (ZUZANA, 2017).

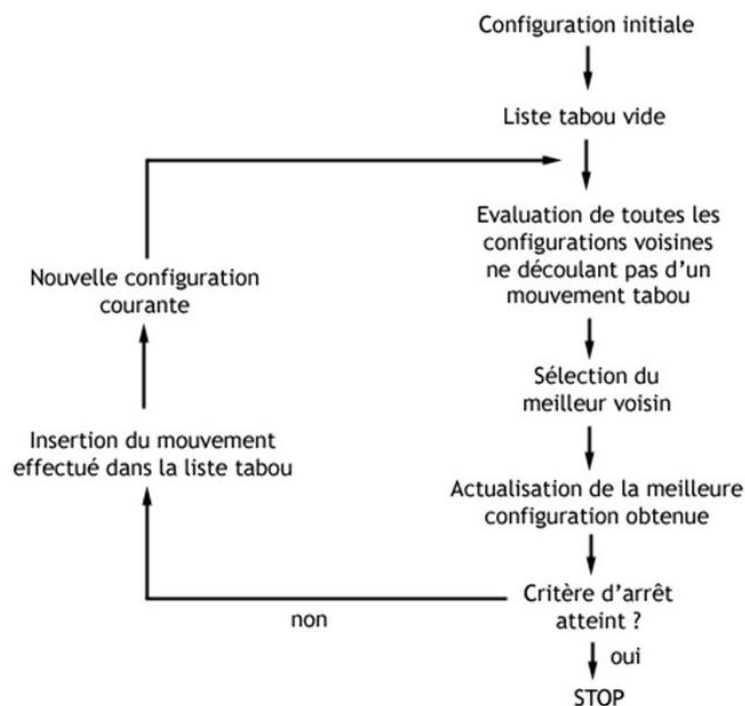


Figure 19 : Fonctionnement de l'algorithme de la recherche tabou

○ **Le recuit simulé :**

Le recuit simulé a été introduit (Cerný 1985) comme une méthode de recherche locale normale, utilisant une stratégie pour éviter les minima locaux. Cette métaheuristique est basée sur une technique utilisée depuis longtemps par les métallurgistes qui, pour obtenir un alliage sans défaut, faisant alterner les cycles de réchauffage (ou de recuit) et de refroidissement lent des métaux.

Le principe du recuit simulé est de parcourir de manière itérative l'espace des solutions. On part avec une solution notée  $s_0$  initialement générée de manière aléatoire dont correspond une énergie initiale  $E_0$ , et une température initiale  $T_0$  généralement élevée. A chaque itération de l'algorithme, un changement élémentaire est effectué sur la solution, cette modification fait varier l'énergie du système  $\Delta E$ . Si cette variation est négative (la nouvelle solution améliore la fonction objective, et permet de diminuer l'énergie du système), elle est acceptée. Si la solution trouvée est moins bonne que la précédente alors elle sera acceptée avec une probabilité  $P$  calculée suivant la distribution de Boltzmann suivante :

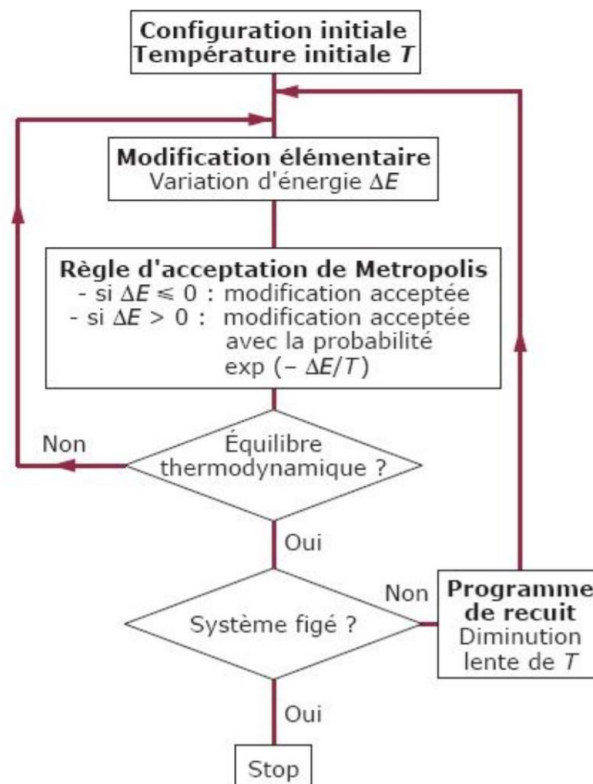


Figure 20 : Fonctionnement de l'algorithme de recuit simulé

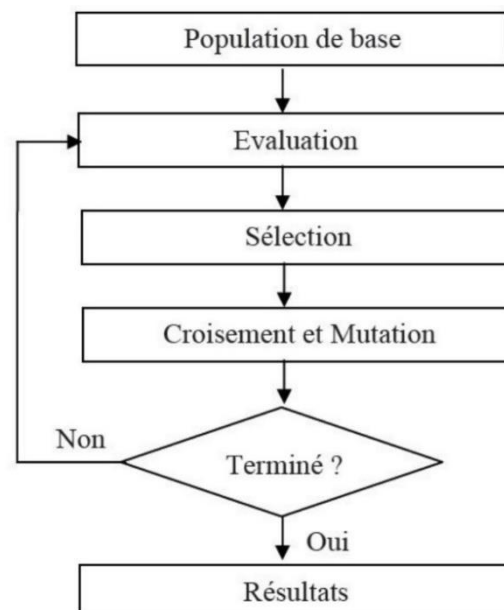
**b) Les métaheuristiques à population de solutions :**



Les méta-heuristiques à base de population de solutions débutent la recherche avec une panoplie de solutions. Elles s'appliquent sur un ensemble de solutions afin d'en extraire la meilleure (l'optimum global) qui représentera la solution du problème traité. L'idée d'utiliser un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution renforce la diversité de la recherche et augmente la possibilité d'émergence de solutions de bonne qualité. Une grande variété de méthodes basées sur une population de solutions a été proposée dans la littérature, Dans ce qui suit on va présenter les algorithmes génétiques et les colonies de fourmis (MOUSSA, 2015).

### ○ Les algorithmes génétiques :

Les algorithmes génétiques (AG) sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique (PATRICK, 1999).



**Figure 21 : Fonctionnement des algorithmes génétiques**

- Le codage des données : Cette étape associe à chaque point de l'espace de recherche une structure de données spécifique, appelée génotype ou ensemble de chromosomes, qui caractérisera chaque individu de la population.
- Génération de la population initiale : La génération de la population initiale, c'est-à-dire le choix des dispositifs de départ que nous allons faire évoluer, ce choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme.

- Fonction d'adaptation (Fitness) : L'évaluation de la Fitness est généralement l'étape dans laquelle on mesure la performance de chaque individu. Pour pouvoir juger la qualité d'un individu et ainsi le comparer aux autres, il faut établir une mesure commune d'évaluation.
  - Sélection : La sélection permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais, pendant le passage d'une génération à une autre, ce processus est basé sur la performance de l'individu.
  - Croisement : L'opérateur de croisement favorise l'exploration de l'espace de recherche et enrichit la diversité de la population en manipulant la structure des chromosomes.
  - Mutation : L'opérateur de mutation est un processus où un changement mineur du code génétique appliqué à un individu pour introduire de la diversité et ainsi d'éviter de tomber dans des optimums locaux.
- **Les colonies de fourmis :**

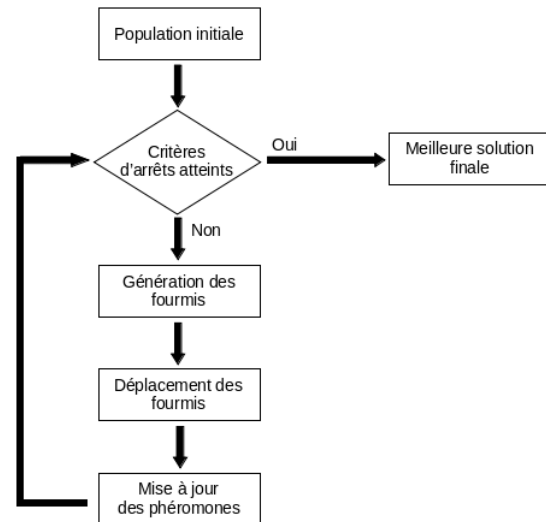
Ces algorithmes inspirés du comportement des fourmis sont proposés dans les années 90. Une colonie de fourmis ayant le choix entre deux chemins d'inégale longueur menant à une source de nourriture avait tendance à utiliser le chemin le plus court. Le modèle expliquant ce comportement est le suivant :

- Une fourmi appelée « éclaireuse » parcourt plus ou moins au hasard l'environnement autour de la colonie
- Si celle-ci découvre une source de nourriture, elle rentre plus ou moins directement au nid, en laissant sur son chemin une piste de phéromones<sup>1</sup>
- Ces phéromones sont attractives, les fourmis passant à proximité vont avoir tendance à suivre, de façon plus ou moins directe, cette piste

---

<sup>1</sup> Phéromone : Une phéromone est une substance chimique comparable aux hormones, émise par la plupart des animaux et certains végétaux, et qui agit comme un message entre les individus d'une même espèce. Ce composé sémio chimique transmet aux autres organismes des informations qui influencent la physiologie et les comportements (sexuel, maternel, agression, agrégation, pistage...).

- En revenant au nid, ces mêmes fourmis vont renforcer la piste si deux pistes sont possibles, pour atteindre la même source de nourriture, celle étant la plus courte sera, dans le même temps parcouru par plus de fourmis que la piste longue, la piste courte sera donc plus renforcée et donc de plus en plus attractive, la piste longue finira par disparaître, les phéromones sont volatiles à terme, l'ensemble de fourmis a donc déterminé et choisi la piste la plus courte.



**Figure 22: Fonctionnement des algorithmes des colonies de fourmis**

La majorité des problèmes d'optimisation combinatoire font partie de la classe NP-difficile, y compris le VRP. La complexité des problèmes rend les méthodes de résolution exactes inefficaces (la taille du domaine des solutions réalisables d'un problème croît exponentiellement avec sa taille). Vu la fréquence et récurrence de ces problèmes en pratique, les chercheurs ont été menés à développer des méthodes approchées pour résoudre ces problèmes complexes. En effet, les méthodes approchées donnent des solutions appréciables à des problèmes de complexité importante en un temps raisonnable.

Comme présenté dans la figure 23, les méthodes exactes fournissent une solution optimale au prix d'un effort de calcul souvent important. Les méthodes approchées cherchent à approcher une solution optimale, autrement dit, elles se contentent d'obtenir des solutions aussi bonnes que possible dans un laps de temps raisonnable mais ne garantissent pas leur optimalité.

Toutes les méthodes de résolution présentent des points forts (avantages) et au moins un inconvénient. Donc le choix de la méthode de résolution dépend fortement de la complexité du

problème et la variante de VRP étudiée. Pour cela on présente dans ce qui suit les variantes du VRP.

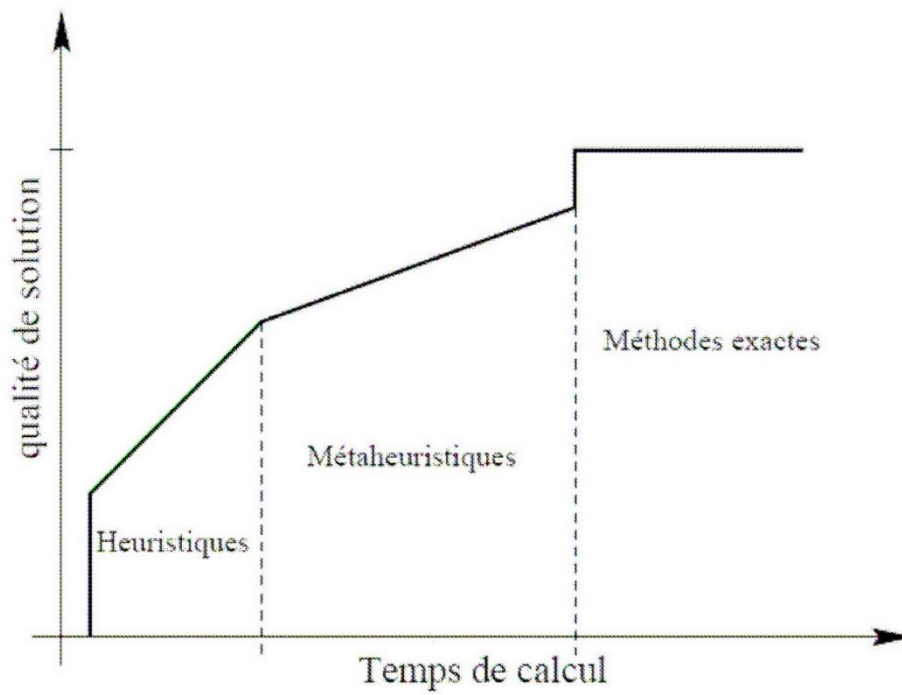


Figure 23 : Compromis entre le temps de calcul et la qualité de la solution (thèse, CADET, 2003, page 16)

### 5. Les variantes du VRP :

La variation des paramètres du VRP, la suppression et/ou l'ajout ou bien la combinaison de contraintes du VRP classique permettent de définir un ensemble de variantes du VRP.

Le tableau suivant résume les différents paramètres que nous pouvons rencontrer lors de l'étude d'un VRP (Akli, page 33).

Paramètre	Options possibles
Taille de parc de véhicule	Un seul véhicule
	Plusieurs véhicules
Types de véhicule	Homogène
	Hétérogène
Emplacement des véhicules	Un seul dépôt
	Plusieurs dépôts
Nature des demandes des nœuds	Demande déterministe
	Demande stochastique
	Satisfaction partielle de la demande
Emplacement des demandes	Aux nœuds
	Aux arcs
	Aux arcs et aux nœuds
Restriction de capacité sur les véhicules	Imposée ou identique pour toutes les tournées
	Imposée et non identiques pour toutes les tournées
	Non imposée
Longueur maximale d'une tournée	Imposée et identique pour toutes les tournées
	Imposée et non identique pour toutes les tournées
	Non déterminée
Temps maximal d'une tournée	Imposée et identiques pour toutes les tournées
	Imposée et non identique pour toutes les tournées

	Non déterminée
Type de service	Un seul type
	Plusieurs mais uniques pour un type de véhicule
	Plusieurs pour un même véhicule
Contraintes horaires de service	Imposées et préfixées
	Spécifiées d'un intervalle à un nœuds
	Non spécifiées
Distance entre nœuds	Euclidienne
	Non euclidienne
	La même quel que soit la direction (symétrique)
	Différente (asymétrique)
Type de client	Dépendant
	Indépendant
Capacité de véhicule	Statique
	Dynamique
Demande des clients	Statique
	Dynamique

**Tableau 1 : Variantes du problème de tournée de véhicules et ses contraintes**

De même, l'objectif considéré peut différer. La minimisation de la distance totale parcourue ou la minimisation du temps parcours sont les objectifs les plus souvent considérés. Mais on peut rencontrer également les objectifs suivants :

- Minimisation du nombre de véhicules utilisés pour servir l'ensemble des clients ;
- Minimisation de la violation de contraintes, en particulier pour les contraintes de fenêtres de temps dites « souples » ;
- Maximisation des gains lorsque la visite de la totalité de la clientèle est impossible, un gain étant lié à la visite d'un client.

Enfin, plus récemment, les recherches s'intéressent à des versions multi-objectifs rencontrées dans des cas pratiques.

Durant des années de recherches sur le VRP d'autres dérivées de ce problème sont apparues. Ces apparitions sont dues aux activités des chercheurs qui travaillent de plus en plus sur les problèmes de transport et de distribution.

Dans ce qui suit, nous présentons une répartition des variantes du VRP selon le type de contraintes, qu'on détaillera juste après :

Type de contraintes	Variantes de VRP	Définition
VRP à Contraintes Liées à la Flotte de Véhicules	CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem)	C'est un problème de tournées de véhicules avec des contraintes de capacités. Les véhicules ont une capacité d'emport limitée.
	VRPFL (Vehicle Routing Problem with Full Truckload)	C'est un VRP avec utilisation complète de la capacité du véhicule.
	VRPHF (Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet)	Pour ce problème la flotte est composée de véhicules de types différents, qui se distinguent par la capacité, la puissance, le coût de transport, ...
	OVRP (Open Vehicle Routing Problem)	Ce problème est identique au VRP, seulement le véhicule est libre de rejoindre ou pas le dépôt après la fin de la tournée. S'il choisit de reprendre le dépôt, il doit reprendre le parcours de la tournée dans le sens inverse.
	VRPB (Vehicle Routing Problem Back)	Le VRP-B est un problème où le retour du véhicule au dépôt est exigé. Le véhicule doit rejoindre le dépôt aussitôt que le dernier client ait été

		servi sans reprendre le parcours de la tournée.
VRP à Contraintes Liées à la Demande des Clients	VRP à demande déterministe	C'est un problème fréquent pour les entreprises qui font des livraisons sur commande. En effet, le livreur connaît avant son départ du dépôt la quantité à livrer à chacun de ses clients.
	VRP à demande stochastique	Contrairement au précédent, dans le VRP à demande stochastique, le livreur ne connaît pas la quantité à livrer au client il la découvre au moment de le servir. Il estime approximativement la demande de chaque client par une fonction stochastique.
	SVRP (Split Delivery Vehicle Routing Problem)	Ce problème consiste à visiter un client plusieurs fois afin de satisfaire entièrement sa demande. Exceptionnellement pour ce problème, la demande du client peut être supérieure à la capacité du véhicule.
	VRPPD (Vehicle Routing Problem and Pick-up and Deliveries)	C'est un problème de tournées de véhicules avec collecte et livraison. Avec ce genre de problème la durée du service est comptabilisée deux fois, car on doit effectuer une collecte et une livraison ou inversement.



VRP à Contraintes Liées aux Dépôts Clients	VRPMD (Multi-Depôt Vehicle Routing Problem)	Les véhicules peuvent s'approvisionner de plusieurs dépôts.
	VRP1D (1 dépôt Vehicle Routing Problem)	Les véhicules doivent s'approvisionner d'un seul dépôt.
VRP é Contraintes Liées aux Produits	MPVRP (Problème de Tournées de Véhicule à Produits Multiples)	Une gamme de produits doit être livrée aux différents clients par chaque véhicule en une seule tournée.
	1PVRP (Problème de Tournées de Véhicule à un Seul Produit)	Un seul produit doit être livré aux différents clients par chaque véhicule en une seule tournée.
VRP à Contraintes Liées au Temps	VRPTW (Problème de tournée de véhicule avec fenêtre de temps)	Le VRPTW est un des problèmes les plus étudiés. Dans un VRPTW, de nouvelles contraintes temporelles sont ajoutées : chaque client doit être servi dans un intervalle de temps durant lequel il est disponible pour être visité.
	PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem)	Dans le problème de tournées de véhicules périodique, chaque client est périodiquement visité selon une certaine planification prédéfinie.
	VRP à temps de service stochastique	La durée du service est connue par le livreur avant d'entamer la tournée.
	VRP à temps de service déterministe	Le livreur ne connaît pas la durée du service des clients, il la découvre au moment de les servir. Il peut définir

		une fonction stochastique pour l'approximer.
Problèmes de Tournées de Véhicules Fréquents	VRP static	Le VRP Statique est un problème dont toutes les composantes sont connues, fixées avant d'entamer la moindre tournée. Ce cas est obtenu soit par une étude rigoureuse de stationnarisation de l'ensemble des paramètres soit parce que le problème modélise à l'origine un phénomène statique.
	DVRP (Dynamic Vehicle Routing Problem)	A l'opposé du VRP Statique, le VRP Dynamique a au moins une composante dynamique ou changeante au cours de son exécution. On peut avoir la demande ou la fenêtre de temps de servitude qui varient ou bien le nombre de clients à servir qui change. Dans ce cas, le problème devient plus complexe.
	SVRP (Stochastic Vehicle Routing Problem)	Le SVRP est un cas particulier des problèmes dynamiques. En effet, la variation de la composante considérée suit une loi probabiliste, donc la variation est mise sous forme d'un modèle mathématique, ce qui permet une bonne maîtrise de la variation qui facilite la résolution.

Tableau 2 : classification des variantes de VRP selon le type de contraintes

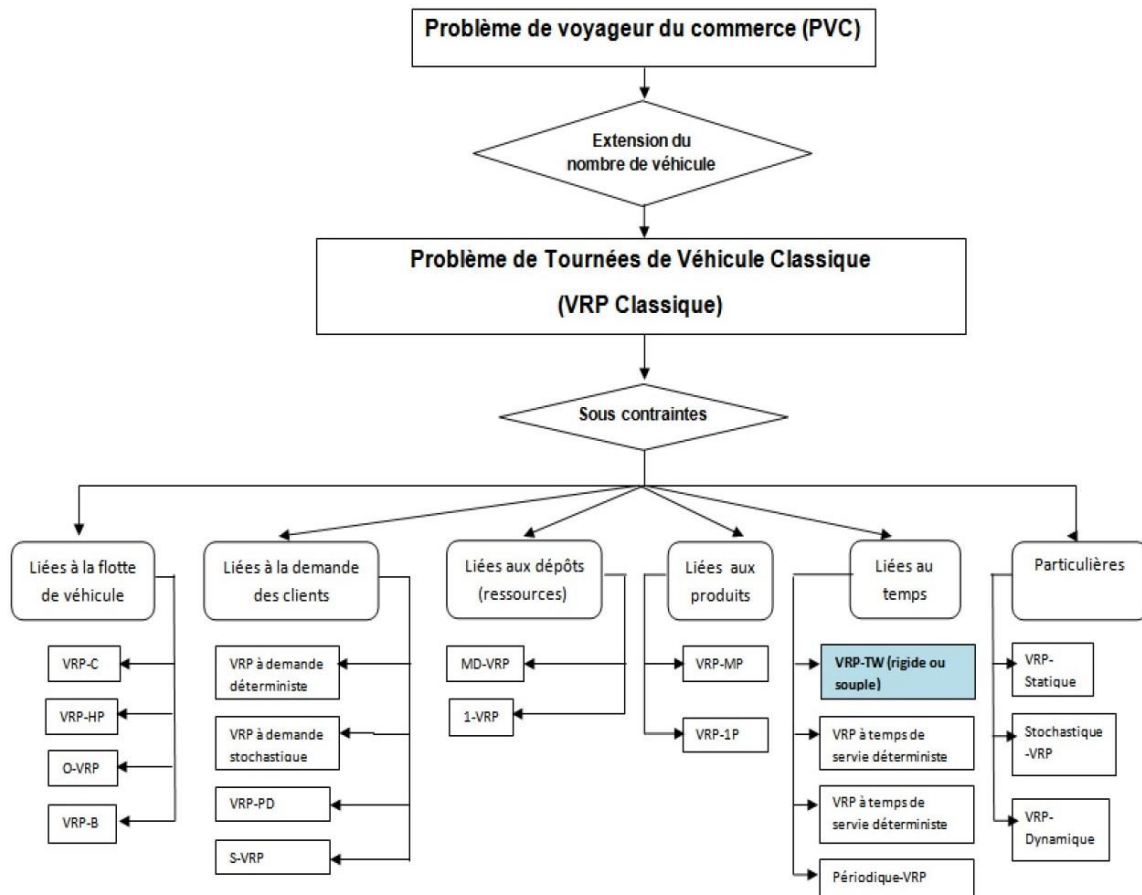


Figure 24 : représentation globale des variantes du VRP

En réalité, on peut avoir un problème avec une combinaison de contraintes. Par exemple, une contrainte de capacité et de fenêtre de temps ou une contrainte de dépôts multiples et collecte et livraison. Ce type de combinaison de contraintes rend le problème plus représentatif du phénomène réel mais plus difficile à résoudre.

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le problème du VRP. En outre de sa formulation mathématique, nous avons énuméré les différentes méthodes de sa résolution qu'elles soient exactes ou approchées. La majorité des problèmes d'optimisation combinatoire appartiennent à la classe NP-difficile. Leur résolution ne peut se faire que de manière approchée, car à ce jour, il n'existe aucun algorithme permettant leur résolution en un temps polynomial.

A la fin, nous avons présenté une synthèse des variantes du VRP afin de mieux choisir la variante adéquate pour notre cas réel présenté dans cette thèse.

# **Chapitre 3 :**

## **Adaptation des outils de résolution et expérimentation**

**Introduction :**

Ce chapitre est consacré à la réalisation et l'implémentation de la solution proposée dans le but de répondre aux besoins de l'entreprise par rapport à la problématique évoquée, notre méthodologie de travail est organisée comme suit :

Nous commençons par modéliser mathématiquement le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps.

Par la suite, nous présentons les algorithmes de résolution utilisés ; nous justifions en premier pourquoi on les a choisies et on explique leur principes et modes de fonctionnement. On analyse en dernier les résultats obtenus.

Après, nous allons présenter les jeux de tests dynamiques (les benchmarks) proposés par Solomon, que nous avons utilisés pour évaluer notre approche.

Nous clôturons par la mise en place d'un tableau de bord pour mieux piloter l'activité de transport et rendre l'outil conçu plus performant.

**1. La modélisation mathématique :****1.1. Description du problème :**

A ce stade de notre étude, nous considérons un problème de distribution de type VRP avec fenêtres de temps (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*) qui consiste à définir un ensemble de routes avec un coût minimum de manière à satisfaire la demande d'un ensemble de  $n$  clients dans la mesure où nous introduisons en plus une contrainte temporelle sur le service demandé. Chaque client dispose d'une fenêtre de temps à l'intérieur de laquelle il désire être servi. Le dépôt central possède également une fenêtre de temps que nous désignons couramment comme horizon de service ou temps d'ouverture de la journée. Son rôle est de fixer une plage horaire durant laquelle les véhicules peuvent effectuer leur tournée. Ces contraintes temporelles vont rendre nécessaire l'utilisation de plusieurs véhicules pour satisfaire l'ensemble des clients sur l'horizon de service ; c'est pourquoi une flotte de véhicules est disponible en un dépôt central noté 0 pour effectuer ces livraisons comme le montre la figure suivante :

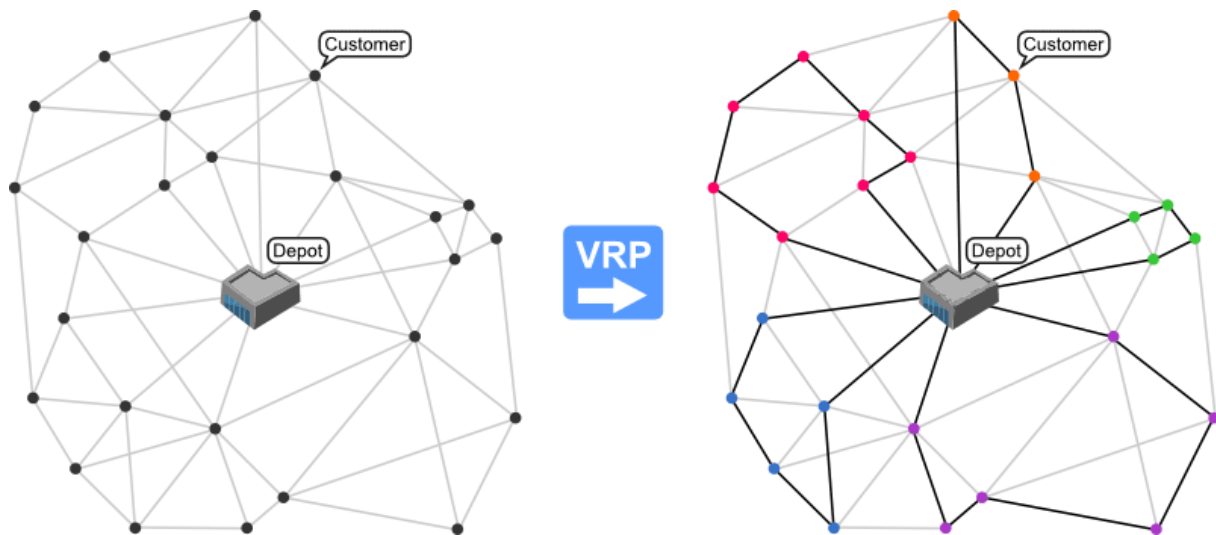


Figure 25 : schématisation d'une instance de VRP et sa solution

Trouver une solution à ce problème consiste à confectionner l'ensemble des trajets de façon à satisfaire toutes les demandes d'une part et minimiser les coûts de transport d'une autre part. Ces itinéraires construits doivent respecter certaines restrictions d'ordre temporel et social. Les contraintes temporelles concernent les heures d'ouverture et de fermeture des clients. Quant aux contraintes sociales, elles sont liées aux heures de conduite des chauffeurs, la durée de chaque tournée ne doit donc pas excéder un certain nombre d'heures (MERZAK, 2016).

### 1.2. Formulation mathématique :

Un graphe complet  $G = (N ; A)$  représente notre problème où  $N$  représente les positions des clients et du dépôt, et  $A$  représente les arcs entre deux clients  $i ; j \in N$ .

Plus spécifiquement, nous avons un ensemble  $C = \{1, \dots, n\}$  de clients qui doivent obtenir une livraison de marchandise provenant d'un seul dépôt. L'ensemble des positions de ces clients ou nœuds est défini comme l'ensemble  $N = C \cup \{0, n + 1\}$  où 0 et  $n + 1$  représentent le dépôt (aller et retour). Une demande positive de produit  $q_i$  est associée à chaque client  $i$  appartenant à  $C$ .

Une flotte de véhicules  $V = \{1, \dots, m\}$  est disponible au dépôt et chaque véhicule possède la même capacité (flotte homogène)  $Q$  telle que  $Q \geq \max q_i ; \forall i \in N$ .

Pour tous clients  $i$  et  $j$ ,  $\forall i, j \in N$ , nous connaissons le coût  $c_{ij}$  de transport direct entre  $i$  et  $j$  qui est proportionnel à la distance à parcourir.

Nous considérons également que :

- Tous les clients sont desservis d'un seul dépôt.
- Le nombre et l'emplacement des clients sont prédéfinis.
- Chaque client est visité une seule fois.
- Le nombre de véhicules disponibles est prédéterminé.
- La capacité du véhicule est définie et fixée pour toute la flotte (flotte homogène).

- La vitesse du véhicule est fixe.
- Le coût de transport de chaque véhicule dépend de la distance parcourue.
- Le réseau de transport est considéré comme symétrique, c'est-à-dire la distance  $d_{ij}=d_{ji}$

L'objectif dans ce problème est de trouver l'ensemble des tournées qui minimisent la distance totale parcourue ainsi que le cout total pour un nombre minimal de véhicules partant d'un dépôt et y retournant, nous définissons donc les variables de décisions comme suit :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Si le véhicule } k \in V \text{ visite le client } j \text{ après le client } i ; \\ 0, & \text{Sinon} \end{cases}$$

L'objectif du problème d'optimisation est de minimiser la somme des coûts de toutes les tournées, la fonction objective est donc :

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk}$$

En prenant en considération les contraintes suivantes :

- Chaque client soit desservi une et une seule fois :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq j \leq n \tag{1}$$

- Le véhicule qui arrive chez un client est le même que celui qui part de ce client (conservation de flot) :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n x_{ilk} = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ljk} \tag{2}$$

- Chaque tournée commence et se termine au dépôt :

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \tag{4}$$

- La contrainte (5) est la contrainte de capacité :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} * qi \leq Q \quad \forall 1 \leq k \leq m \tag{5}$$

- Les contraintes de binarité sur les variables de décision  $x_{ijk}$ .

$$x_{ijk} \in (0,1) \quad \forall 0 \leq i, j \leq n; \quad 1 \leq k \leq m \tag{6}$$

La fonction de coût euclidien de la solution  $X = ( x_{ijk} ) \forall i, j \in N$  et  $\forall k \in V$  est définie par :

$$\text{coût}(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk}$$

Le nombre de véhicules utilisés par la solution  $X$ , est défini par :

$$\text{Nb véhicules}(X) = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{0jk}$$

Les deux fonctions (cout et Nb véhicules) sont des fonctions de mesure qui permettent respectivement de quantifier la solution selon la distance totale parcourue, ainsi que le nombre de véhicules utilisés.

En plus de sa localisation et sa demande, chaque client  $i$  est caractérisé par l'intervalle de temps  $\{e_i, l_i\}$  pendant lequel il peut être visité. La durée du déchargement est supposée constante pour tous les clients.

Pour introduire les contraintes sur les fenêtres de temps, on définit les variables, les constantes et les équations suivantes :

Variables à déterminer :

- $a_i$  = instant d'arrivée chez le client  $i \in C$ .
- $b_i$  = instant de début de service chez le client  $i \in C$ .
- $b_{0k}$  = instant auquel le véhicule  $k$  quitte le dépôt.
- $b_{n+1, k}$  = instant auquel le véhicule  $k$  retourne au dépôt.
- $w_i$  = temps d'attente chez le client  $i \in C$ .

Constantes connues :

- $e_i$  = borne inférieure de la fenêtre de temps du client  $i \in C$ .
- $l_i$  = borne supérieure de la fenêtre de temps du client  $i \in C$ .
- $c_{ij}$  = coût du déplacement de  $i$  à  $j$  :  $i, j \in C$ .
- $t_{ij}$  = le temps de parcours entre les deux clients  $i$  et  $j$ ,  $i, j \in C$ .
- $s_i$  = temps de service chez le client  $i \in C$ .

L'attente est permise lorsqu'un véhicule arrive trop tôt chez le client  $j$  après que le service soit fini chez le client  $i \in C$ , autrement dit, avant  $e_j$ .



Le temps auquel le service débute chez le client  $j \in C$  se définit comme étant  $b_j = \max \{e_j ; a_j\}$  où  $a_j = \{b_i + s_i + t_{ij}\}$  et le temps d'attente chez le client  $j$  comme étant  $w_j = b_j - a_j$ .

Il nous est possible d'écrire les contraintes temporelles supplémentaires de la formulation de VRP pour formuler le problème VRPTW comme suivantes :

$$x_{ijk} = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{ij} \leq b_j, \forall i, j \in C, k \in V \quad (7)$$

$$x_{0jk} = 1 \Rightarrow b_{0k} + t_{0j} \leq b_j, \forall j \in C, k \in V \quad (8)$$

$$x_{i,n+1,k} = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{i,n+1} \leq b_{n+1,k} \quad \forall i \in C, k \in V \quad (9)$$

$$e_i \leq b_i \leq l_i ; \forall i \in C \quad (10)$$

$$e_0 \leq b_{0,k} \leq l_0 ; \forall k \in V \quad (11)$$

$$e_{n+1} \leq b_{n+1,k} \leq l_{n+1} ; \forall k \in V \quad (12)$$

Le temps d'utilisation réel des véhicules dans la solution ( $X$ ) est :

$$\text{temps horaire}(X) = \sum_{k=1}^m (b_{n+1,k} - b_{0,k})$$

La modélisation mathématique de notre problématique est représentée par le modèle suivant :

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \\
 & \text{sous contraintes :} \\
 & \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq j \leq n \quad (1) \\
 & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n x_{ilk} = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ljk} \quad (2) \\
 & \sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (3) \\
 & \sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (4) \\
 & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} * q_i \leq Q \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (5) \\
 & x_{ijk} = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{ij} \leq b_j, \quad \forall i, j \in C, k \in V \quad (6) \\
 & x_{0jk} = 1 \Rightarrow b_{0k} + t_{0j} \leq b_j, \quad \forall j \in C, k \in V \quad (7) \\
 & x_{i,n+1,k} = 1 \Rightarrow b_i + s_i + t_{i,n+1} \leq b_{n+1,k} \quad \forall i \in C, k \in V \quad (8) \\
 & e_i \leq b_i \leq l_i \quad \forall i \in C \quad (9) \\
 & e_0 \leq b_{0,k} \leq l_0 \quad \forall k \in V \quad (10) \\
 & e_{n+1} \leq b_{n+1,k} \leq l_{n+1} \quad \forall k \in V \quad (11) \\
 & x_{ijk} \in (0,1) \quad \forall 0 \leq i, j \leq n; \quad 1 \leq k \leq m \quad (12)
 \end{aligned}$$

### 1.3.Complexité du problème :

Le Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtre de Temps (Vehicle Routing Problem with Time Windows - VRPTW) constitue une généralisation du VRP. Bien que simple en apparence, ce problème est notablement très difficile à résoudre. En fait, il a été montré que le problème VRP classique était NP-difficile, c'est-à-dire qu'il n'existe pas à ce jour un algorithme déterministe pouvant résoudre ce problème en temps polynomial ; et ce résultat pouvait être

étendu au VRPTW. Ainsi, s'il est tout à fait possible de déterminer une solution optimale pour des instances de petite taille, cela devient rapidement irréalisable pour des instances de moyenne ou de grande taille.

#### **1.4.Vérification et Validation du modèle :**

##### **a) Principe :**

Pour rendre une résolution de problème d'optimisation crédible, la vérification et la validation du modèle mathématique utilisé comme base de la simulation sont primordiales : il s'agit d'une procédure exclusivement mathématique qui permet d'étudier la qualité de la résolution numérique par un simple déroulement ayant pour but de voir si la solution affichée est réalisable ou nécessite d'être modifiée pour que le résultat soit significatif et répond d'une manière optimale à la problématique. Cela revient à voir si les notions de programme sont correctes et est-ce que le modèle représente bien la réalité.

La procédure se fait généralement par deux moyens : la relaxation du modèle, en remplaçant une contrainte stricte en contrainte moins stricte, voire à la supprimer ; ou encore en imposant des conditions aux limites en fonction de la formulation du problème, du nombre de variables, et complexité du problème.

Pour le cas d'un modèle de VRPTW, il est plus judicieux d'intervenir sur les fenêtres de temps, qui peuvent être rigide quand le service doit impérativement être effectué dans la fenêtre de temps ; ou encore relâché quand le retard ou l'avance engendre uniquement une pénalité.

Pour notre test de validation, nous avons relâché les contraintes sur les fenêtres de temps, cela revient à supposer que tous les clients peuvent être servi durant l'intervalle de disponibilité de véhicule de livraison, avec des fenêtres plutôt souples et un horizon de service considérable.

##### **b) Présentation de l'outil de vérification et validation de modèle :**

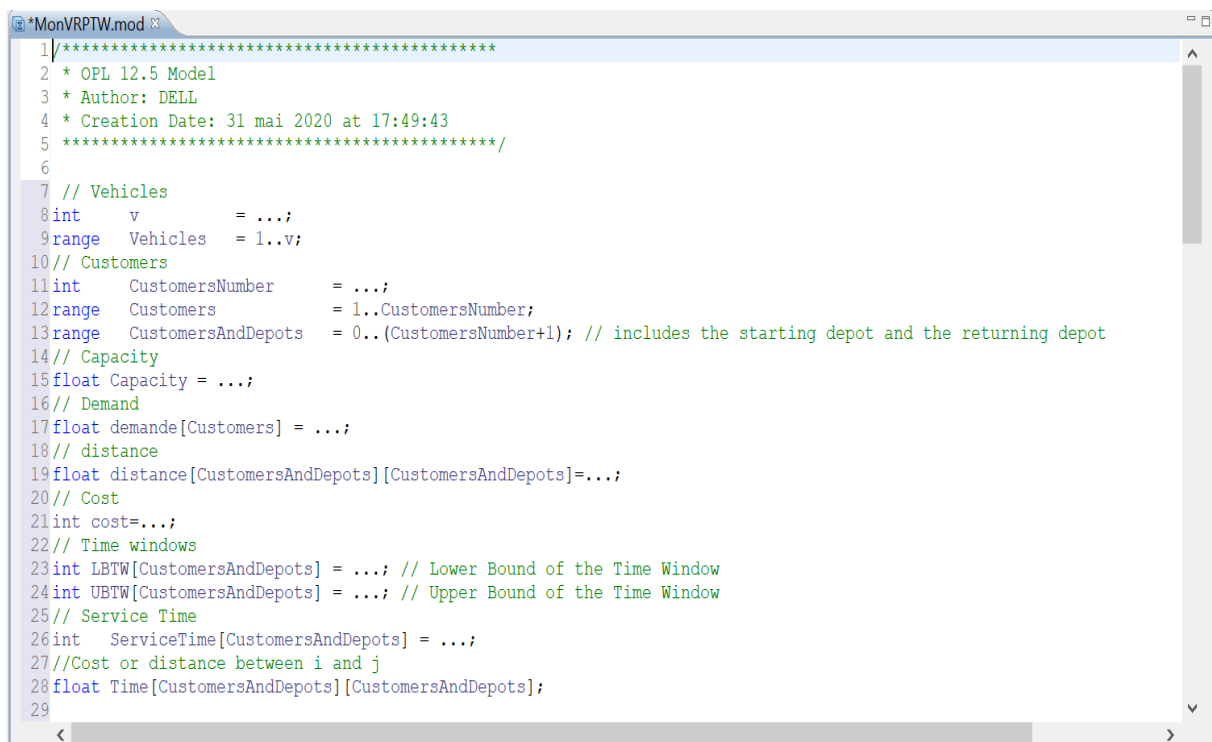
IBM ILOG CPLEX Optimization Studio regroupe un ensemble d'outils pour la programmation mathématique et la programmation par contraintes. Il associe :

- Un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment - IDE) nommé Cplex Studio IDE (sous Windows) ou oplide (sous Linux),
- Un langage de modélisation : le langage OPL (Optimization Programming Language),
- Deux solveurs : IBM ILOG CPLEX pour la programmation mathématique (résolution de programmes linéaires en nombres fractionnaires, mixtes ou entiers et de programmes quadratiques) et IBM ILOG CP Optimizer pour la programmation par contraintes

Le langage utilisé dans Cplex Studio IDE est OPL (Optimization Programming Language). Il s'agit d'un langage de modélisation qui permet d'écrire facilement des programmes linéaires (ou quadratiques) grâce à une syntaxe proche de la formulation mathématique. Par ailleurs OPL offre à l'utilisateur la possibilité de séparer le modèle des données, de ce fait un même modèle peut être facilement testé avec différents jeux de données.

### c) Modélisation sous CPLEX et résultat de test :

Le modèle implémenté sous CPLEX ainsi que le résultat obtenu sont montrés dans les figures suivantes :

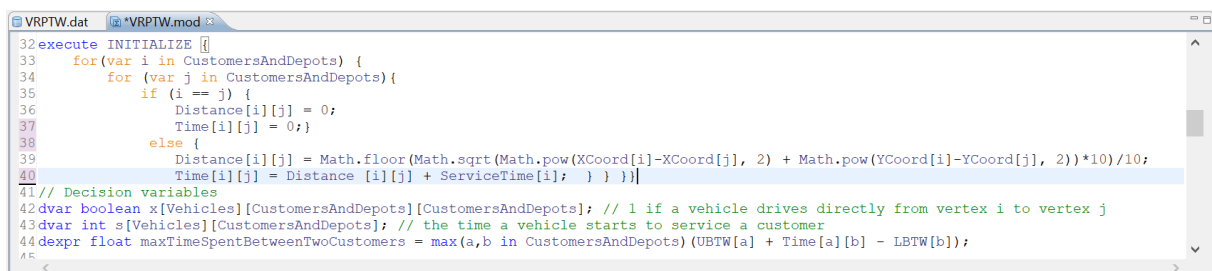


```

1|*****
2| * OPL 12.5 Model
3| * Author: DELL
4| * Creation Date: 31 mai 2020 at 17:49:43
5| *****/
6|
7| // Vehicles
8| int v = ...;
9| range Vehicles = 1..v;
10| // Customers
11| int CustomersNumber = ...;
12| range Customers = 1..CustomersNumber;
13| range CustomersAndDepots = 0..(CustomersNumber+1); // includes the starting depot and the returning depot
14| // Capacity
15| float Capacity = ...;
16| // Demand
17| float demande[Customers] = ...;
18| // distance
19| float distance[CustomersAndDepots][CustomersAndDepots]=...;
20| // Cost
21| int cost=...;
22| // Time windows
23| int LBTW[CustomersAndDepots] = ...; // Lower Bound of the Time Window
24| int UBTW[CustomersAndDepots] = ...; // Upper Bound of the Time Window
25| // Service Time
26| int ServiceTime[CustomersAndDepots] = ...;
27| //Cost or distance between i and j
28| float Time[CustomersAndDepots][CustomersAndDepots];
29|

```

Figure 26 : déclaration des paramètres du modèle



```

32 execute INITIALIZE {
33   for(var i in CustomersAndDepots) {
34     for (var j in CustomersAndDepots){
35       if (i == j) {
36         Distance[i][j] = 0;
37         Time[i][j] = 0;
38       }
39       else {
40         Distance[i][j] = Math.floor(Math.sqrt(Math.pow(XCoord[i]-XCoord[j], 2) + Math.pow(YCoord[i]-YCoord[j], 2))*10)/10;
41         Time[i][j] = Distance [i][j] + ServiceTime[i, j] );
42 // Decision variables
43 dvar boolean x[Vehicles][CustomersAndDepots][CustomersAndDepots]; // 1 if a vehicle drives directly from vertex i to vertex j
44 dvar int s[Vehicles][CustomersAndDepots]; // the time a vehicle starts to service a customer
45 dexpr float maxTimeSpentBetweenTwoCustomers = max(a, b in CustomersAndDepots) (UBTW[a] + Time[a][b] - LBTW[b]);
46

```

Figure 27 : procédure d'initialisation des paramètres et déclaration des variables de décision

```

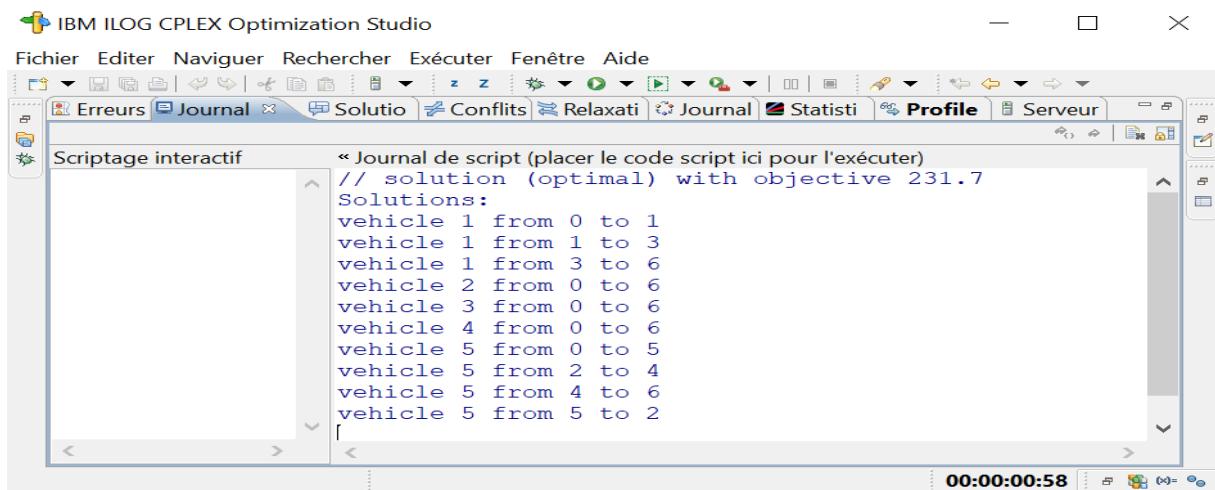
58/*****
59 * MODEL
60 *****/
61 minimize sum(k in Vehicles, i,j in CustomersAndDepots) (distance[i][j]*x[k][i][j]);
62
63 subject to {
64 //C1: a zero diagonal
65 forall(i in CustomersAndDepots, k in Vehicles) x[k][i][i] == 0;
66 //C2: Each customer is visited exactly once
67 forall (i in Customers)sum(k in Vehicles, j in CustomersAndDepots) x[k][i][j] == 1;
68 //C3: A vehicle can only be loaded up to it's capacity
69 forall(k in Vehicles)sum(i in Customers, j in CustomersAndDepots) (demande[i] * x[k][i][j]) <= Capacity;
70 //C4: Each vehicle must leave the depot 0
71 forall(k in Vehicles)sum (j in CustomersAndDepots)x[k][0][j] == 1;
72 //C5: After a vehicle arrives at a customer it has to leave for another destination
73 forall(h in Customers, k in Vehicles)sum(i in CustomersAndDepots)x[k][i][h] - sum(j in CustomersAndDepots)x[k][h][j] == 0;
74 //C6: All vehicles must arrive at the depot n + 1
75 forall(k in Vehicles)sum (i in CustomersAndDepots) x[k][i][CustomersNumber+1] == 1;
76 //C7: The time windows are observed
77 forall(i in CustomersAndDepots, k in Vehicles) LBTW[i] <= s[k][i] <= UBTW[i];
78 //C8: From depot departs a number of vehicles equal to or smaller than v
79 forall(k in Vehicles, j in CustomersAndDepots)sum (k in Vehicles, j in CustomersAndDepots) x[k][0][j] <= v;
80 // C9: Vehicle departure time from a customer and its immediate successor
81 forall(i,j in CustomersAndDepots, k in Vehicles)s[k][i] + Time[i][j] - maxTimeSpentBetweenTwoCustomers*(1 - x[k][i][j]) <= s[k][j];
82};
83
84execute DISPLAY {
85 writeln("Solutions: ");
86 for(var k in Vehicles)
87     for(var i in CustomersAndDepots)
88         for (var j in CustomersAndDepots)
89             if(x[k][i][j] == 1)
90                 writeln("vehicle ", k, " from ", i, " to ", j);
91}

```

Figure 28 : les contraintes d'optimisation et boucle d'affichage de résultats

#### d) Résultats de test :

Pour un échantillon de taille réduite, comportant 6 clients numérotés de 1 à 5, à chacun est attribuée une demande exprimée en tonne, devant être satisfaite par l'un des 5 véhicules à capacité homogène, le dépôt est d'indice 0 pour le départ et d'indice 6 pour le retour. Le résultat obtenu est le suivant :



```

« Journal de script (placer le code script ici pour l'exécuter)
// solution (optimal) with objective 231.7
Solutions:
vehicle 1 from 0 to 1
vehicle 1 from 1 to 3
vehicle 1 from 3 to 6
vehicle 2 from 0 to 6
vehicle 3 from 0 to 6
vehicle 4 from 0 to 6
vehicle 5 from 0 to 5
vehicle 5 from 2 to 4
vehicle 5 from 4 to 6
vehicle 5 from 5 to 2

```

Figure 29 : résultat obtenu lors de l'exécution du programme

CPLEX propose un résultat optimal avec une fonction objective de 231,7 Um, employant 2 véhicules parmi 5, en un temps d'exécution de moins d'une seconde, toutes les contraintes ont été satisfaites, De ce fait, nous pouvons affirmer que le modèle mathématique est vérifié.

## **2. La résolution du modèle mathématique :**

### **2.1.Choix de la méthode de la résolution :**

De nombreux travaux dans la littérature ont été proposés pour résoudre le VRPTW qui fait l'objet de notre étude, et étant donné que ce dernier est de complexité NP difficile, on a privilégié l'utilisation des méthodes de résolution approchées, en l'occurrence les métaheuristiques. Ce choix est justifié par le fait que ces dernières sont réputées pour leur excellent niveau de performances, elles ont été développées pour le même but que les heuristiques : obtenir des résultats convenables en un temps acceptable, toutefois, ces dernières sont intrinsèquement plus puissantes, peuvent opérer dans des espaces de recherche extrêmement vastes et offrent une qualité de résultats bien supérieure aux autres approches.

Dans notre méthodologie de résolution, nous allons proposer deux solutions basées sur les algorithmes génétiques (AG) et les algorithmes de colonies de fourmis (ACO) ; nous avons opté pour ces deux types de métaheuristiques pour les raisons suivantes :

#### **❖ Les algorithmes génétiques :**

- Ils donnent des résultats convenables en un temps acceptable et leur implémentation est relativement simple.
- Ils traitent des espaces de recherche important (beaucoup de solution, pas de parcours exhaustif à envisager), et permettent d'éliminer les solutions non valides.
- Principalement basées sur des informations statiques, ce qui est le cas pour notre problématique.

#### **❖ Colonies de fourmis :**

- La popularité de cette métaheuristique est due d'une part à la facilité de la mise en œuvre et d'autre part à la complexité des fonctions réalisables.
- Les résultats obtenus dans les dernières recherches montrent la performance de l'algorithme.
- Dans le cas où le graphe étudié peut changer dynamiquement au cours de l'exécution la colonie de fourmis s'adaptera de façon relativement flexible aux changements. Ceci semble être intéressant pour le routage réseau.
- L'utilisation de l'optimisation multi-objective simultanément permet d'assurer la rapidité et la performance de la solution.
- Tous les objectifs sont pris en compte ce qui implique que la solution finale n'est pas un seul optimum mais un ensemble complet de solutions optimales, c'est-à-dire un ensemble de solutions où aucune solution ne peut être améliorée dans n'importe quel objectif sans endommager d'autres objectifs.

## 2.2.Première solution : L'algorithme génétique (AG) :

Le principe des algorithmes génétiques a été brièvement abordé en chapitre 2, on le détaillera dans ce qui suit en expliquant notre méthodologie de travail.

Dans un premier temps, on va créer une population initiale en respectant les contraintes du problème VRPTW, on va évaluer les performances des chromosomes puis une partie d'entre eux est sélectionnée pour être recombinaisonnée (croisement). Les nouveaux individus ainsi créés remplaceront une partie de la population initiale après mutation de certains d'entre eux, les chromosomes enfants générés par l'étape de reproduction sont évalués, les meilleurs sont sélectionnés pour construire une nouvelle génération, qui à son tour si elle n'est pas optimale subira une deuxième sélection (circuit en boucle) comme le montre la figure suivante :

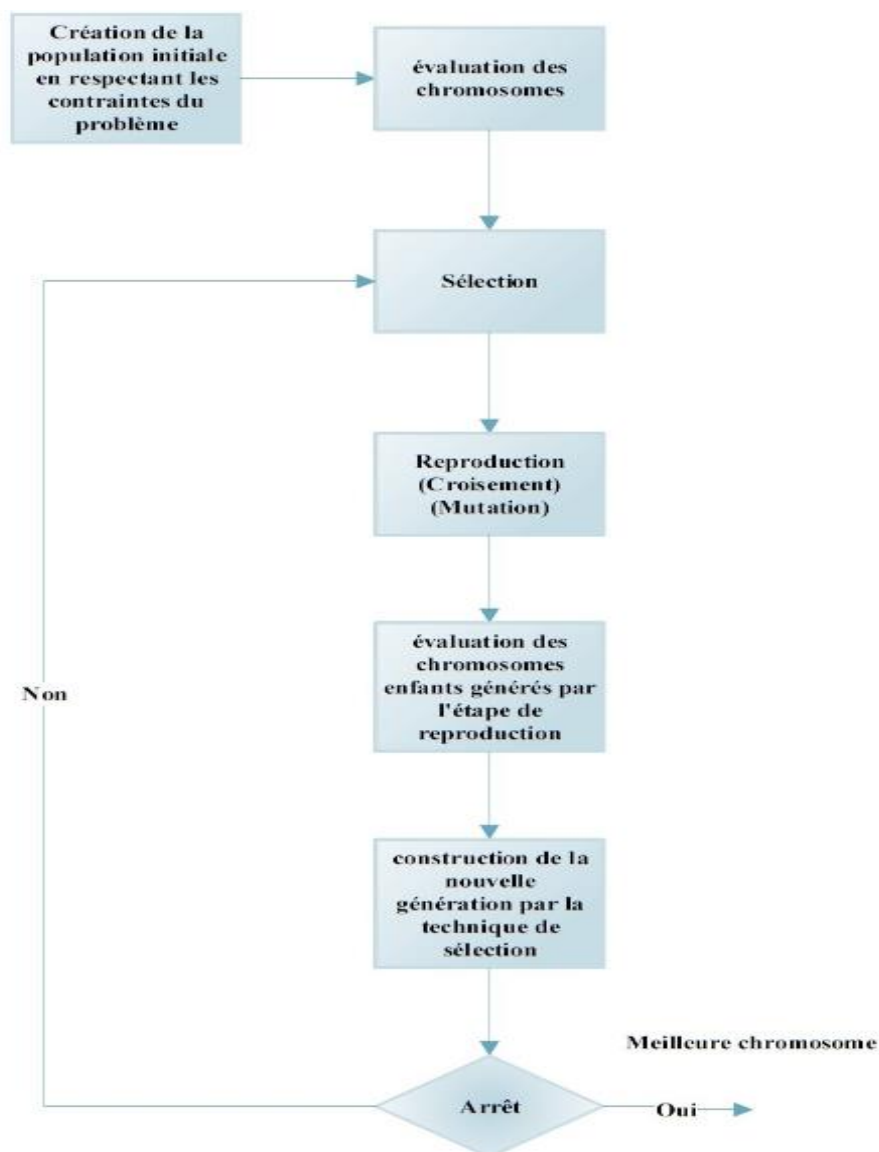


Figure 30 : schématisation de la procédure de travail

Notre démarche en approche génétique s'est déroulée comme suit :

**Etape 1 : La construction d'une population initiale :** C'est l'étape de départ de l'algorithme, généralement créée de façon aléatoire en plaçant les individus initiaux de façon uniforme dans l'espace de recherche. Une partie de ces individus peut être construite en utilisant des méthodes heuristiques simples pour obtenir des individus de bonne qualité, cela permet d'accroître la vitesse de convergence, mais empêche l'algorithme de se focaliser sur une autre partie de l'espace de recherche qui pourrait contenir l'optimum. Dans notre approche nous avons choisi de générer aléatoirement la population initiale que nous allons coder par la suite.

Le codage permet de représenter les solutions sous forme de chromosomes. Un chromosome est une suite (permutation) de nœuds, qui indique l'ordre dans lequel un véhicule doit visiter tous les nœuds. Le codage que nous avons utilisé est de type « codage par liste de permutation ». La figure suivante illustre son principe tel que l'indice 0 représente le dépôt et le reste des indices représentent les clients à servir.

Position	Dépôt	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>	Dépôt
Nœud	0	8	2	3	1	4	6	0

**Tableau 3 : Codage par liste de permutation**

**Etape 2 : évaluation des chromosomes :** Pour évaluer la qualité d'une solution, c'est-à-dire calculer le fitness d'un chromosome, il faut au préalable décoder le chromosome pour obtenir la solution correspondante. Le décodage permet, à partir de chaque chromosome de la population, d'obtenir une solution initiale indiquant le passage de chaque véhicule sur les nœuds correspondants.

Véhicule	Début	1 <sup>ère</sup> position	2 <sup>ème</sup> position	3 <sup>ème</sup> position	Retour au dépôt
V <sub>1</sub>	0	2	7	9	0
V <sub>2</sub>	0	1	5	8	0
V <sub>3</sub>	0	3	6	6	0

**Tableau 4 : Ordre de passage des véhicules**

Nous avons utilisé une heuristique d'insertion simple pour le décodage en un temps réduit, son algorithme est le suivant :



Liste : la liste des clients issue du chromosome à décoder

Tournées : l'ensemble des tournées contenant les clients déjà servis

Nb Véhicules : le nombre des véhicules

### **Début**

Solution = Tournées

**Tant que** Liste n'est pas vide **faire**

#### **Répéter**

$v = 0$  ;

$v_{\min} = v$  ;

$c$  = le premier client dans Liste ;

$f_{\min}$  = le sous fitness issu de l'insertion du client  $c$  à la fin de la tournée  $v$  dans Solution

/\*Le sous fitness est la valeur de la fonction objective de la partie de Solution faite jusqu'à l'insertion du  $c^*$ \*/

$v = v + 1$  ;

**Tant que**  $v < \text{Nb Véhicules}$  **faire**

#### **Répéter**

$f$  = le sous fitness issu de l'insertion du client  $c$  à la fin de la tournée  $v$  dans Solution

**Si** ( $f < f_{\min}$ ) **faire**

$f_{\min} = f$  ;

$v_{\min} = v$  ;

#### **Fin**

$v = v + 1$  ;

### **Fin**

**Insérer** le client  $c$  à la fin de la tournée numéro  $v_{min}$  dans Solution ;

**Supprimer** le client  $c$  de Liste ;

**Fin**

Figure 31 : L'algorithme de décodage d'un chromosome

**Etape 3 : la sélection** A chaque génération, l'opérateur de sélection sert à former une population intermédiaire à la population de la génération courante  $i$ , Il existe de nombreuses techniques de sélection, nous avons choisi la plus simple, connue sous le nom de "ranking" qui consiste à classer les  $n$  chromosomes de la population par ordre croissant de leur évaluation respective. Les  $m$  premiers individus sont ensuite sélectionnés. Ainsi, seuls les meilleurs individus sont conservés.

#### Etape 4 : Reproduction :

Afin de faire évoluer la population, nous appliquons deux opérateurs génétiques : le croisement et la mutation :

- **Le croisement** : cet opérateur assure la recombinaison de gènes parentaux pour former de nouveaux descendants, L'idée est que les enfants garderont les meilleures caractéristiques de leurs parents. Pour ce faire, nous considérons  $P$  la position de croisement. Le cas suivant illustre deux chromosomes qui se croisent et s'échangent des portions « d'ADN » en un seul point  $P=2$  :

Parent 1 :

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

Enfant 1 :

1	2	8	9	10
---	---	---	---	----

Parent 2 :

6	7	8	9	10
---	---	---	---	----

Enfant 2 :

6	7	3	4	5
---	---	---	---	---

Tableau 5 : croisement à un seul point  $P=2$

La figure suivante représente l'algorithme que nous avons utilisé pour cet opérateur de croisement à un point :

$I_1, I_2$  : Individus parents ;

$I_3, I_4$  : Individus enfants ;

P : Point de croisement ;

n : Nombre de gènes par individu ;

**Début**

/\*Choisir aléatoirement une position de croisement p\*/

**Pour** i de 1 à p **faire**

I3[i] = I1[i] ;

I4[i] = I2[i] ;

**Fin**

k = p+1;

**Tant que** k < n **faire**

**Répéter** du premier gène du parent I2 **jusqu'à** n

**Si** le gène de I2 n'existe pas dans I3 **alors**

I3[k] = le gène de I2 ;

**Fin**

Passer au gène suivant de I2 ;

k = k+1 ;

**Fin**

k = p+1;

**Tant que** k < n **faire**

**Répéter** du premier gène du parent I1 **jusqu'à** n

**Si** le gène de I1 n'existe pas dans I4 **alors**

I4[k] = le gène de I1 ;

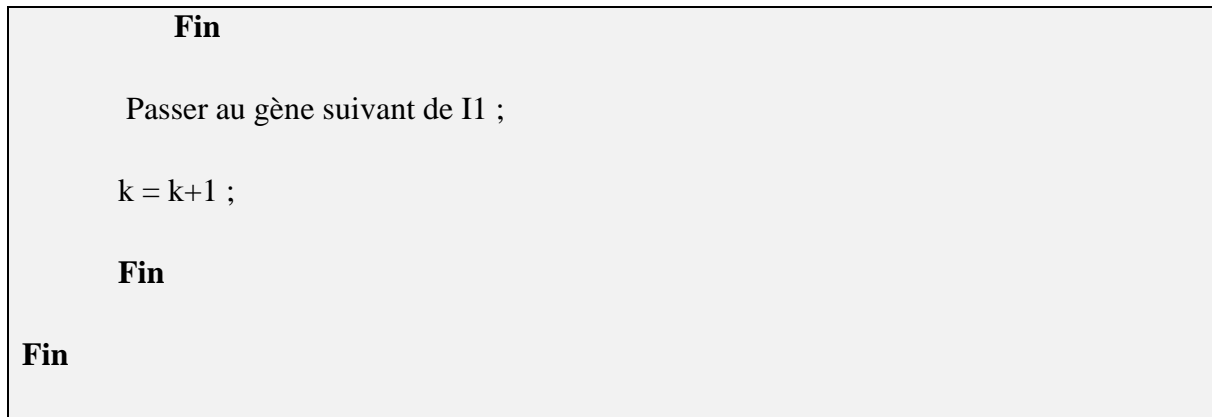


Figure 32 : Algorithme de croisement à un point p

- **La mutation** : cet opérateur consiste à choisir deux allèles, au hasard, dans un chromosome et à échanger leurs valeurs respectives. La mutation sert à éviter une convergence trop rapide de l'algorithme génétique vers un minimum local. Il est donc nécessaire de choisir pour cet opérateur une valeur relativement faible de manière à ne pas tomber dans une recherche aléatoire et conserver le principe de sélection et d'évolution

Avant la mutation :

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

Après la mutation :

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

Tableau 6 : Mutation de deux allèles quelconques à k=2 puis k=4

L'algorithme que nous avons utilisé pour la mutation est le suivant :

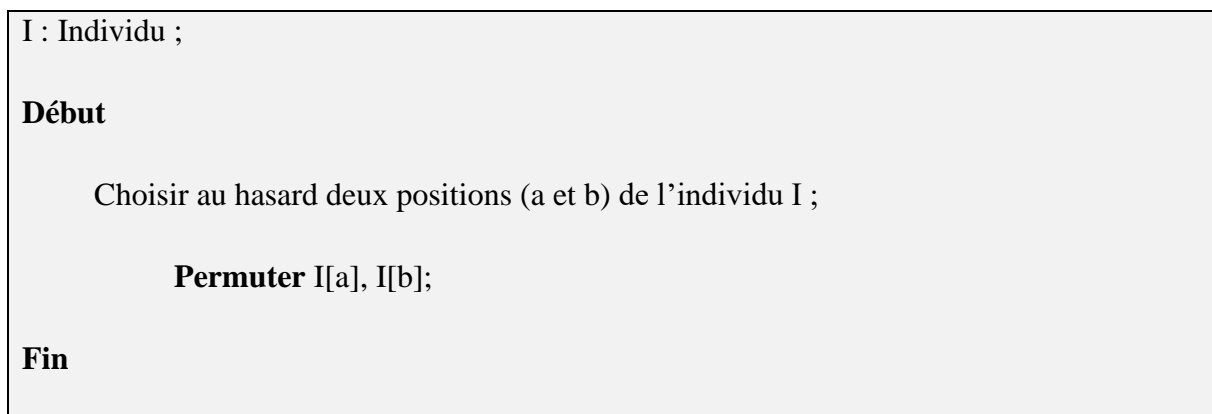


Figure 33 : Algorithme de mutation

### 2.3. Deuxième solution : MACS-VRPTW :

Dans cette partie, on va utiliser une variation connue de 'ACO' (Ant colony optimisation) pour la résolution de VRPTW qui est MACS-VRPTW (Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problem with Time Windows).

Récemment, de nombreux algorithmes ACO ont été proposés pour résoudre différents types de problèmes d'optimisation combinatoire. En particulier, les algorithmes ACO qui se sont révélés très efficaces lorsqu'ils sont combinés avec des procédures de recherche locales spécialisées pour résoudre les problèmes des vendeurs itinérants symétriques et asymétriques, le problème de commande séquentielle, le problème d'affectation quadratique, le problème d'affectation biquadratique et la médiane.

L'une des implémentations basées sur ACO les plus efficaces a été Ant Colony System (ACS), qui a introduit une procédure de mise à jour des traces de phéromones particulière utile pour intensifier la recherche dans le voisinage de la solution la mieux calculée. Dans ce qui suit on présente une extension ACS capable de résoudre le problème de routage des véhicules avec des fenêtres temporelles (VRPTW) qui est MACS-VRPTW.

### L'algorithme :

MACS-VRPTW a été développé à partir des algorithmes de colonies de fourmis avec un but d'optimisation en deux fonctions objectives, ce qui implique deux colonies à optimiser : la première « ACS-VEI » vise la minimisation du nombre de véhicules, la deuxième « ACS-TIME » vise la minimisation de la distance totale parcourue, autrement dit l'optimisation du temps de transport.

La figure suivante illustre le principe des objectifs multiples :

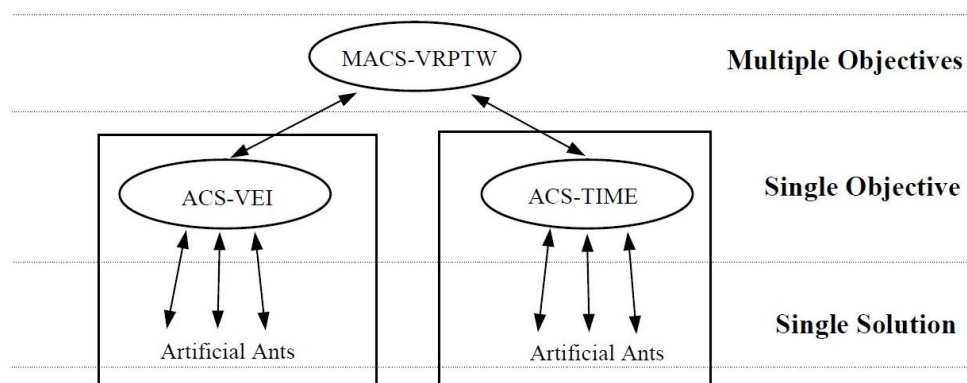


Figure 34 : Architecture de l'algorithme MACS-VRPTW

Les deux colonies utilisent des pistes de phéromones indépendantes et collaborent en partageant une meilleure solution globale, qui est utilisée pour la mise à jour des phéromones. Étant donné une solution réalisable  $\psi$  avec  $v$  véhicules, le MACS-VRPTW diminue un véhicule à la fois, essayant de trouver une solution réalisable avec  $(v-1)$  véhicules, en utilisant sa première colonie

de fourmis (ACS-VEI) et une heuristique qui maximise le nombre de clients visités avec chaque véhicule. Dans le même temps, la deuxième colonie (ACS-TIME) essaie de minimiser le temps de trajet total avec le nombre donné de véhicule ( $v$ ) de la meilleure solution globale  $\psi$ . Lorsque la première colonie ACS-VEI trouve une nouvelle solution avec moins de véhicules, les deux colonies sont réinitialisées et l'ancienne solution avec un plus grand nombre de véhicules est oubliée, c'est-à-dire qu'une seule solution globale est conservée à la fois. Les algorithmes ci-dessous montrent le principe expliqué.

/\*MACS-VRPTW : Multiple Ant System for Vehicle Routing Problems with Time Windows\*/

### La procédure MACS-VRPTW

#### 1. /\*Initialisation\*/

/\*  $\Psi^{gb}$  est la meilleure solution faisable : le nombre minimum de véhicule et la tournée la plus courte #active\_vehicles ( $\Psi$ ) compte le nombre des véhicules activés dans la solution faisable\*/

$\Psi^{gb} \leftarrow$  la solution initiale faisable avec un nombre illimité des véhicules qui sont les plus proches entre eux

#### 2. /\* La boucle principale\*/

#### Répéter

$V \leftarrow$  #active\_vehicles ( $\Psi^{gb}$ )

**Activer** ACS-VEI ( $v - 1$ )

**Activer** ACS-TIME ( $v$ )

**Tant que** ACS-VEI et ACS-TIME sont active

**Attendre** une solution validée  $\Psi$  à partir ACS-VEI ou ACS-TIME

$\Psi^{gb} \leftarrow \Psi$

**SI** #active\_vehicles ( $\Psi^{gb}$ ) <  $v$  **alors**

**Ecraser** ACS-TIME et ACS-VEI

**Fin tant que**

**Jusqu'à** un critère d'arrêt est satisfait

Figure 35 : Algorithme MACS-VRPTW

/\*ACS-TIME : la minimisation du temps du transport\*/

**La procédure ACS-TIME (v)**

/\* le paramètre v représente le nombre minimum des véhicules pour une solution faisable qui était déjà calculé\*/

1./\*Initialisation\*/

**Initialiser** phéromone et les structures data en utilisant v

2. /\* Cycle\*/

**Répéter**

**Pour** k fournis

/\* Construire la solution  $\Psi^k$  \*/

Nouvelle\_fourmi\_active (k, la\_recherche\_locale= VRAI, 0)

**Fin pour**

/\* Mettre à jour la solution si elle est validée \*/

**Si**  $\exists k : \Psi^k$  est faisable et  $j_{\Psi}^k < j_{\Psi}^{gb}$  **alors**

**Envoyer**  $\Psi^k$  à MACS-VRPTW

/\* La mise à jour de la performance globale\*/

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \frac{\rho}{j_{\Psi}^{gb}}, \forall (i, j) \in \psi^{gb}$$

**Jusqu'à** un critère d'arrêt est satisfait

Figure 36 : Algorithme ACS-Time

/\*ACS-VEI : la minimisation du nombre de véhicule\*/

**La procédure ACS-VEI (s)**

/\* Le paramètre s est réglé sur v-1, c'est-à-dire un véhicule de moins que le plus petit nombre de véhicules pour lesquels une solution réalisable a été calculée

#les\_clients\_visités( $\Psi$ ) : compte le nombre des clients visités dans la solution ( $\Psi$ ) \*/

1./\*Initialisation\*/

**Initialiser** phéromone et les structures data en utilisant s

$\Psi^{ACS-VEI} \leftarrow$  la solution initiale avec  $s$  véhicules /\*  $\Psi^{ACS-VEI}$  n'est pas nécessairement faisable\*/

2. /\* Cycle\*/

**Répéter**

**Pour**  $k$  fournis

/\* Construire la solution  $\Psi^k$  \*/

Nouvelle\_fourmi\_active ( $k$ , la\_recherche\_locale= FAUX, IN)

$\forall$  client  $j \notin \psi^k : IN_j \leftarrow IN_j + 1$

**Fin pour**

/\* Mettre à jour la solution si elle est validée \*/

**Si**  $\exists k : \#les\_clients\_visités(\Psi^k) > : \#les\_clients\_visités(\Psi^{ACS-VEI})$  **alors**

$\Psi^{ACS-VEI} \leftarrow \Psi^k$

$\forall j : IN_j \leftarrow 0$

**Si**  $\Psi^{ACS-VEI}$  est faisable **alors**

**Envoyer**  $\Psi^{ACS-VEI}$  à MACS-VRPTW

/\* La mise à jour de la performance globale en utilisant  $\Psi^{ACS-VEI}$  et  $\Psi^{gb}$  \*/

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \frac{\rho}{J_{\psi}^{gb}}, \forall (i, j) \in \psi^{gb}$$

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \frac{\rho}{J_{\psi}^{ACS-VEI}}, \forall (i, j) \in \psi^{ACS-VEI}$$

**Jusqu'à** un critère d'arrêt est satisfait

Figure 37 : Algorithme ACS-VEI

### 3. Expérimentation :

Dans cette partie on présente l'outil utilisé pour l'implémentation des deux solutions proposées et on illustre les résultats obtenus dans les deux cas :



### 3.1.Présentation de l'outil et l'environnement de développement :

- **Python** : c'est un langage de programmation interprété, multiparadigme et multiplateformes qui favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet. Il est placé sous une licence libre et fonctionne sur la plupart des plateformes informatiques. Il peut aussi être traduit en Java ou .NET. Il est conçu pour optimiser la productivité des programmeurs en offrant des outils de haut niveau et une syntaxe simple à utiliser.
- **Pycharm** : c'est un environnement de développement intégré utilisé pour programmer en Python. Il permet l'analyse de code et contient un débogueur graphique. Il permet également la gestion des tests unitaires, l'intégration de logiciel de gestion de versions, et supporte le développement web avec Django.
- **L'environnement matériel** : nous avons utilisé un PC DELL du modèle Latitude 5285, Processeur : Intel® Core™ i7-7600U CPU @ 2.80 GHz 2.90GHz avec une mémoire installée (RAM) : 16 Gb, et un système d'exploitation 64 bits Windows 10 édition professionnelle.

### 3.2.Echantillon de données et résultats obtenus :

Nous abordons ici la phase de calcul qui permet de déterminer la solution qui minimise notre fonction objective : nous avons simulé pour une journée de service un échantillon de 27 clients, à chacun est attribuée une demande exprimée en tonnes à satisfaire le jour même. La matrice des distances entre les différents nœuds a été déterminée vu que le coût total de transport est lié aux distances parcourues par les véhicules utilisés.

- **Résultats obtenus par l'algorithme génétique :**

```
data: [0, 16, 17, 24, 15, 5, 21, 8, 26, 9, 20, 12, 25, 13, 23, 0, 4, 6, 2, 1, 19, 11, 3, 27, 10, 7, 18, 14, 22, 0, 0]
fit: 0.13792956571859175
```

Figure 38 : L'ordre de passage des véhicules pour les tournées obtenues par (AG-VRPTW)

- **Résultats obtenus par MACS-VRPTW :**

```
it takes 1472.576 second from multiple_ant_colony_system running
the best path have found is:
[0, 27, 1, 2, 6, 4, 23, 26, 9, 25, 20, 13, 12, 8, 19, 3, 11, 21, 0, 17, 15, 7, 14, 18, 22, 10, 5, 24, 16, 0]
```

Figure 39 : L'ordre de passage des véhicules pour les tournées obtenues par (MACS-VRPTW)

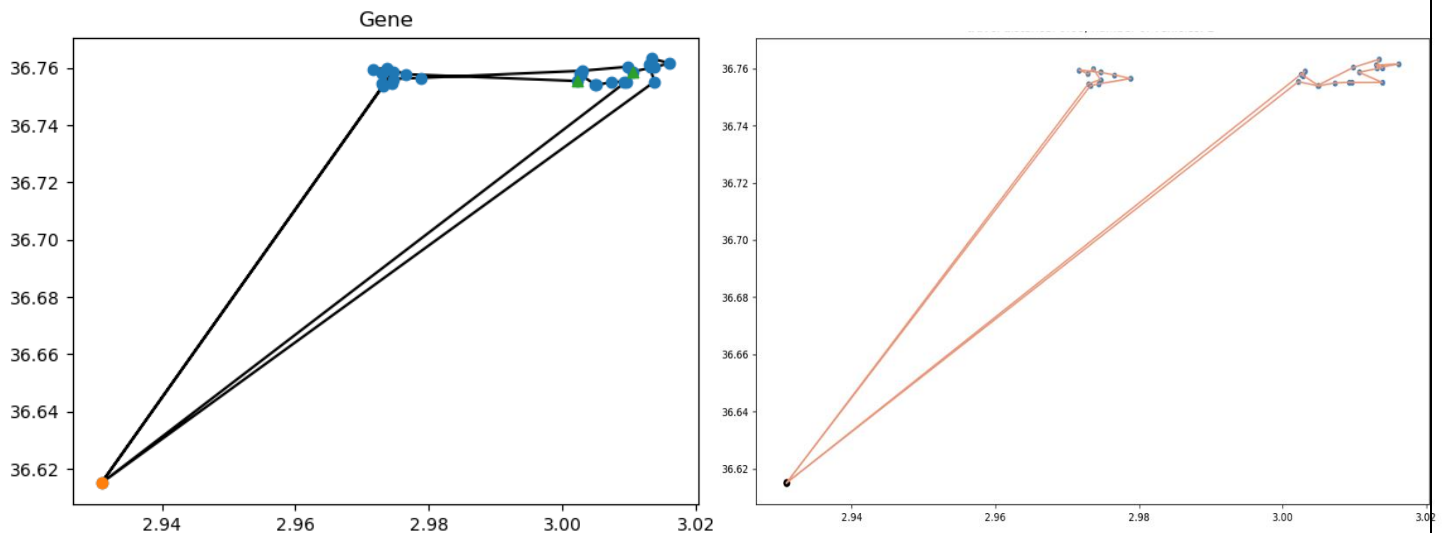


Figure 40 : Fenêtre graphique de l'exécution pour AG-VRPTW (à gauche) et MACS-VRPTW (à droite)

### 3.3.Analyse et critiques :

#### ▪ Analyse préliminaire :

Pour une première analyse des résultats obtenus, on s'est référé principalement aux valeurs des fonctions objectives calculées par les deux solutions proposées par rapport à l'échantillon de données étudié, et qui sont montrées dans le tableau suivant :

Paramètres de comparaison	Solution 1 : algorithme génétique VRPTW	Solution 2 : MACS VRPTW (colonie de fourmis)
Nombre de véhicules employés	2	2
Distance totale parcourue (km)	121.55	112,45
Cout total des tournées (Um)	7293.18	6747
Temps d'exécution de la solution	14min 05 seconde	24min 33 seconde

Tableau 7 : valeurs des fonctions objectives obtenues

La distance minimale parcourue est donnée par l'algorithme MACS VRPTW, et étant donné que les coûts calculés sont proportionnels à la distance, il se trouve donc que le meilleur coût est donné par le même algorithme, les résultats donnés par la première solution reste également compétitifs surtout lorsqu'il s'agit du temps d'exécution.

Les deux solutions ont employé 2 véhicules à capacité homogène pour servir une demande globale de 0,921 tonnes, les taux de remplissage exprimés en pourcentage sont mentionnés dans le tableau suivant, en effet il est clair que l'optimisation avec l'algorithme MACS VRPTW a pris en compte ce facteur donnant ainsi un taux optimal pour son premier véhicule. Cependant, on ne peut juger la capacité des deux algorithmes à minimiser le nombre de véhicules employé, c'est pourquoi on s'intéresse aux benchmarks de Solomon pour la partie suivante.

Paramètre de comparaison	Solution 1 : algorithme génétique VRPTW		Solution 2 : MACS VRPTW (colonie de fourmis)	
	Route 1	Route 2	Route 1	Route 2
Distance parcourue (km)	61.77	59.78	64,37	48,09
Cout de la tournée (Um)	3706.14	3587.04	3861.9	2885.1
Nb de clients servis	14	13	17	10
Taux de remplissage de véhicules (%)	0,86	0,67	0,99	0,54

Tableau 8 : détails des résultats obtenus pour chaque route

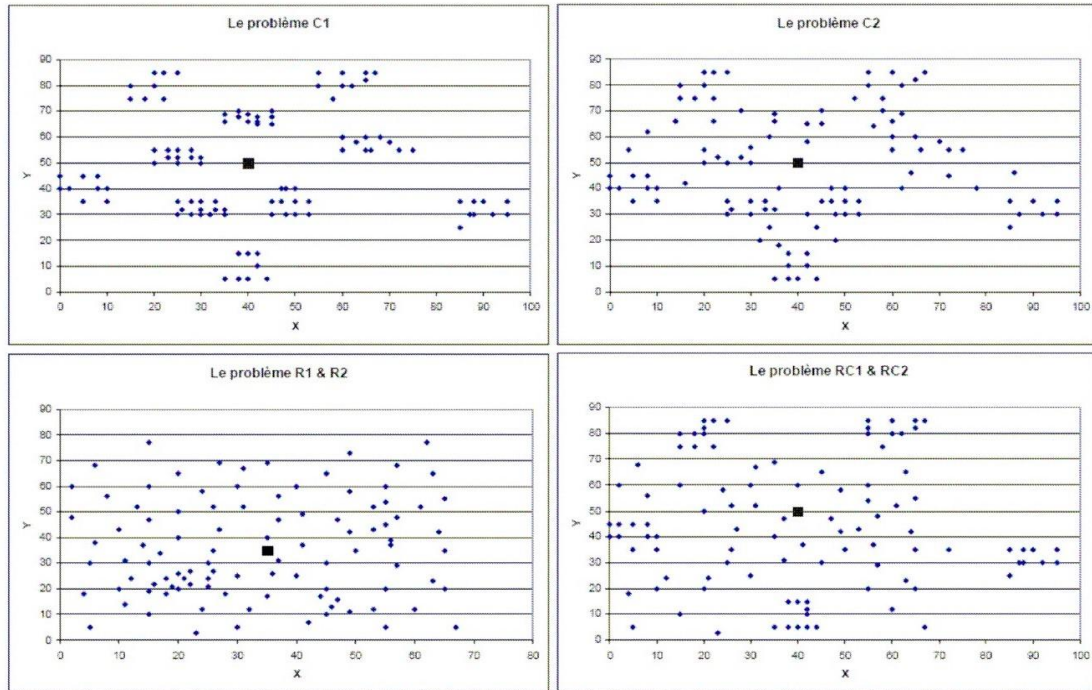
#### 3.4. Jeux de données : benchmark de Solomon :

Pour tester la performance des deux solutions qu'on avait proposé, nous avons utilisé un ensemble d'instances de problèmes du VRPTW proposées par Solomon (1987), comptant 56 instances. Chaque problème de la version originale contient 100 clients. Le temps de voyage séparant deux clients correspond à leur distance euclidienne.

Solomon (1987) admis que ces problèmes sont assez divers et assez nombreux pour pouvoir comparer avec une confiance suffisante les différentes approches proposées par les chercheurs. Une preuve que ces problèmes sont assez diversifiés et assez difficiles est qu'il n'existe actuellement aucune heuristique donnant les meilleurs résultats pour tous les problèmes en même temps.

Dans les benchmarks de Solomon, six ensembles différents de problèmes sont définis : C1, C2, R1, R2, RC1 et RC2. Les clients sont uniformément distribués dans les problèmes du type R, regroupés dans les problèmes du type C, et un mélange de clients uniformément distribués et regroupés est utilisé dans les problèmes de type RC.

Les problèmes du type 1 ont des fenêtres temporelles étroites, ainsi très peu de clients peuvent coexister dans le même plan, et les problèmes de type 2 ont des fenêtres temporelles larges. Enfin, un temps de service constant est associé à chaque client, il est de 10 dans les problèmes de types R et RC, et de 90 dans les problèmes de type C.



**Figure 41 : la distribution des clients dans les six types du problème**

Algorithme colonie de fourmis			Algorithme génétique			DEV
Instances	Nb véhicule	DISTANCE		Véhicule	DISTANCE	
C101	10	828,936867	C101	12	3748,28572	78%
C102	10	1058,70612	C102	13	4764,17754	78%
C103	10	1429,0944	C103	12	6716,74368	79%
C104	10	1427,82934	C104	11	6496,623497	78%
C105	10	857,314014	C105	12	3429,256056	75%
C106	10	1005,80262	C106	13	4827,852576	79%
C107	10	902,448137	C107	13	3519,547734	74%
C108	10	937,596002	C108	12	3281,586007	71%
C109	10	1197,30067	C109	11	4667,916122	74%
C201	3	702,321451	C201	4	3593,432041	80%
C202	3	1031,00953	C202	5	5155,04765	80%
C203	4	2090,94292	C203	6	10940,64973	81%
C204	4	1992,14917	C204	7	11091,84831	82%
C205	3	905,148294	C205	5	4640,496171	80%
C206	3	951,310429	C206	5	5316,873988	82%
C207	3	976,071017	C207	4	5437,88685	82%
C208	3	883,501037	C208	5	4959,798122	82%
R101	19	1745,57151	R101	21	3271,392237	47%
R102	18	1607,64055	R102	22	1768,404605	9%
R103	13	1468,38718	R103	21	1650,364403	11%
R104	11	1172,5732	R104	15	2269,280914	48%
R105	14	1510,09189	R105	20	2034,697813	26%
R106	12	1408,42722	R106	15	2082,576543	32%
R107	11	1313,97504	R107	13	1928,652564	32%
R108	11	1198,61007	R108	14	1781,781813	33%
R109	12	1343,76589	R109	14	2372,324615	43%
R110	11	1273,88868	R110	13	2121,576501	40%
R111	11	1347,78066	R111	14	2529,168363	47%
R112	10	1148,95935	R112	13	1418,390318	19%
R201	4	1943,64074	R201	5	3123,969197	38%
R202	4	2148,01648	R202	6	3651,628016	41%
R203	3	1879,2097	R203	5	3463,383477	46%
R204	3	1945,73004	R204	5	2617,006904	26%
R206	3	1865,33697	R206	5	3123,969197	40%
R207	3	1974,42678	R207	5	2961,64017	33%
R208	3	1832,2789	R208	4	2261,948302	19%
R209	3	1748,35204	R209	5	3128,74591	44%
R210	3	1889,88814	R210	4	3126,498647	40%
R211	3	1843,65884	R211	5	3459,625813	47%
RC101	15	1739,08353	RC101B	26	4374,15602	60%
RC102	13	1608,79467	RC102	20	4182,866142	62%
RC103	12	1562,00834	RC103	21	4061,221684	62%
RC104	11	1335,50184	RC104	19	3805,245393	65%
RC105	15	1725,06727	RC105	18	3678,533447	53%
RC106	13	1660,02164	RC106	14	3320,096567	50%
RC107	12	1546,96591	RC107	16	4486,201139	66%
RC108	12	1520,47817	RC108	18	3993,596733	62%
RC201	4	2131,63376	RC201	12	4065,55867	48%
RC202	4	2471,34591	RC202	10	4201,288047	41%
RC203	3	1803,88067	RC203	11	3184,625051	43%
RC204	3	1734,66258	RC204	9	2122,272934	18%
RC205	4	1907,24247	RC205	10	2163,881017	12%
RC206	4	2546,02401	RC206	9	2682,152276	5%
RC207	4	2241,84832	RC207	10	4429,89228	49%
RC208	3	1698,73047	RC208	10	2097,197939	19%

Tableau 9 : résultat de benchmark de Solomon

Ce tableau présente un benchmark des résultats d'optimisation des tournées avec les instances de Solomon en utilisant les deux métaheuristique qu'on a déjà présenté.

Le paramètre principal utilisé pour la comparaison est le taux de déviation entre les résultats obtenus pour chaque type d'instance par rapport à l'optimisation de la distance totale parcourue ; ce dernier est calculé comme suit :

$$DEV = \frac{\text{distance calculée par la sol 1} - \text{distance calculée par la sol 2}}{\text{distance calculée par la sol 1}} * 100$$

En réalité il est difficile de comparer les résultats des deux métaheuristicues, car comme on a vu dans l'analyse des résultats du Danone, les temps d'exécution pris par les méthodes de résolution sont différents, mais à partir des résultats présentés dans le tableau, nous remarquons, que l'algorithme MACS-VRPTW peut fournir des bons résultats pour le problème de VRPTW classique par rapport à l'algorithme génétique qui donne des résultats bons mais non pas compétitifs dans quelques échantillons. Pour les deux groupes (C1, C2) nous avons obtenu des résultats moins bon, tel que la DEV est supérieure à 50% pour toutes les instances, et en ce qui concerne les groupes (R1, R2) nous avons trouvé des résultats compétitifs en terme de la distance où la DEV varie entre 10% et 50%, par contre pour les autres groupes (RC1, RC2) les résultats trouvés sont encourageantes où la DEV varie entre 30% et 60% pour plusieurs instances. En conséquence, ces résultats permettent d'affirmer que l'algorithme MACS-VRPTW est à la fois fiable et peut fournir des performances intéressantes.

#### **4. Elaboration d'un tableau de bord par la méthode « GIMSI » :**

Dans cette partie, nous allons créer un tableau de bord qui permettra d'avoir un aperçu simplifié des fluctuations des différents changements le long du cycle de distribution.

Un tableau de bord de gestion regroupe des informations sélectionnées et présentées de manière synthétique, afin d'éclairer les décisions des responsables et de leur en faire connaître très vite les conséquences essentielles. C'est un outil de mesure des performances, de diagnostic, de dialogue et de réactivité, d'information du personnel, de motivation et de perfectionnement.

Ils permettent de piloter le déploiement de la stratégie en actions opérationnelles au sein des services donnant lieu à une stratégie formalisée, traduite en objectifs, déclinée en plans d'actions dont le résultat est mesuré.

Pour l'élaboration de notre tableau de bord, nous avons opter pour la méthode innovante « GIMSI » qui est une méthode éprouvée pour traiter en 10 étapes toutes les phases du projet décisionnel tableau de bord ; dont l'homme acteur et décideur en est le point central. L'originalité de la méthode est justement la mise en évidence de la subtile complémentarité des approches Top Down et Bottom Up et elle est orientée "*accompagnement du changement actif*". Il s'agit en effet de passer d'un système de contrôle taylorien à un système de pilotage réparti et coopératif, clé de voûte de l'entreprise réactive.

La méthode a pour ambition de dynamiser l'originalité et la créativité des concepteurs et utilisateurs. C'est ainsi que l'on réussit l'intégration du système de tableaux de bord au cœur de la culture d'entreprise sans perdre de vue la question du pilotage de la performance. Cette méthode est structurée en 10 étapes bien identifiées et regroupées en 4 phases thématiques :

<b>Phase 1</b> : identification	<b>Etape 1</b> : environnement de l'entreprise
	<b>Etape 2</b> : identification de l'entreprise
<b>Phase 2</b> : conception	<b>Etape 3</b> : définition des objectifs
	<b>Etape 4</b> : construction du tableau du bord
	<b>Etape 5</b> : choix des indicateurs
	<b>Etape 6</b> : collecte des informations
	<b>Etape 7</b> : le système de tableau de bord
<b>Phase 3</b> : mise en œuvre	<b>Etape 8</b> : le choix des progiciels
	<b>Etape 9</b> : intégration et déploiement
<b>Phase 4</b> : amélioration permanente	<b>Etape 10</b> : audit

**Tableau 10** : étapes d'élaboration d'un tableau de bord par la méthode « GIMSI »

#### **4.1.Phase 1 : Identification**

Il s'agit de synthétiser la réalité de l'environnement concurrentiel, forces et faiblesses de l'entreprise, identification concrète des axes stratégiques et des points d'intervention, et cela à travers deux étapes :

- ***Etape 1 : Environnement de l'entreprise***

Dans cette étape, on analyse l'environnement économique de l'entreprise afin de définir le périmètre et la portée du tableau de bord. L'analyse SWOT présentée lors du premier chapitre nous a été d'une grande utilité, résumant ainsi les principaux éléments constituant les forces et les faiblesses de Danone Djurdjura Algérie, et mettant en lumière les opportunités et menaces qui l'entourent.

- ***Etape 2 : Identification de l'entreprise***

Dans cette deuxième étape, on analyse les structures de l'entreprise pour identifier les processus, activités et acteurs concernés et cerner la stratégie globale de l'entreprise. Pour cela, en se basant sur l'organigramme de DDA, les processus expliqués et l'audit ASLOG effectué, on a défini une liste des objectifs clés qui peuvent résumer la stratégie de Danone Djurdjura Algérie, et qui sont les suivants :

- Augmenter le chiffre d'affaire ;
- Augmenter la part de marché ;
- Optimiser et améliorer la production ;
- Assurer une variété au niveau de l'entrepôt ;
- Maîtriser les ventes et les événements commerciaux ;
- Améliorer le service client ;
- Augmenter l'efficacité du Système d'information ;

#### **4.2. Phase 2 : conception**

Dans cette deuxième phase, on adopte une démarche centrée sur le décideur de terrain en situation, point central du processus de décision et par conséquent du système de pilotage de la performance ; on se base donc sur cinq étapes :

- ***Etape 3 : Définition des objectifs***

Ici on passe à la sélection des objectifs tactiques du tableau de bord en fonction de la stratégie générale de DDA. Nous les avons résumés aux points suivants :

- Améliorer l'efficacité de la Supply Chain ;



- Optimiser les flux physiques de transport ;
- Améliorer la satisfaction clients ;
- Réduire l'émission du CO2 ;

Une fois les stratégies et objectifs clés sont définis, il leur faut un alignement avec les processus logistiques de l'entreprise, ces derniers sont le centre du bon fonctionnement et maintiennent l'équilibre des autres services, à travers quatre leviers permettra d'améliorer les performances de la logistique :

- Levier fiabilité logistique : c'est de répondre aux demandes des clients de l'entreprise selon un niveau de service fixé.
- Levier efficacité logistique : c'est d'atteindre les objectifs en employant un minimum de ressource possible.
- Levier réactivité logistique : c'est d'être flexible avec les fluctuations des demandes et accélérer ses réponses.
- Levier éco-logistique : c'est limiter les pollutions réalisées par les activités de la logistique.

Ces leviers pertinents vont nous aider à l'élaboration des indicateurs de performance qui construisent notre tableau de bord.

- ***Etape 4 : Construction du tableau de bord***

Il s'agit ici d'identifier un tableau de bord spécifique pour chaque processus ou activité à piloter, en assurant une certaine cohérence entre l'ensemble des tableaux de bord. Pour notre cas, le tableau de bord est dédié à l'activité transport et distribution.

- ***Etape 5 : Choix des indicateurs de performances « KPI »***

Les KPIs de transport permettent l'analyse de l'impact logistique des flux de marchandises sur les parties de la Supply Chain. Ici, le contrôle de la livraison finale ou du dernier kilomètre est particulièrement important en raison de sa complexité et donc de son coût plus élevé.

La problématique principale concernant le transport routier des produits Danone se concentre sur l'utilisation de la flotte de véhicules ainsi que la consommation en carburant. Ces deux éléments conditionnent en grande partie le coût des transports effectués par la route. Cependant, les indicateurs de performance du secteur routier peuvent être très nombreux.

Il faudrait donc se focaliser sur un nombre restreint et maîtrisable de KPI et moduler la fréquence des mesures en fonction des impératifs terrain, sans toutefois devenir irrégulière.

### 1) Taux de remplissage TDR :

Le taux de remplissage est l'un des KPI les plus pertinents des transporteurs routiers puisqu'il répond à des objectifs multiples : réduire le coût du transport, limiter l'empreinte écologique, réduire les stocks ... etc. Plus le taux de remplissage est important, plus la prestation de transport est rentable. Cet indicateur détermine la capacité de transport utilisé par rapport à sa capacité totale en volume ou en poids.

Indicateur	Formule	Unité
Taux de remplissage TDR	$\frac{\text{Quantité ou volume total chargé}}{\text{capacité théorique totale de la période en quantité ou volume}} \times 100$	%

2) **Livraison à temps** : ce KPI révèle l'agilité du transport lors du dernier kilomètre en forme de pourcentage.

Indicateur	Formule	Unité
<b>Livraison à temps</b>	$\frac{\text{Nbr de livraisons à temps}}{\text{Nbr total de livraisons effectuées}} \times 100$	%

3) **Coût du transport sur les ventes** : ce KPI logistique montre la proportion entre le coût qu'entraîne le transport par rapport aux ventes obtenues.

Indicateur	Formule	Unité
<b>Coût de transport sur les ventes</b>	$\frac{\text{cout total du transport}}{\text{ventes}} \times 100$	%

- 4) **Délai de traitement interne des commandes** : il s'agit du temps nécessaire à l'exécution d'une commande entre le moment où le bon de commande arrive à l'entrepôt et celui où la commande quitte le quai d'expédition.

Indicateur	Formule	Unité
Délai de traitement interne des commandes	Date d'entrée de commande - Date d'expédition	Jours

#### 5) Les grands clients

Il s'agit des clients qui achètent régulièrement, qui grâce à eux que le chiffre d'affaire tourne, et il sera préférable de les garder sous contrôle afin de leurs proposer les meilleurs offres et promotions pour les fidéliser et pouvoir garder son statut sur le marché.

#### 6) Taux de retour :

Les retours clients et les réclamations doivent être traités avec le plus grand soin. Il s'agit du cas où le client est mécontent. Ces retours qui bien souvent perturbent les flux habituels et coûtent très cher à l'entreprise, devront donc faire l'objet d'étude spécifiques permettant d'en éviter la réapparition.

Indicateur	Formule	Unité
Taux de retour	$\frac{\text{nombre des demandes retournées}}{\text{nombre total des demandes}} \times 100$	%

#### 7) Panier moyen :

C'est un indicateur qui n'apporte pas une grande information aux décideurs mais permet de visualiser le comportement des prix des ventes.

L'intérêt de suivre le panier moyen vient de son évolution, si cette valeur augmente cela signifie que l'entreprise baisse les prix des produits, et par la suite elle doit réaliser plus de ventes pour atteindre son objectif.

Indicateur	Objectif	Formule	Unité
Panier moyen	Analyser la tendance des ventes et d'en déduire les quantités à vendre.	$\frac{\text{chiffre d'affaire}}{\text{nombre de ventes}}$	Moyenne

#### 8) Taux de service :

Connaître le taux de service offert aux clients est d'une importance capitale en matière de performance logistique. C'est un des indicateurs permettant de juger le plus efficacement de la pertinence des actions entreprises en amont. Il permet de connaître la capacité à faire face aux ruptures de stock mais aussi de saisir les périodes de l'année où la demande fluctue, et met en évidence les moments de fragilité dans la politique de gestion des stocks.

Indicateur	Formule	Unité
Taux de service	$\frac{\text{nombre des demandes livrées}}{\text{nombre total des demandes}} \times 100$	%

### 9) Autres KPI :

- Consommation de carburant pour 100 km
- Niveau de service par véhicule
- Niveau de service par chauffeur
- La consommation en carburant des véhicules
- La distance parcourue en charge
- La durée de chaque trajet effectué

#### • *Etape 6 : Collecte des informations*

Dans cette étape on identifie les sources de données qui vont alimenter notre tableau de bord, qui sont principalement :

- Logiciel de gestion commerciale ASSABIL,
- Le système d'informations SAP
- Le WMS

L'exactitude des données sources doit être vérifiée, elle fera l'utilité de tableau de bord et, à plus grande échelle, de la décision stratégique à prendre.

#### • *Etape 7 : Le système de tableau de bord*

Cette étape fait appel à 3 outils indispensables :

- Une base de données (pour stocker les données)
- Un portail d'accès (à destination des collaborateurs concernés)

- Un système de rapports (pour traiter et visualiser les données sources)

Il s'agit de mettre en place une dynamique d'échanges d'informations, de conseils, de connaissances entre les décideurs, vérification de la cohérence du système de pilotage global afin de s'assurer que tous les axes de performance sont bien sous contrôle. Pour que le système décisionnel soit opérationnel et apporte une valeur ajoutée significative mesurable autant au niveau de la réactivité globale que de l'innovation, c'est un passage obligé.

### **4.3.Phase 3 : Mise en œuvre**

C'est la phase la plus technique, faisant appel à des outils de la Business Intelligence :

- *Etape 8 : Le choix des progiciels*

À cette étape, nous allons procéder aux choix des outils BI nécessaires dont les instruments de tableaux de bord sont les plus adéquats selon nos besoins exprimés auparavant. Pour notre cas, nous avons utilisé Power BI, un service d'analyse commerciale de Microsoft qui vise à fournir des visualisations interactives et des capacités de business intelligence avec une interface suffisamment simple.

- *Etape 9 : Intégration et déploiement*

Il s'agit de La mise en œuvre du système de tableaux de bord de pilotage dans l'entreprise par l'Implantation des progiciels et le déploiement.

### **4.4.Phase 4 : Amélioration permanente**

L'objectif de cette dernière phase est d'auditer le tableau de bord par la vérification de sa pertinence pour l'entreprise afin de s'assurer de sa parfaite adéquation avec les objectifs poursuivis, qu'il est bien en phase avec les actions lancées et qu'il est correctement utilisé.

- *Etape 10 : Audit*

Afin de faire évoluer le tableau de bord, un suivi est nécessaire pour vérifier s'il nécessite une mise à jour ; cela revient à vérifier les points suivants :

- Défaut de qualité des indicateurs ;
- Évolution du contexte ;
- Évolution des objectifs ;

- Inadéquation des indicateurs par rapport aux objectifs fixés ;
- Changement des destinataires, etc.

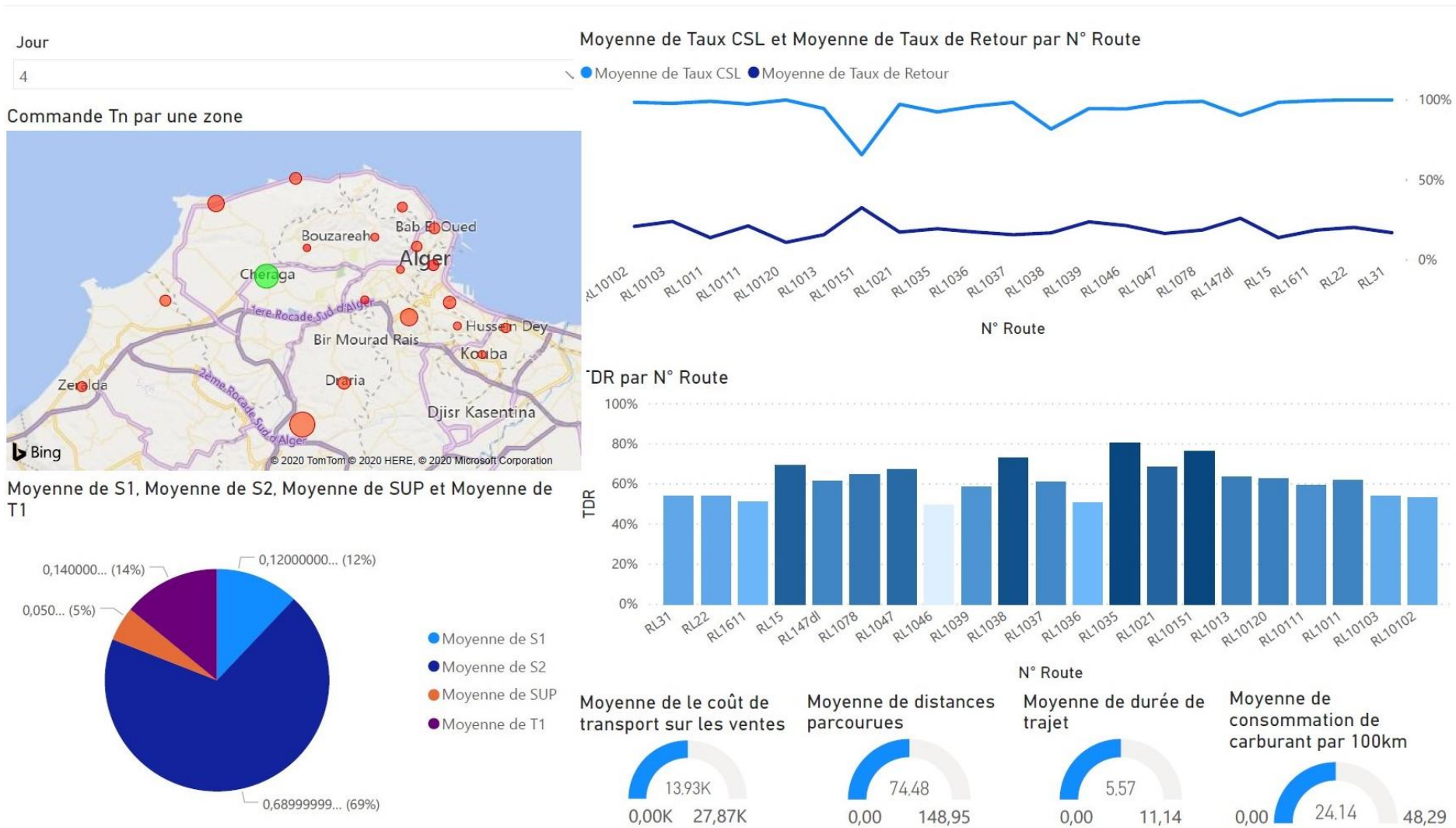


Figure 42 : Principaux KPI du tableau de bord sous power BI

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons expliqué notre approche de résolution en trois parties :

Dans la première section, nous avons mis en place un modèle mathématique adapté à notre approche et décrivant au mieux les contraintes du terrain en matière du transport en livraison directe. Nous l'avons validé par la suite en utilisant un outil d'optimisation linéaire « Cplex » sur un échantillon réduit de données.

La deuxième section de ce chapitre était consacrée à l'explication des algorithmes de résolution choisis qui permettent d'aboutir à l'élaboration d'un plan de transport. Nous avons utilisé deux métaheuristiques de type algorithme génétique et colonie de fourmis, que nous avons justifié le choix, et jugé la performance à travers les jeux de données proposées par Solomon.

La dernière section était consacrée à la mise en place d'un tableau de bord comme un outil de pilotage et suivi de la performance de l'activité logistique de transport.



## Conclusion générale

Danone Djurdjura Algérie évolue dans un environnement qui impose une grande rigueur dans la maîtrise de ses coûts ainsi que dans la satisfaction de ses clients. Son marché est caractérisé par une concurrence de plus en plus rude. DDA doit donc plus que jamais maîtriser son activité pour maintenir sa stratégie de captation de parts de marché et ainsi atteindre la position du leader.

Notre travail au niveau de DDA consiste à trouver un meilleur modèle pour optimiser les tournées des camions qui donne le circuit de livraison optimal, cela pour répondre à la problématique soulevée par la direction de DDA concernant sa politique de distribution.

Dans un premier temps, un diagnostic a été mené pour déterminer les anomalies présentes nécessitant le recours à une nouvelle configuration d'emploi des ressources pour assurer le transport de marchandises. Ce diagnostic n'a pu être posé qu'après une première phase d'observation. Ainsi, notre première mission autant que stagiaires au niveau du département Supply Chain a été de découvrir ses différents services. A cet effet, des entretiens ont été tenus avec différents collaborateurs. Cela nous a permis d'acquérir une connaissance profonde de la structure actuelle du département, de ses différentes parties prenantes ainsi que des pratiques opérationnelles de ces dernières. Nous nous sommes ensuite focalisées sur les activités en relation avec le projet pour lequel nous avons effectué plusieurs visites sur site afin de mieux comprendre leurs modes de fonctionnements et ainsi mieux cerner notre problématique.

Afin de répondre à cette problématique, nous avons adopté une méthodologie en plusieurs étapes mobilisant différents outils d'analyse. Cette démarche méthodologique se résume en quatre étapes :

Dans la première étape, nous avons modélisé mathématiquement le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps, en spécifiant l'ensemble de ses paramètres et contraintes et mettant en évidence sa complexité.

L'étape suivante consistait à résoudre le modèle proposé. Comme il s'agit d'un modèle très complexe qui n'admet pas de solution exacte dans un temps de calcul polynomial, il fallait donc utiliser des méthodes de résolution approchées. Nous avons alors présenté deux approches métaheuristiques de type « Algorithmes génétiques » et « colonies de Fourmies », que nous

avons adapté selon le besoin. On a justifié leur choix et expliqué leur principes et modes de fonctionnement.

Ensuite, nous avons analysé et comparé les résultats obtenus par les deux approches et nous avons présenté les jeux de tests dynamiques (les benchmarks) proposés par Solomon, que nous avons utilisés pour évaluer notre approche.

Nous avons clôturé en dernière étape par la mise en place d'un tableau de bord pour mieux piloter l'activité de transport et rendre l'outil conçu plus performant.

Notre étude s'est limitée sur le VRPTW de type statique où toutes les données du problème concernant la planification des routes est connue par le planificateur avant que le processus de planification ne commence. De plus, cette information ne change pas après que les routes aient été construites, et inclut tous les attributs des clients tels que la position géographique des clients, le temps de service à passer sur place et la demande de chaque client. En outre, les informations concernant les temps de trajets nécessaires pour relier les clients à servir doivent être connues ou calculables par le planificateur.

Cependant, en pratique, il est possible qu'un ou plusieurs aléas viennent perturber le routage prévu, ces événements qui mènent à une modification de la planification peuvent être l'arrivée d'une nouvelle demande, la panne d'un véhicule ou l'apparition d'une congestion de trafic suite à des travaux ou à un accident. Chaque événement doit être traité selon les politiques réglées par le planificateur de la flotte de véhicules, donnant lieu à une problématique de type VRPTW dynamique et présentera une véritable perspective pour améliorer notre travail.

Nous concluons ce mémoire de projet de fin d'étude par ce que ce projet nous a apporté en termes d'expérience et de connaissance. Ce travail a été pour nous une expérience enrichissante qui nous a permis de développer des nouvelles connaissances tout au long de sa réalisation.

C'est un projet qui nous a permis de mettre en épreuve tout ce qu'on a appris durant notre cursus de formation d'ingénieur, partant de la capacité de comprendre et d'analyser le fonctionnement d'une entreprise, passant par la modélisation conceptuelle et mathématique, en arrivant au codage informatique.

## Bibliographie

AKLI, Meriem. Problème de tournées de véhicules avec contraintes et fenêtre de temps. Thèse de magister : Département mathématique. Tizi Ouzou : Université De Mouloud Mammeri, 2013.

AOUADJ, Ayache. Résolution du problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps. Thèse de master académique : Département de l'informatique. Msila : Université Mohammed Boudiaf Msila, 2019.

ATTIA, Dora. Développement commercial et actualisation des prix pour une entreprise de transport frigorifique. Thèse doctorat : Agronomie. Montpellier : Institut agronomique Méditerranéen de Montpellier, 2013.

BEASLEY, Joseph. Route first—Cluster second methods for vehicle routing. Vehicle Routing Problem [en ligne]. 1983. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(83\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0305-0483(83)90033-6).

BERRAKI, Hanifa. Etude de la chaine logistique de l'entreprise Danone Djurdjura Algérie : thèse magister : Agronomie. Montpellier : Institut agronomique méditerranéen de Montpellier, 2014.

CADET, David Joseph. Optimisation des flux : application aux problèmes de distribution en nutrition animale. Thèse Doctorat : optimisation des systèmes. Troyes : Université de Technologie de Troyes, 2013.

ČERNÝ, Vreyfus. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem. An efficient simulation algorithm[en ligne]. 1985. [Consulté le 08/03/2020]. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/BF00940812>.

CORNE, David. New Ideas in Optimization : Macs-Vrptw: A Multiple Ant Colony System For Vehicle Routing Problems With Time Windows. Thèse de doctorat : Mathématique, London : université de McGraw-Hill, 1999.

GRID, Maroua. Bee life Parallèle sur GPU pour résoudre le problème dynamique des tournées de véhicules avec une contrainte de capacité. Thèse de doctorat : Département de l'informatique, Biskra : Université Mohamed Khider Biskra, 2018.

GUIBADJ, Rym Nesrine. Problème de tournée de véhicules et application industrielle pour la réduction de l'empreinte écologique. Thèse de doctorat : Département Technologies de l'Information et des Systèmes. Compiègne : Université de Technologie de Compiègne, 2014.

HAI-RACHID, Ahmed. Différentes opératrices évolutionnaires de permutation : sélections, croisements et mutations. Mémoire de License : informatique. Besançon : Université de Franche-Comte, 2010.

HARBAOUI, Dridi Imen. Optimisation heuristique pour la résolution du m-PDPTW statique et dynamique. Thèse magister : Département informatique. Lille : Ecole Centrale de Lille, 2010.

HOUSROUM, Haiyan. Une approche génétique pour la résolution du problème VRPTW dynamique. Thèse de doctorat : Département mathématique. Arras : l'Université d'Artois, 2005.

LAPORTE, Gilbert. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. Algorithms [en ligne]. 1991. [Consulté le 15/03/2020]. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C).

LAYEB, Abdeslam. Utilisation des Approches d'Optimisation Combinatoire pour La Vérification des Applications Temps Réel. Thèse Doctorat : informatique. Constantine : Université Mentouri de Constantine, 2010.

MARSI, Loubna. Etude de cas d'un problème de tournées des véhicules à la société SNTL. Mémoire Licence : sciences et techniques, Fes : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Faculté des Sciences et Techniques, 2015.

MERZAK, Zoulikha. Problème de tournées de véhicules avec gestion de stock dans un réseau de distribution. Mémoire de projet fin d'étude : Département de génie électrique et électronique. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2016.

MOUSSA, Ibrahim. Modèle de résolution approchées et efficaces pour les problèmes de réseaux de transport et de télécommunication. Thèse de doctorat : département de l'informatique. Amiens : Université De Picardie Jules Verne, 2015.

PATRICK, Meyer. Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtre de temps et application. Thèse de magister : Mathématique. Liège : Université de Liège, 1999.

REGO, Chris. Le Problème de tournées de véhicules : étude et résolution approchée. Étude et résolution approchée [en ligne]. 1994. [Consulté le 20/03/2020]. Disponible sur : <https://hal.inria.fr/inria-00074474/document>.

ZUZANA, Borcinova1. Two models of the capacitated vehicle routing problem, Faculty of Management Science and Informatics. Thèse de magister : Informatique. Slovakia : Université de Zilina, 2017.

## Annexes

### Annexe 1 : le référentiel ASLOG

#### Questionnaire ASLOG sur la logistique de transport :

1. Comment les transporteurs assurant les approvisionnements sont-ils choisis ?
2. Comment les transporteurs assurant les livraisons vers les clients ou prestataires intermédiaires sont-ils choisis ?
3. Comment les besoins de transport sont-ils évalués ?
4. Quelle maîtrise est exercée sur les opérations de transport ?
5. Quelle maîtrise est exercée sur les opérations de transmission des informations (incidents de transport) ?
6. Quelle maîtrise est exercée sur la sécurité des produits pendant les opérations de transport ?
7. Quelle maîtrise est exercée sur la qualité de transport et de livraison ?

#### Questionnaire ASLOG sur l'activité de stockage :

1. Comment les taux de remplissage des zones des magasins sont-ils suivis ?
2. Comment la gestion des stocks est-elle assurée ?
3. Comment les niveaux de stock sont-ils travaillés ?
4. Comment les réservations de stock sont-elles gérées ?
5. Comment une gestion des stocks de matières premières et/ou de stocks de produits finis est-elle assurée à l'extérieur du site de production ?
6. Comment une gestion des stocks de produits finis est-elle assurée pour les stocks entreposés temporairement chez des prestataires ?
7. Comment une gestion des stocks de produits finis est-elle assurée pour les stocks en consignation chez les clients ?
8. À quel moment les mouvements de stock sont-ils enregistrés ?
9. Quelles règles régissent les stocks des fournisseurs pour les produits approvisionnés ?
10. Comment les moyens de manutention et de stockage sont-ils maintenus ?
11. Comment les mouvements et transactions de stocks sont-ils gérés ?
12. Comment les moyens de manutention et de stockage sont-ils gérés ?
13. Comment les emballages et conditionnements sont-ils gérés ?

#### Questionnaire ASLOG sur la logistique de distribution :

1. Comment les prestations logistiques qui peuvent être fournies aux prospects sont-elles indiquées ?
2. Comment sont spécialisées les prestations logistiques qui seront fournies en matière de distribution et de transport ?
3. Comment la forme et la nature des informations échangées sont-elles préalablement définies avec le client ?
4. Comment les prévisions de ventes sont-elles élaborées et suivies ?

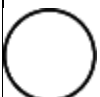


5. Comment les informations issues du client pour les opérations de distribution sont-elles utilisées ?
6. Comment les délais de livraison sont-ils définis ?
7. Comment les délais de livraison sont-ils définis ?
8. Comment la programmation des opérations est-elle assurée ?
9. Comment la préparation de commandes est-elle réalisée ?
10. Comment l'entreprise se comporte-t-elle pour assurer la traçabilité de ses flux de produits ?

## Annexe 2 : le langage BPMN

La norme BPMN (Business process model and notation) est employée pour modéliser des processus métier sous forme d'organigrammes clairs qui peuvent être partagés à l'échelle de toute une entreprise. Les symboles des diagrammes BPMN sont répartis en quatre catégories : les objets de flux, les objets de connexion, les couloirs et les artefacts.




### Types d'événement BPMN


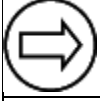


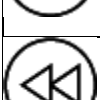
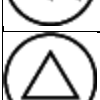
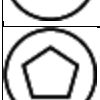
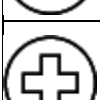
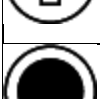
Les événements représentent un événement dans un processus métier.

	<b>Symbole Événement de début</b> : marque la première étape d'un processus.
	<b>Symbole Événement intermédiaire</b> : représente tout événement se produisant entre un événement de début et un événement de fin.
	<b>Symbole Événement de fin</b> : marque la dernière étape d'un processus.

### Symboles d'événement BPMN

Chacun de ces événements peut être modifié pour représenter les détails spécifiques de son processus. Les exemples ci-dessous sont représentés dans des événements de début, mais ils peuvent être combinés avec n'importe quel type d'événement. Les symboles d'événements les plus courants représentent les situations suivantes :

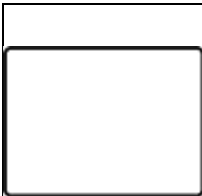

	<b>Symbole Message</b> : déclenche le processus, facilite les processus intermédiaires ou achève le processus.
	<b>Symbole Minuterie</b> : une heure ou une date, unique ou récurrente, déclenche le processus, facilite les processus intermédiaires ou achève le processus.
	<b>Symbole Escalade</b> : une étape réagit à une escalade et passe à une autre fonction dans l'entreprise. Cet événement n'est utilisé que dans un sous-processus d'événement. Une escalade se produit lorsqu'une personne ayant un niveau de responsabilité supérieur au sein de l'organisation devient impliquée dans un processus.

	<b>Symbole Conditionnel</b> : un processus démarre ou se poursuit lorsqu'une condition ou une règle métier est respectée.
	<b>Symbole Lien</b> : sous-processus s'inscrivant dans un processus plus important.
	<b>Symbole Erreur</b> : erreur détectée au début, au milieu ou à la fin d'un processus. Un sous-processus d'événement déclenchant une erreur interrompt toujours le processus qui le contient.
	<b>Symbole Annulation</b> : réaction suite à une transaction annulée au sein d'un sous-processus. Dans un événement de fin, le symbole Annulation représente l'annulation déclenchée d'un processus.
	<b>Symbole Compensation</b> : retour en arrière déclenché lorsque des opérations échouent partiellement.
	<b>Symbole Signal</b> : signal répercuté à travers différents processus. Le symbole Signal peut démarrer un processus, le faciliter ou l'achever.
	<b>Symbole Multiple</b> : déclencheurs multiples qui initient un processus.
	<b>Symbole Instance multiple parallèle</b> : instance de processus qui ne démarre, ne continue ou ne se termine que lorsque tous les événements possibles ont eu lieu.
	<b>Symbole Fin</b> : déclenche l'interruption immédiate d'une étape dans un processus. Toutes les instances liées prennent fin en même temps.

- **Symbole activités BPMN**

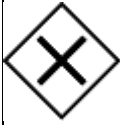

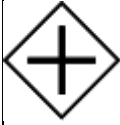




Les activités décrivent le type de travail que suppose une instance particulière d'un processus.

Il existe quatre types d'activités BPMN : les tâches, les sous-processus.

	<b>Symbole Tâche</b> : une tâche est le niveau le plus élémentaire d'une activité, et elle ne peut pas être décomposée en éléments plus simples. Par exemple, un processus de routine matinale peut inclure la tâche d'allumer son ordinateur.
	<b>Symbole Sous-processus</b> : un groupe de tâches qui s'agencent particulièrement bien. Il existe deux vues différentes pour les sous-processus. La première est la vue réduite. Elle est associée au signe « + » qui permet d'afficher plus de détails. La seconde est la vue élargie du sous-processus. Elle est suffisamment grande pour afficher toutes les tâches qui décrivent en détail le sous-processus.

- **Symboles de branchement BPMN**

Les branchements sont des symboles qui séparent et combinent des flux dans un schéma BPMN. Il existe plusieurs types de branchements :

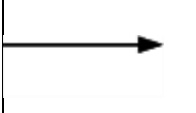
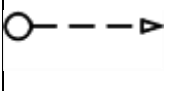

	<b>Symbole Exclusif</b> : évalue l'état du processus métier et, en fonction des cas, sépare le flux en un ou plusieurs chemins s'excluant mutuellement. Par exemple, un rapport sera écrit si le supérieur hiérarchique donne son accord ; aucun rapport ne sera écrit s'il ne le donne pas.
	<b>Symbole Dépendant d'un événement</b> : un branchement basé sur un événement est semblable à un branchement exclusif – tous deux impliquent un chemin dans le flux. Toutefois, dans le cas d'un branchement dépendant d'un événement, vous évaluez l'événement qui s'est produit, et non la condition qui a été remplie. Par exemple, il peut être préférable d'attendre que le PDG soit arrivé au bureau avant d'envoyer un e-mail. Si le PDG n'arrive pas, l'e-mail ne sera pas envoyé.
	<b>Symbole Parallèle</b> : ce type de branchement se distingue des autres en ce qu'il ne dépend pas de conditions ou d'événements. Au lieu de cela, les branchements parallèles sont utilisés pour représenter deux tâches simultanées dans un processus métier. Par exemple, un service marketing qui génère de nouveaux prospects tout en contactant des prospects existants.
	<b>Symbole Inclusif</b> : décompose le schéma de procédé en un ou plusieurs processus. Par exemple, un branchement inclusif pourrait représenter des actions commerciales engagées suite aux résultats d'une enquête consommateurs. Un processus peut être déclenché si le client est satisfait du produit A. Un autre est déclenché si le client indique qu'il est satisfait du produit B, et un troisième s'il n'est pas satisfait du produit A.
	<b>Symbole Dépendant d'un événement exclusif</b> : démarre un nouveau processus à chaque occurrence d'un événement ultérieur.
	<b>Symbole Complexe</b> : ces branchements ne sont utilisés que pour les flux les plus complexes dans un processus métier. Le cas typique d'utilisation d'un branchement complexe est lorsque plusieurs branchements sont nécessaires pour décrire le processus métier.
	<b>Symbole Dépendant d'un événement parallèle</b> : comme leur nom l'indique, ces branchements sont semblables à des branchements parallèles. Ils permettent



	le déroulement de plusieurs processus simultanément, mais contrairement aux branchements parallèles, ces processus dépendent d'un événement.
--	--

- **Objets de connexion dans un diagramme BPMN**

Les objets de connexion sont des lignes qui relient des objets de flux BPMN. Il en existe trois types différents : les flux séquentiels, les flux de message et les associations.

	<b>Symbole Flux séquentiel</b> : relie les objets du flux en une séquence adéquate.
	<b>Symbole Flux de message</b> : représente les messages d'un participant du processus à un autre.
	<b>Symbole Association</b> : montre les relations entre les artefacts et les objets de flux.

- **Couloirs dans un diagramme BPMN**

On utilise les couloirs pour organiser les différents aspects d'un processus dans un diagramme BPMN. Ils regroupent visuellement des objets, chaque aspect d'un processus étant ajouté dans un couloir séparé. Ces éléments peuvent être disposés horizontalement ou verticalement. Les couloirs servent à organiser les activités en catégories séparées, mais peuvent aussi révéler des retards, des manques d'efficacité, ainsi que les personnes responsables à chaque étape d'un processus.



- **Artefacts dans un diagramme BPMN**





Les artefacts représentent les informations pertinentes pour le schéma dans son ensemble, mais pas pour chaque élément individuellement. Les trois types d'artefact sont les annotations, les groupes et les objets de données qui peuvent être utilisés dans un diagramme BPMN. Tous trois sont utilisés pour compléter et décrire un processus BPMN.

**Les annotations** permettent au créateur du schéma de décrire des éléments supplémentaires du flux.

**Les groupes** organisent les tâches ou processus importants dans le processus global.

**Les objets de données** représentent les données intégrées dans le processus, les données résultant du processus, les données devant être collectées et les données devant être stockées.



	<b>Symbole Entrée de données</b> : représente les exigences des données dont dépendent les tâches du processus métier.
	<b>Symbole Sortie de données</b> : montre l'information produite suite à un processus métier.
	<b>Symbole Collecte de données</b> : représente l'information recueillie dans un processus métier.
	<b>Symbole Stockage des données</b> : représente la possibilité de stocker des données associées à un processus métier ou d'y accéder.

## Annexe 3 : les documents DDA

## Fiche navette :



DANONE DJURDJURA ALGERIE SPA



FICHE NAVETTE N° : 1000001

Transporteur	<input type="text"/>	Date de livraison	<input type="text"/>
Immatriculation	<input type="text"/>	N° BL	<input type="text"/>
Nom de chauffeur	<input type="text"/>		

Dépôt		Client	
Heure d'arrivée dépôt	<input type="text"/>	Heure d'arrivée client	<input type="text"/>
Heure de départ dépôt	<input type="text"/>	Heure de départ client	<input type="text"/>
Température camion	<input type="text"/>	Température camion	<input type="text"/>
Plombage des porte	OUI/NON	Plombage des porte	OUI/NON

EMBALLAGE			
<b>CAISSE</b>			
Solde caisse inclus livrison	<input type="text"/>	Référence Scellage	<input type="text"/>
Quantité Expédiée	<input type="text"/>	Quantité Réceptionnée	<input type="text"/>
Quantité Retournée	<input type="text"/>	Qtté receptionnée dépôt	<input type="text"/>
<b>PALETTE</b>			
Solde palette inclus livrison	<input type="text"/>		
Quantité Expédiée	<input type="text"/>	Quantité Réceptionnée	<input type="text"/>
Quantité Retournée	<input type="text"/>	Qtté receptionnée dépôt	<input type="text"/>

Produit	Aromes	DLC	Manque	Casse
yaoumi				
Fruix				
Dan'Up				
Danao 1L				
Danao 0,25L				
Nouveau Danino				
Nouveau Danino Kabir				
Danette				
Activia ferme				
Activia drink				
Danone Mini prix ferme				
Mini prix dessert				
Mini prix a boire				
Danone Brassé				
Dépôt chargement	Transporteur	Client	Dépôt réception	
Nom	Nom	Nom	Nom	
Signature et cachet	Signature et cachet	Signature et cachet	Signature et cachet	

**Bon de cession :****Bon de Cession**

n° 81588420

<b>Code Client :</b>	50002499
<b>Nom ou RS :</b>	DZ DDZ ALGER (DC)
<b>Adresse :</b>	RUE AISSAT IDIR AIN-BENIAN ALGER

<b>Date</b>	13/10/2010
<b>Page 1 / 1</b>	

Code produit	Désignation	Quantité (cagettes)	DLC	P / C	Cnd	Poids (Tonne)
49960	ACTIVIA FERME VANILLE	78	2010.11.06	1P	80	0,680
		<b>TOTAL</b>	78	1.000 P		0,680

VISA LIVRAISON	VISA CLIENT
----------------	-------------

USINE 01 B 0183769 Zone d'Activité Taharacht Akbo 06200 BEJAIA TEL : 034 35 95 27 FAX : 034 35 95 27
---