

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



**Département de Génie Industriel**

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

**Contribution à l'optimisation de la supply chain en Aval**  
**Application : Sidal Air Liquide Algérie.**

Présenté par :

M. Azeddine BEN HAMMOUDA  
M. Tarek Sohaib BIRECHE

Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI MCB

Présenté(e) et soutenue publiquement le (22/06/2020)

**Composition du jury :**

Président	Mme. Bahia BOUCHAFAA	MCA	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI	MCB	ENP
Examineur	Mme. Nadjwa BOUKADOUM,	MAA	ENP
Invité	M. Merzouk LOUAIFI		Sidal Spa



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



**Département de Génie Industriel**

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

**Contribution à l'optimisation de la supply chain en Aval**  
**Application : Sidal Air Liquide Algérie.**

Présenté par :

M. Azeddine BEN HAMMOUDA  
M. Tarek Sohaib BIRECHE

Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI MCB

Présenté(e) et soutenue publiquement le (22/06/2020)

**Composition du jury :**

Président	Mme. Bahia BOUCHAFAA	MCA	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI	MCB	ENP
Examineur	Mme .Nadjwa BOUKADOUM,	MAA	ENP
Invité	M. Merzouk LOUAIFI		Sidal Spa

## *DEDICACES*

*Je dédie ce travail,*

*À mes parents* pour avoir fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui, vous n'avez jamais cessé de m'encourager et me soutenir, je ne saurais vous remercier comme il se doit et que ce travail vous apporte l'estime, et le respect que je porte à votre égard, et soit la preuve du désir que j'avais depuis toujours pour vous honorer.

*À mes frères et mes sœurs.*

*À tous ceux qui me sont chers,*

*À tous mes amis.*

*Avec toute ma reconnaissance et ma profonde affection.*

*Azeddine*

*À mes très chers parents,* pour tous leurs sacrifices, leur dévouement, et leur soutien tout au long de mes études. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur du soutien Dont ils ne cessent de m'apporter. Que dieu les protège et leur procure Bonne santé et longue vie.

*À ma sœur et mon frère,*

*À tous mes amis,*

*À tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce mémoire.*

*Sohaib*

## REMERCIEMENT

*Tout d'abord, nous remercions **Allah**, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur, **Mr Iskander Zouaghi**, pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail, sa disponibilité à notre égard, ainsi que ses précieux conseils. Il nous a fait bénéficier de son expérience et de sa rigueur scientifique. Ses remarques et ses suggestions ont constitué un précieux apport.*

*Nous tenons aussi, à exprimer notre gratitude à **Mr Merzouk Louaifi** pour nous avoir accueilli au sein de son équipe et proposé le thème de notre projet.*

*Nous souhaitons également remercier le personnel de l'entreprise Sidal Air Liquide, en particulier **Islem, Mohamed, et Ali**, pour toute l'accessibilité aux informations et les facilités qu'ils nous ont accordées pour mener à bien ce travail.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à **l'ensemble des enseignants** du département du Génie Industriel qui ont contribué à notre formation et à tous qui ont participés de près et de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

*Merci à toutes et à tous.*

## RÉSUMÉ ET MOTS CLÉS

### ملخص:

تم إنجاز هذا العمل في إطار مشروع نهاية الدراسة، والذي يهدف إلى تحسين سلسلة الخدمات اللوجستية النهائية داخل شركة Sidal Air Liquide الجزائرية، وللقيام بذلك، نقوم أولاً بتشخيص الحالة الداخلية للشركة، ثم وضع نماذج تحسين لسلسلة الخدمات اللوجستية واقتراح حلول من ناحيتين، في الناحية الأولى نقوم بتحديد موقع جغرافي لمركز توزيع جديد يخص الغاز الصناعي للقطاع الصناعي التجاري، وفي الناحية الثانية نقوم بتحسين توزيع الغاز الطبي لقطاع الصحة، بالإضافة إلى اقتراح لنظام دعم القرار ولوحة تحكم للمراقبة الدائمة لسلسلة التوريد.

الكلمات المفتاحية: التحسين، سلسلة التوريد النهائية، التشخيص، التوزيع، مركز التوزيع.

### ABSTRACT :

This work was carried out as part of the end-of-study project, the objective of which is to optimize the supply chain downstream within the company Sidal Air Liquide Algeria. To do this, we started with an intern diagnosis of the company then elaborate mathematical models of supply chain optimization and then propose solutions on two sides, on the one hand, the determination of a location for a new distribution center for industrial gases for the merchant industrial sector, and on the other hand, an optimization of the distribution of medical gases for the health sector, as well as a proposal for a decision support system and a dashboard for permanent monitoring of the Supply Chain.

Key words: optimization, downstream supply chain, diagnosis, distribution, distribution center.

### RÉSUMÉ :

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de fin d'étude, dont l'objectif est d'optimiser la chaîne logistique en aval au sein de l'entreprise SIDAL Air Liquide Algérie. Pour ce faire, nous avons fait un diagnostic interne de l'entreprise. Ceci nous a permis d'élaborer des modèles mathématiques d'optimisation de la chaîne logistique et ensuite proposer des solutions sur deux volets, d'une part, la détermination d'une localisation pour un nouveau centre de distribution des gaz industriels pour le secteur de l'industriel marchand, et d'une autre part, une optimisation de la distribution des gaz médicaux pour le secteur de la santé, ainsi qu'une proposition d'un système d'aide à la décision et d'un tableau de bord pour le suivi permanent de la Supply Chain.

Mots clés : optimisation, Supply Chain en aval, diagnostic, distribution, centre de distribution.

## Table des matières

<b>Table des matières</b> .....	7
<b>Liste des tableaux</b> .....	9
<b>Liste des figures</b> .....	10
<b>Introduction générale</b> .....	11
<b>Chapitre 1 Étude de l'existant</b> .....	14
<b>Introduction</b> .....	15
<b>Section 1 : Présentation du marché du gaz industriel et du groupe Air Liquide</b> .....	15
<b>I. Présentation de la dynamique concurrentielle générale du marché algérien des gaz industriels</b> .....	15
<b>II. Présentation du groupe Air Liquide</b> .....	16
<b>II.1. Description de l'environnement du groupe</b> .....	17
<b>II.2. Description des activités du groupe</b> .....	17
<b>II.3. Description de la Supply chain du groupe</b> .....	20
<b>Section 2 : Présentation et diagnostic de l'entreprise</b> .....	22
<b>I. Présentation de SIDAL Air Liquide</b> .....	22
<b>II. Diagnostic de l'entreprise</b> .....	29
<b>II.1. La production</b> .....	29
<b>II.2. Le service conditionnement</b> .....	29
<b>II.3. Le service logistique</b> .....	30
<b>III. Énoncé de la problématique</b> .....	38
<b>Conclusion</b> .....	38
<b>Chapitre 2 État de l'art</b> .....	39
<b>Introduction</b> .....	40
<b>I. Supply chain management dans l'industrie des gaz</b> .....	40
<b>I.1. Logistique et Supply chain management</b> .....	40
<b>I.2. Supply chain management dans l'industrie des gaz</b> .....	42
<b>II. Le supply chain design</b> .....	44
<b>II.1. Les coûts logistiques</b> .....	44
<b>II.2. Le centre de distribution</b> .....	45
<b>II.3. Les problèmes de location-allocation</b> .....	46
<b>II.3.1. Les modèles continus de localisation des installations</b> .....	46
<b>II.3.2. Les modèles discrets de localisation des installations</b> .....	48
<b>II.4. Le problème de transport</b> .....	51
<b>II.5. Supply chain design dans l'industrie des gaz</b> .....	55

---

Conclusion.....	58
Chapitre 3 L'optimisation de la chaîne logistique en aval.....	59
Introduction.....	60
Section 1 : Le projet de l'industriel marchand.....	60
I. La détermination du point de la conception de la chaîne logistique à travers les modèles continus.....	60
I.1. Résultats de la méthode de Barycentre.....	60
I.2. Résultats de la méthode de Weber.....	61
II. La détermination du point de la conception de la chaîne logistique par un modèle discret.....	63
II.1. Élaboration du modèle mathématique.....	63
II.2. Résultats du modèle élaboré.....	65
III. Comparaison et interprétation des résultats.....	69
Section 2 : le projet de l'Oxygène médical.....	71
I. L'optimisation des tournées par le modèle VRP.....	72
I.1. Élaboration du modèle mathématique.....	72
I.2. Résultats du modèle élaboré.....	75
II. La proposition d'un nouveau système de zonage.....	78
III. Comparaison avec la situation actuelle.....	78
IV. Amélioration de la solution de distribution de l'oxygène médical.....	79
V. Amélioration du taux de rotation des bouteilles.....	82
Section 3 : Conception d'un système d'aide à la décision et proposition d'un tableau de bord.....	84
I. Proposition d'un système de codification de la bouteille.....	84
II. Conception d'un système de suivi de la bouteille.....	85
III. Proposition de tableau de bord pour l'entreprise.....	88
Les Perspectives des solutions proposées.....	91
Conclusion.....	92
Conclusion générale.....	93
Bibliographie.....	95
Annexes.....	99

---

## Liste des tableaux

Table 1: Pareto des commandes. ....	32
Table 2: Pareto des quantités.....	33
Table 3: Pareto des chiffres d'affaires.....	34
Table 4: Classification ABC multicritère des produits. ....	35
Table 5: Résultat de la méthode de Barycentre sur la région d'Ouest. ....	60
Table 6: Résultat de la méthode de Weber sur la région d'Ouest. ....	62
Table 7: Comparaison des gains entre le cas actuel et les résultats des différentes méthodes.....	69
Table 8: Le nouveau système de zonage.....	78
Table 9: Le gain en cout de livraison entre l'état actuel et les résultats du modèle. ....	78
Table 10: Segmentation Clients par périodicité de la demande. ....	79
Table 11: La table des dimensions. ....	86
Table 12: La table des faits. ....	87
Table 13: Tableau explicatif des KPI proposés. ....	89

## Liste des figures

Figure 1: Schéma illustrant les activités d’Air Liquide .....	18
Figure 2: Chiffre d’affaires du groupe 2019 par activité .....	19
Figure 3: Schéma illustratif des différentes étapes de production des gaz de l’air .....	23
Figure 4: Le code couleur des bouteilles des gaz industriels .....	26
Figure 5: La configuration de l’entrepôt selon la Règlementation Européenne relative au stockage de gaz. ....	27
Figure 6: Règles de disposition des bouteilles selon le type de gaz.....	28
Figure 7: Schéma illustrant les différents flux et structures de l’entreprise.....	29
Figure 8: Le pourcentage des ventes par DC.....	31
Figure 9: Le pourcentage des ventes par région. ....	31
Figure 10: Les quantités vendues par produit.....	31
Figure 11: Les commandes par produit.....	31
Figure 12: Graphe de la cumulation des commandes.....	32
Figure 13: Graphe de la cumulation des quantités. ....	33
Figure 14: Graphe de la cumulation des chiffres d’affaires. ....	34
Figure 15: Les entrées du géo-codeur.....	36
Figure 16: La concentration et la répartition des clients dans le pays.....	36
Figure 17: Le pourcentage des distances parcourues .....	37
Figure 18: La répartition des clients de l’entreprise pour le marché du médical. ....	37
Figure 19: Une représentation basique d’une chaîne logistique .....	41
Figure 20: Représentation explicatif du supply chain management.....	42
Figure 21: Schéma représentant les principaux maillons de la chaîne logistique dans l’industrie des gaz. ....	43
Figure 22: Les différents coûts logistiques .....	45
Figure 23: Schéma illustratif d’un VRP classique.....	52
Figure 24: Les algorithmes de résolution .....	54
Figure 25: Le positionnement du DC sur Sirat, Mostaganem. ....	61
Figure 26: Le positionnement du DC sur Sidi Abdelmoumen, Mascara.....	62
Figure 27: Le fichier des données sur Cplex cas du DC. ....	66
Figure 28: Le fichier modèle sur Cplex cas du DC.....	67
Figure 29: La solution du Cplex cas du DC.....	68
Figure 30: Le nouveau système de zonage après l’ouverture de 3 DC. ....	68
Figure 31: La localisation d’Es’sénia dans la wilaya d’Oran.....	70

---

Figure 32: L'emplacement du zone industrielle d'Es'sénia. ....	70
Figure 33: Le fichier des données sur Cplex cas de l'Oxygène médical. ....	75
Figure 34: Le fichier modèle sur Cplex cas de l'Oxygène médical.....	76
Figure 35: La solution du Cplex cas de l'Oxygène médical. ....	77
Figure 36: Les résultats de l'affectation qui a été faite par Cplex. ....	77
Figure 37: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex .....	77
Figure 38: Diagramme comparant le coût total dans les deux cas .....	78
Figure 39: Diagramme comparant la distance totale parcourue dans les deux cas. ....	78
Figure 40: Le fichier des données sur Cplex adapté pour faire les simulations. ....	80
Figure 41: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex pour le scénario1 .....	80
Figure 42: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex pour le scénario2 .....	81
Figure 43: Représentation des tournées optimales des différents scenarios sur Google Maps. ....	81
Figure 44: Diagramme montrant l'écart entre la demande annuelle actuelle et la demande qu'on doit satisfaire pour atteindre un taux égal à 9. ....	83
Figure 45: Le code proposé pour la suivre de la bouteille .....	85
Figure 46: Représentation du modèle BI en étoile. ....	88
Figure 47: Tableau de bord montrant les analyses de l'oxygène médical pour l'années 2019. ....	90
Figure 48: Schéma de synthèse pour le travail effectué dans ce chapitre.....	92

## Liste des abréviations

**API** : Application Programming Interface.

**ASU** : L'unité de séparation de l'air.

**B20** : Bouteille de 20L.

**B50** : Bouteille de 50L.

**BI** : Business intelligence.

**CA** : Chiffre d'affaire.

**COVID-19** : CoronaVirus Disease 19.

**CRM** : Customer Relationship Management.

**CYL** : Cylindre.

**DC** : Centre de Distribution.

**ERP** : Enterprise Resource Planning.

**GPS** : Global Positioning System.

**HC** : Health Care.

**IBM** : International Business Machines Corporation.

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation.

**Km** : Kilomètre.

**KPI** : Key Performance Indicator.

**LGA** : Linde Gas Algérie

**m3** : Mètre cube.

**OPL** : Optimization Programming Language.

**PH** : pression Hydrostatique.

**PW** : pression de service.

**SCM** : Supply Chain Management.

**SRM** : Supplier Relationship Management.

**SWOT** : Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats.

**TDB** : Tableau de bord.

**TSP** : Traveling Salesman Problem.

**VRP** : Vehicle Routing Problem.

# **Introduction générale**

Dans un environnement très variant et avec des produits très sensibles, ainsi que l'apparition de nouveaux concurrents qui cherchent à satisfaire les clients en efficacité, les entreprises explorent de nouvelles pistes d'amélioration et de développement dans lesquelles le profit n'augmente pas seulement par la maximisation de la production et la réduction des coûts. Ainsi, elles se précipitent pour trouver une meilleure et nouvelle solution afin de renforcer son poids et sa pérennité sur le marché.

La supply chain est l'un des aspects les plus concernés, les plus améliorés et optimisés par des modèles qualitatifs et quantitatifs tels que les modèles mathématiques de prévision, de planification et de distribution.

Cependant, la distribution peut être définie comme le flux séquentiel de procédures, de systèmes et d'activités conçues et liées pour faciliter et surveiller le mouvement des biens et services de la source de production au consommateur. Essentiellement, la distribution consiste à mettre les produits et les services à la disposition des utilisateurs finaux au moment et à l'endroit où ils en ont besoin. Les exigences des clients en termes de temps et d'emplacement créent un défi pour les entreprises en Algérie et dans le monde entier, et particulièrement dans le secteur du gaz industriel.

Le secteur des gaz industriels en Algérie devient très attractif, vu la sensibilité des produits et ses dangers et l'augmentation du niveau de concurrence grâce à l'introduction de nouveaux acteurs sur le marché, ainsi que l'augmentation brusque de la demande des gaz médicaux par les clients du secteur de la santé à cause de la crise sanitaire et l'apparition de COVID-19 qui met les entreprises en situation délicate et exceptionnelle ce qui les contraint à changer leurs stratégies.

Les entreprises doivent s'adapter à la dynamique du marché pour pouvoir rester compétitives et assurer la satisfaction des clients combinés à la réduction des coûts et produits moins chers et de haute qualité.

Notre travail consiste à mener une étude visant l'optimisation de la Supply Chain en aval de Sidal Air Liquide Algérie en agissant sur deux volets. Le premier consiste à trouver un emplacement optimal du nouveau centre de distribution, permettant de minimiser la distance totale parcourue pour satisfaire les clients ; et le second vise le secteur de la santé et qui a pour but la minimisation des coûts de distribution et l'augmentation du taux de rotation des bouteilles afin de pouvoir faire face aux demandes clients de ce secteur.

Le présent travail est ainsi articulé autour de trois (03) chapitres. Après une introduction générale spécifiant le contexte de l'étude, le chapitre 1 sera divisé en deux sections, la première sera consacrée à la présentation de l'entreprise et les caractéristiques du marché des gaz industriels. La deuxième section sera dédiée au diagnostic de l'entreprise où nous allons faire des analyses sur les ventes, les produits ainsi qu'une analyse des clients, et à la fin nous clôturerons ce chapitre par l'énoncé de la problématique.

Le second chapitre sera consacré à la recherche bibliographique, en vue de présenter les différentes notions autour de la Supply Chain et les modèles qui nous permettent de résoudre notre problématique, dont les modèles de distribution et de location-allocation.

Le troisième chapitre sera dédié à la présentation de la solution que nous avons proposée sur les deux volets, à savoir le volet de l'industriel marchand, et le volet du secteur de la santé.

Enfin, nous finirons par une conclusion générale qui synthétisera notre travail et des recommandations afin de clore ce travail.

# **Chapitre 1**

## **Étude de l'existant**

## Introduction

Les gaz industriels sont des gaz manufacturés, issus de la distillation de l'air. Il s'agit par exemple de l'oxygène, l'azote, l'argon, l'hélium, l'hydrogène, le gaz carbonique et autres gaz rares. Grâce à leurs propriétés physiques et chimiques, ils sont utilisés dans la majorité des secteurs industriels à savoir la santé, l'agroalimentaire (boissons gazeuses par exemple), la métallurgie, l'électronique, la pétrochimie, etc. Ils peuvent être utilisés purs ou en mélange pour diverses applications industrielles telles que la chimie, la transformation des métaux (oxygène, argon).

Le marché des gaz industriels est très concentré, entre les mains de quelques grands groupes tels qu'Air Liquide, Linde ou encore Air Products.

Les gaz industriels sont par ailleurs concernés par de nombreuses critiques quant à la pollution des industries, la gestion des déchets industriels et la protection de l'environnement, pour le cas de l'Algérie il existe des réglementations sévères concernant le secteur des gaz industriels.

Ce chapitre sera divisé en deux sections, la première section sera consacrée à la présentation du marché Algérien des Gaz de l'air (Gaz industrielle), ainsi que la présentation du groupe multinational français AIR LIQUIDE et sa filiale SIDAL AIR LIQUIDE présente en Algérie. Tandis que la deuxième section traitera le diagnostic qui a été fait au sein de l'entreprise SIDAL AIR LIQUIDE et le chapitre sera clôturé par l'énoncé de la problématique.

## Section 1 : Présentation du marché du gaz industriel et du groupe Air Liquide

Dans cette section, nous allons parler dans un premier temps du marché algérien des gaz industriels en présentant sa dynamique concurrentielle générale, puis nous allons présenter le groupe multinational Air Liquide ainsi que ses activités et sa supply chain.

### I. Présentation de la dynamique concurrentielle générale du marché algérien des gaz industriels

Le marché des gaz industriels devient très attractif et plus rentable pour le secteur de l'industrie et le secteur de la santé. Le leader de ce marché est Linde Gas Algérie, le premier producteur des gaz de l'air dans le pays. Cette multinationale allemande est un acquittement de la société nationale de gaz industriel, créée en 2007. La société allemande Linde Gas possède 66% des actions, tandis que le groupe public Algérien, détient une part de 34%.

Linde Gas Algérie possède neuf sites de productions plus une cinquantaine de concessionnaires positionnés sur le territoire national et elle règne sur le marché des gaz industriels notamment celui de gaz médicaux.

Ce monopole a créé en 2010, une pénurie de gaz de protoxyde d'azote et d'oxygène dans les hôpitaux. Les pouvoirs publics à cette époque, avaient estimé que LGA n'avait pas respecté ses engagements contractuels, créant une tension sur l'approvisionnement des hôpitaux et les structures sanitaires en gaz industriel à usage médical.

Ainsi, LGA est accusée par les acteurs du secteur des gaz industriels, de tirer profit de sa position de leader pour « créer des tensions ». L'entreprise s'accapare de 70% de ce marché malgré la présence d'autres opérateurs dans ce secteur, notamment le français Air Liquide et l'Allemand Messer. Des firmes leaders dans le domaine mais qui disposent en Algérie de parts de marchés moins importantes.

La Sonatrach a toujours affiché sa volonté à développer le secteur des gaz industriels, pour les besoins de ses unités et du secteur des hydrocarbures en général, qui est un des grands consommateurs de gaz industriels. Pour cette raison, le groupe pétrolier national a créé en 1998, la Société de Conditionnement et Commercialisation des Gaz Industriels (COGIZ).

Cette filiale ambitionne de développer ses activités et a lancé en 2016 un avis d'appel d'offres restreint pour la réalisation d'une usine de production d'azote, d'argon et d'oxygène à Haou-Berkaoui Wilaya de Ouargla et à Arzew, d'une capacité de 200 tonnes jour chacune.

Mais en 2018, un nouvel opérateur est sur le point de faire son entrée dans la cour des producteurs de gaz industriels. Il s'agit de Calgaz, une filiale du groupe algérien privé K3A. Cette entreprise émergente inaugurera une usine de production d'azote et d'oxygène à Laghouat et une seconde unité à Ouargla, au mois de décembre prochain, pour une production de 200 tonnes/jour de gaz chacune. Le plan de développement à court terme de cette entreprise, prévoit également le lancement de trois autres usines à In Amenas, Adrar et Mascara, de 200 tonnes/jours de gaz industriel chacune.

La demande nationale en gaz industriels et médicaux demeure importante comparativement à l'offre nationale. Ce déséquilibre est imputé au manque d'investissements engagés dans le secteur des gaz industriels & médicaux. Lequel secteur ne compte que quelques opérateurs, entre autres Linde Gas Algérie, Air Liquide Algérie et Inoxpa Algérie.

Ce qui explique les pénuries répétitives de ces gaz, notamment dans les établissements de santé, obligeant ainsi les pouvoirs publics à recourir à l'importation. Depuis la cession de l'Entreprise nationale des gaz industriels (Engi) et la Société d'installation et de diffusion de matériel technique en Algérie (Sidal), respectivement à Linde Gas et Air Liquide, les pouvoirs publics n'ont pas créé d'autres entreprises nationales. Devant l'absence d'investissements nationaux dans ce domaine, les groupes français, allemand et espagnol, en l'occurrence Air Liquide, Linde Gas et Inoxpa ont œuvré à renforcer leur présence en Algérie.

(Conjoncture RH Algérie, 2018 - N°80, P25).

## II. Présentation du groupe Air Liquide

Air Liquide est un groupe industriel français d'envergure internationale et un leader mondial des gaz, technologies et services pour l'industrie et la santé, construit son leadership depuis 1902.

Il est le fruit d'une innovation et de la rencontre de deux hommes : Georges Claude, l'inventeur de la production industrielle d'oxygène à partir d'air liquide, et Paul Delorme, un entrepreneur visionnaire.

En 1906, le groupe a fait ces premiers développements à l'international. « Les gaz sont difficilement transportables et requièrent une production locale. » C'est une des raisons pour lesquelles, très tôt, Air Liquide met le cap sur l'international et construit de nombreuses unités de production à l'étranger. Le développement est rapide en Europe (en 1906), puis au Japon (en 1907), au Canada (en 1911) et aux États-Unis (en 1916).

Aujourd'hui, le groupe est présent dans 80 pays avec plus de 67000 collaborateurs et sert plus de 3,6 millions de clients et de patients avec un capital social de 63,9 milliards d'Euro et plus de 67 200 employées.

### **II.1. Description de l'environnement du groupe**

Air liquide est le plus grand fournisseur mondial de gaz industriel, médical, liquide, de produits chimiques et biologiques avec 28% des parts de marché et le leader dans l'hydrogène avec une part du marché mondial de plus de 33% et une très forte capacité de Recherche et Développement dont 330 brevets déposés en 2019. Il est diversifié en termes de géographie, de produits et clients et présent à travers 100 filiales qui sont implantées dans 80 pays notamment en Europe, Amérique, en Asie-Pacifique et en Afrique avec une main d'œuvre de 67 000 employés, en offrant plus de 30 produits et en satisfaisant des clients de différents secteurs tel que l'industriel, santé, l'électronique. Par contre, le groupe se trouve devant le problème de la hausse des coûts de production à cause de l'augmentation des coûts de l'énergie en raison de la hausse de la demande mondiale, plus le problème des capacités de production qui sont limitées par rapport à la demande et la baisse de la part de marché à cause de l'arrivée de la concurrence.

Le groupe connaît des opportunités pour se développer encore plus, telle que l'énergie solaire qui apparaît comme une source d'énergie durable et la signature de contrats avec des producteurs de cellules photovoltaïques plus la Mise en place du programme ALMA, Ce programme de réduction des coûts de 600 millions d'euros sur trois ans doit permettre au groupe d'accélérer sa croissance et de poursuivre l'amélioration de sa compétitivité et d'améliorer sa performance. Le marché mondial des gaz industriels présente des menaces pour le groupe telle que la mise en place d'une réglementation anti-trust et les instabilités dans certains pays où le groupe s'est établi plus la concurrence intensive dû à la présence des grands concurrents dans le marché (Linde AG, Praxair, Air Products et Chemicals Inc), ce qui peut mettre un frein à la croissance du groupe.

(Air Liquide, 2019)

### **II.2. Description des activités du groupe**

Les activités du Groupe sont organisées de la manière suivante : Gaz & Services, Ingénierie & Construction, Marchés Globaux & Technologies, et sont au service d'un seul métier, celui des gaz industriels. Les quatre branches qui constituent les activités Gaz & Services sont étroitement liées par une logique industrielle forte qui privilégie la proximité.

Le schéma ci-dessous illustre la mutualisation des actifs de production ou de distribution entre les différentes branches pour une zone géographique donnée. Ce maillage industriel et sa proximité avec ses clients permettent à Air Liquide :

- D'accroître sa fiabilité ;
- D'optimiser sa consommation énergétique, ses coûts et ses flux logistiques ;
- D'anticiper les besoins de ses clients ;
- De comprendre les évolutions des marchés ;
- De proposer des solutions innovantes.

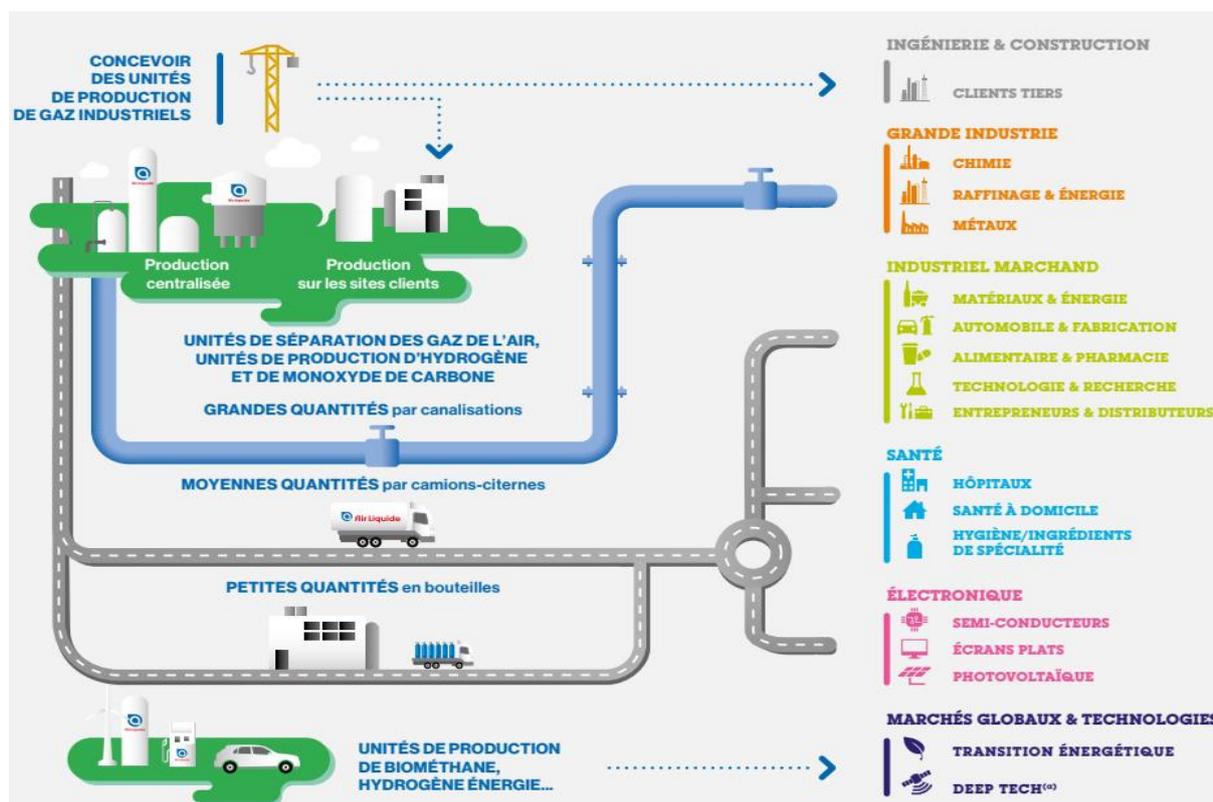


Figure 1: Schéma illustrant les activités d'Air Liquide (Air Liquide, 2019)

### II.2.1. Gaz & Services

Les Gaz & Services sont composés de quatre branches d'activité mondiale pour mieux accompagner les évolutions et répondre à la demande des différents marchés : Grande Industrie, Industriel Marchand, Santé et Électronique.

La fourniture de gaz implique une production locale afin de limiter les coûts de transport. Les unités de production de gaz du groupe Air Liquide sont donc réparties dans toutes les régions du monde et peuvent approvisionner de nombreux types de clients et d'industries, selon les volumes et les services requis. Air Liquide est organisé autour d'une base, à Paris, et de quatre pôles : Amériques, Europe, Asie-Pacifique et Moyen-Orient & Afrique. Ces pôles s'appuient sur les compétences et la présence du Groupe dans ces zones géographiques.

**a. La Grande Industrie :** fournit des gaz industriels en exploitant des unités de production de grande taille. Elle sert les clients dans les secteurs de la métallurgie, de la chimie, du raffinage et de l'énergie, dont les volumes importants en gaz justifient une usine dédiée ou le développement d'un réseau de canalisations.

La Grande Industrie approvisionne aussi les autres branches d'activité du Groupe, en leur fournissant les gaz qui sont ensuite conditionnés et livrés à leurs clients respectifs.

**b. L'Industriel Marchand :** fournit une gamme variée de gaz, d'équipements d'application et de services associés. Elle sert les industries et les professionnels avec des volumes plus petits que les clients Grande Industrie. Le gaz peut être distribué en vrac, sous forme liquide, ou en bouteilles, sous forme gazeuse, pour les plus petites quantités. Enfin, de petites unités de production peuvent être installées localement pour les clients avec des besoins en gaz plus importants, ou pour des géographies isolées.

**c. La Santé :** fournit des gaz médicaux, des produits d'hygiène, des équipements ainsi que des services aux hôpitaux, mais aussi directement à domicile, chez les patients. Elle produit et distribue également des ingrédients de spécialité pour la santé destinée aux marchés du cosmétique, de la pharmacie et des vaccins.

**d. L'Électronique :** fournit des gaz, des matériaux (molécules complexes) intervenant au cœur des processus de fabrication, et des services utilisés essentiellement pour la production des semi-conducteurs mais aussi des écrans plats et des panneaux photovoltaïques.

Les synergies dont bénéficient l'ensemble des activités du Groupe ne se limitent pas à la dimension industrielle, mais englobent également l'expertise scientifique et technologique, la démarche innovation ainsi que les ressources humaines et la gestion financière et administrative. Ainsi, la forte intégration des différentes branches d'activité mondiale permet au Groupe de créer des synergies, de se renforcer et de croître tout en créant de la valeur sur le long terme.

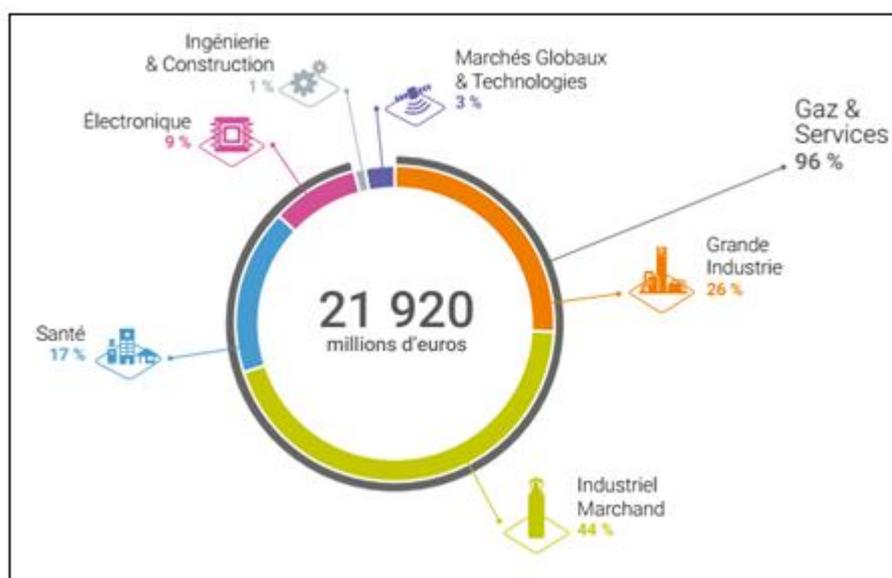


Figure 2: Chiffre d'affaires du groupe 2019 par activité (Air Liquide, 2019)

### II.3. Description de la Supply chain du groupe

L'activité gaz industriel comprend principalement les trois principaux gaz de l'air : l'azote, Oxygène, argon et les mélanges entre les deux, dioxyde de carbone, acétylène et hydrogène plus les gaz de l'air les plus nobles comme l'hélium, le xénon, etc., souvent appelés gaz spéciaux,

Les gaz de l'air sont extraits de l'air dans les unités de séparation d'air (ASU) dans un processus de distillation où les gaz sont séparés et stockés dans des réservoirs de stockage à l'état liquide. Le gaz liquéfié est transporté vers les sites de production où il est vaporisé sous forme gazeuse et rempli dans des cylindres.

Les gaz sont remplis dans des bouteilles, principalement en acier, sur des sites de production appelés « fill plants ». En règle générale, il distingue les usines qui remplissent les principaux gaz de l'air, Usines d'acétylène, usines d'hydrogène et usines de gaz spécial. Lorsque le propane est inclus dans l'entreprise, il s'agit également d'une usine distincte. Dans certains cas, un seul emplacement peut avoir plus d'un type d'usine. Par exemple, il pourrait

remplir à la fois les gaz de l'air et L'acétylène. De plus des usines de production, il peut y avoir des entrepôts. Nous pouvons résumer les différents emplacements comme :

- a. Unités de séparation d'air, où les gaz de l'air sont distillés de l'air et liquéfié pour le stockage et le transport vers les usines de remplissage de bouteilles.
- b. Installations de remplissage de bouteilles, où le gaz liquéfié est vaporisé et rempli dans cylindres.
- c. Installations spéciales, pour les gaz comme l'acétylène, l'hydrogène, l'hélium, les gaz spéciaux.
- d. Entrepôts, sites sans production, juste un lieu de stockage.

Le transport du gaz liquéfié de l'ASU aux usines de remplissage se fait généralement par des camions-citernes. Étant donné que le gaz liquéfié a une densité beaucoup plus élevée que le gazeux le coût de ce transport par citerne n'est qu'une très petite partie du coût total dans le réseau logistique. Dans de nombreux cas, les transports de citernes ne sont pas inclus dans le modèle de réseau en raison du faible impact sur le résultat global.

À l'usine de remplissage, les gaz liquéfiés, principalement l'oxygène, l'azote et l'argon en différentes puretés, sont conservées dans des réservoirs de stockage cryogéniques. Le gaz liquéfié est vaporisé sous forme gazeuse à l'aide du SKID et remplis sous pression dans des cylindres. Les produits finaux pourraient être des gaz purs ou des mélanges de ceux-ci. Certains des produits comme l'acétylène, l'hydrogène et Le propane sont produits par un processus chimique et pour cela ils nécessitent des usines dédiées.

Les cylindres varient généralement en taille de moins de 1 à plus de 50 litres volume d'eau. Pour certains produits, il existe un certain nombre de cylindres. Pour le transport, les cylindres sont placés en palettes spécialement conçues.

Depuis les usines, les cylindres peuvent être déplacés vers un entrepôt déterminé ou vers les clients.

Le transport de bouteilles pleines entre les entrepôts et les clients sont des transports d'une origine à un point final. Les cylindres vides seront ramassés et retourné à l'endroit où ils étaient remplis.

Les livraisons aux clients peuvent être effectuées sur deux canaux différents ; soit ils sont livrés directement par la compagnie gazière ou via des partenaires commerciaux externes qui vendent le produit.

La distribution aux partenaires commerciaux et aux clients directs se fait lors de tournées avec plusieurs arrêts. Une visite peut inclure à la fois des partenaires commerciaux et des clients directs. Tous les produits d'une même commande sont livrés d'une même source à un client spécifique, c'est-à-dire que les produits doivent être consolidés aux endroits où la distribution commence.

Le coût total du transport et de la distribution est, par rapport à la valeur du produit, élevé du fait que le réseau d'approvisionnement peut être assez complexe, il est évident qu'il est nécessaire de disposer d'outils efficaces pour améliorer l'efficacité du réseau.

Dans ce qui suit, nous allons présenter SIDAL Air Liquide qui est la filiale du groupe Air Liquide en Algérie ainsi que ses différents services.

## **Section 2 : Présentation et diagnostic de l'entreprise**

Dans ce qui suit, nous allons présenter l'entreprise SIDAL Air Liquide ainsi que ses différents services puis nous allons passer au diagnostic de l'entreprise où nous allons effectuer des analyses sur les ventes, les produits ainsi qu'une analyse des clients.

### **I. Présentation de SIDAL Air Liquide**

Air liquide a commencé son activité en Algérie en 2013 à travers sa filiale SIDAL Spa en proposant des produits pour l'industriel marchand et la santé.

L'entreprise possède une usine de production et de conditionnement à Réghaia, Alger et deux agences commerciales à Oran et Constantine, plus un entrepôt de stockage à Constantine.

L'entreprise est spécialisée dans la production, le conditionnement et la distribution de l'oxygène, l'azote, l'argon, l'hydrogène et le dioxyde de carbone, plus l'Oxygène médical.

#### **I.1. Les services de l'entreprises**

Sidal air liquide est composée de plusieurs services qui font des activités complémentaires afin de satisfaire le processus global de l'entreprise, et dans ce qui suit nous allons présenter ces différents services.

##### **I.1.1. Le service production**

L'usine possède une unité de séparation de l'air (ASU) avec une capacité de production journalière de 35T, elle produit principalement l'Oxygène et l'Azote avec des pourcentages qui varient selon la demande.

###### **I.1.1.1. Le processus de production**

Ce que nous appelons communément « air » est un mélange de différents gaz formés par l'atmosphère de notre planète. L'air est composé essentiellement d'azote (78 %) et d'oxygène (21 %), d'une petite partie d'argon (1 %) et d'autres gaz dits « rares » en très petites quantités.

Afin de récupérer ces gaz, nous utilisons des unités de séparation d'air (ASU). Dans ces unités, nous mettons en œuvre un procédé physique pour séparer les différents composants de l'air.

Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes de production du gaz de l'air :

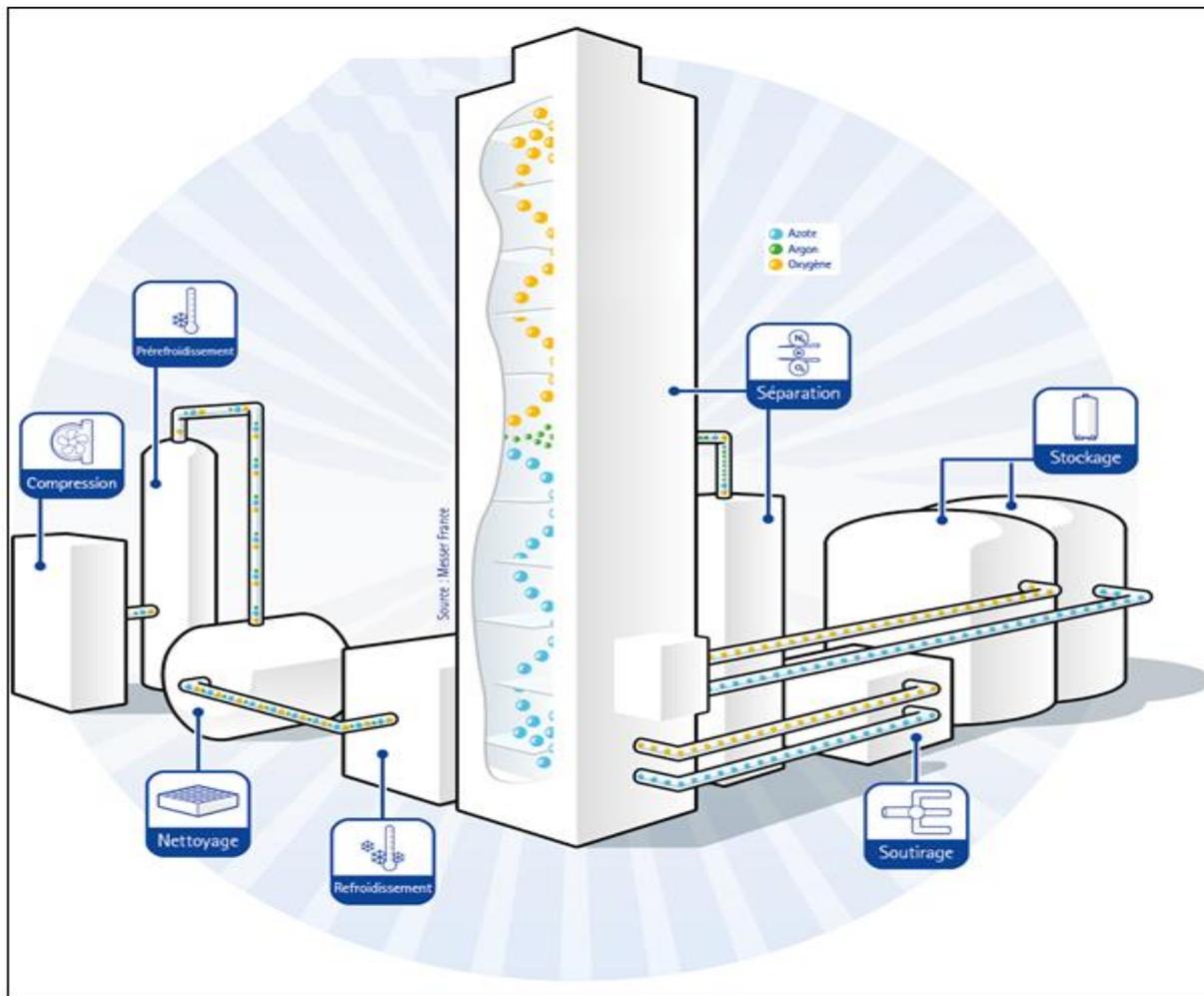


Figure 3: Schéma illustratif des différentes étapes de production des gaz de l'air (Air Liquide, 2019).

Voici de manière simplifiée comment se déroule ce procédé, appelé également rectification à basse température :

- **L'Aspiration de L'air** : l'air ambiant est aspiré.
- **Le Filtrage** : l'air aspiré passe par deux filtres afin d'éliminer la poussière
- **La compression** : l'aire aspiré passe par un compresseur à trois étages et il est comprimé à 1bar, 3bar et 5bar.
- **Pré-refroidissement** : avec de l'eau de refroidissement.
- **La purification** : elle se fait dans deux Dryer Beds, un en fonctionnement et l'autre en régénération, l'air est épuré des molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) pour éviter la formation de glace et de neige carbonique lors du refroidissement.

La Régénération se fait pour nettoyer le Bed après sa saturation (après 8h de fonctionnement) et elle se fait en 4 étapes :

1. Décompression
2. Heating (150° à 160°)
3. Cooling (faut que le Bed soit à la même température que le BED en fonctionnement)
4. Compression

- On souffle le Bed en régénération par le « Waste Gas » (N<sub>2</sub>)

- **Le Refroidissement** : l'air est refroidi à  $-175\text{ °C}$  dans un échangeur thermique, puis liquéfié.
- **La Distillation** : elle se fait dans la colonne de séparation qui est composée de deux colonnes :
  - Première colonne : distillation moyenne pression environ 6 bar et la production d'Azote
  - Deuxième colonne : distillation basse pression environ 1,4 bar et la production de dioxygène.
- **La Séparation d'Argon** : le mélange ( $\text{O}_2 + \text{Ar}$ ) est absorbé à partir d'une couche bien définie de la colonne de séparation (colonne basse pression), un réacteur est utilisé pour séparer le mélange en brûlant l' $\text{O}_2$  en utilisant le  $\text{H}_2$  afin d'obtenir le  $\text{H}_2\text{O}$  (non polluant). Après cela, la pression augmente pour refroidir l'Argon puis il est distillé pour assurer sa purification et pour enfin le récupérer.
- **L'Analyse** : à la sortie de la colonne de séparation et avant que l'air soit stocké, il passe par le « Gas purity analyser » afin d'analyser le pourcentage de pureté du produit final et assurer sa conformité.

Les gaz de l'air (azote, oxygène et argon) ainsi produits sont ensuite stockés sous forme liquide dans des réservoirs cryogéniques.

### **I.1.2. Le service conditionnement**

Ce service prend en charge le conditionnement, le remplissage, la vérification et le stockage des bouteilles (Cylindres).

#### **I.1.2.1. Le conditionnement et le remplissage**

Le service possède cinq unités de conditionnement :

- Unité de conditionnement  $\text{O}_2$ .
- Unité de conditionnement  $\text{N}_2$ .
- Unité de conditionnement Ar.
- Unité de conditionnement  $\text{CO}_2$ .
- Unité de conditionnement  $\text{N}_2\text{O}$ .

Chaque unité comporte trois composants :

1. Réservoir de stockage vertical du gaz à l'état liquide.

2. SKID de remplissage (FLOX Fill) qui est composé de :

- Une pompe à piston de remplissage.
- Un réchauffeur atmosphérique qui transforme le liquide en gaz.
- Un tableau de distribution avec des manomètres de pression et des vannes.
- Un tableau de contrôle
- Une pompe à vide pour vider les bouteilles neuves.

3. Rompe de remplissage : avec une capacité de remplir un panier de bouteilles à la fois (15 bouteilles).

### I.1.2.2. La vérification

- **Zone de Tri** : avant de remplir les bouteilles, ces dernières passent par une épreuve non destructive pour les vérifier et les contrôler visuellement (la forme, le robinet, la propreté, chapeau, ...). Si la bouteille est non conforme, elle est envoyée à l'atelier de maintenance et une déclaration sera lancée, Sinon elle passe à la rompe de remplissage.

#### Les ré-épreuves sur les bouteilles (tests)

Chaque 5 ans d'utilisation, la bouteille passe par des épreuves pour vérifier sa qualité et sa capacité d'être prête à l'utilisation pour les 5ans qui suivent.

Ces tests se font en présence d'un comité de contrôle de la part du ministère.

La bouteille passe par plusieurs tests :

- **Le grenailage** : c'est la seule technique non-destructive pour prendre soin de l'intérieur de la bouteille. Les avantages du grenailage sont nombreux :
  - Entretien réel de l'intérieur de votre bouteille.
  - Arrêt du développement de la rouille.
  - Retrait des traces de gaz de la bouteille.
- **Épreuve optique** : Si l'inspection visuelle présente des doutes quant à la sécurité, la bouteille peut alors subir un contrôle de son épaisseur par ultra-sons, Les critères de déclassement sont :
  - Plis internes.
  - Corrosion inégale.
  - Fissures.
  - Épaisseur du fond < épaisseur des parois.
  - Perte de tare > 10 %.
- **L'épreuve hydraulique** : se fait au moyen d'un élasticimètre, la bouteille est remplie d'eau et placée derrière un blindage. Un embout relié à l'élasticimètre est monté sur la bouteille (appareil qui ajoute une quantité d'eau mesurée à la quantité existante) et il y'aura une montée en pression (pression d'épreuve).  
Lors de la fin de l'épreuve, on doit retrouver toute la quantité d'eau ajoutée. Si elle est absente en tout ou en partie, cela est dû :
  - Soit à une fuite du montage, l'essai est alors recommencé.
  - Soit à un éclatement de la bouteille qui est déclassée.
  - Soit à une déformation permanente de la bouteille dont le volume a augmenté et la bouteille sera déclassée.

Si la bouteille passe toutes ces épreuves avec succès, elle sera qualifiée prête à l'utilisation.

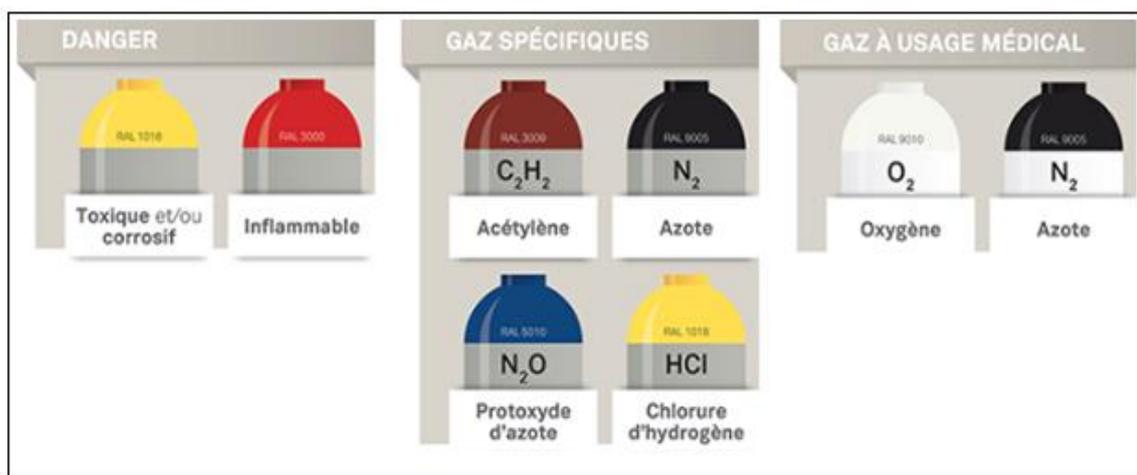
### I.1.2.3. Bouteilles (Cylindres)

#### I.1.2.3.1. Identification des bouteilles

##### • Les Couleurs :

- L'Ogive (la partie supérieure) de la bouteille est coloré par différentes couleurs et chaque couleur indique le type du gaz à l'intérieure.

- Le Corps de la bouteille est coloré par différentes couleurs et chaque couleur indique le type du gaz (ex : Partie supérieure blanche avec Corps Blanc = O<sub>2</sub> médical, Partie



supérieure blanche avec Corps Gris = O<sub>2</sub> industriel, Corps Bleu = Gamme Alpha-Gaz...).

**Figure 4: Le code couleur des bouteilles des gaz industriels (air liquide document enregistrement universel 2019).**

- **Type de robinet** : On a 3 types selon le type de gaz :
  - Type C : pour les Gaz inertes.
  - Type F : pour les Gaz comburants.
  - Type E : pour les Gaz inflammables.
  
- **Caractéristiques de la bouteille** : chaque bouteille possède :
  - Numéro de série.
  - Température inférieure à supporter.
  - PW : pression de service.
  - PH : pression Hydrostatique.
  - La date d'épreuve. (Une épreuve tous les 5 ans) - Le poids.
  - Le volume en eau (B50, B20, B5, ...).
  - Matériau de fabrication (Acier, Aluminium ..)

#### I.1.2.3.2. Normes et Certification des bouteilles

- ISO 18119 « Bouteille à gaz en acier et en alliages d'aluminium sans soudure » (contrôle et essais périodique).
- ISO 24431 « Bouteille à gaz comprimé et liquéfié sans soudure, soudées et composite » (Contrôle au moment du remplissage).
- La Norme Européenne NF EN 1089-3 relative au changement de couleurs des bouteilles à Gaz.
- Règlementation Européenne relative au stockage de gaz.
- Certification Veritas

### I.1.2.4. Le Stockage

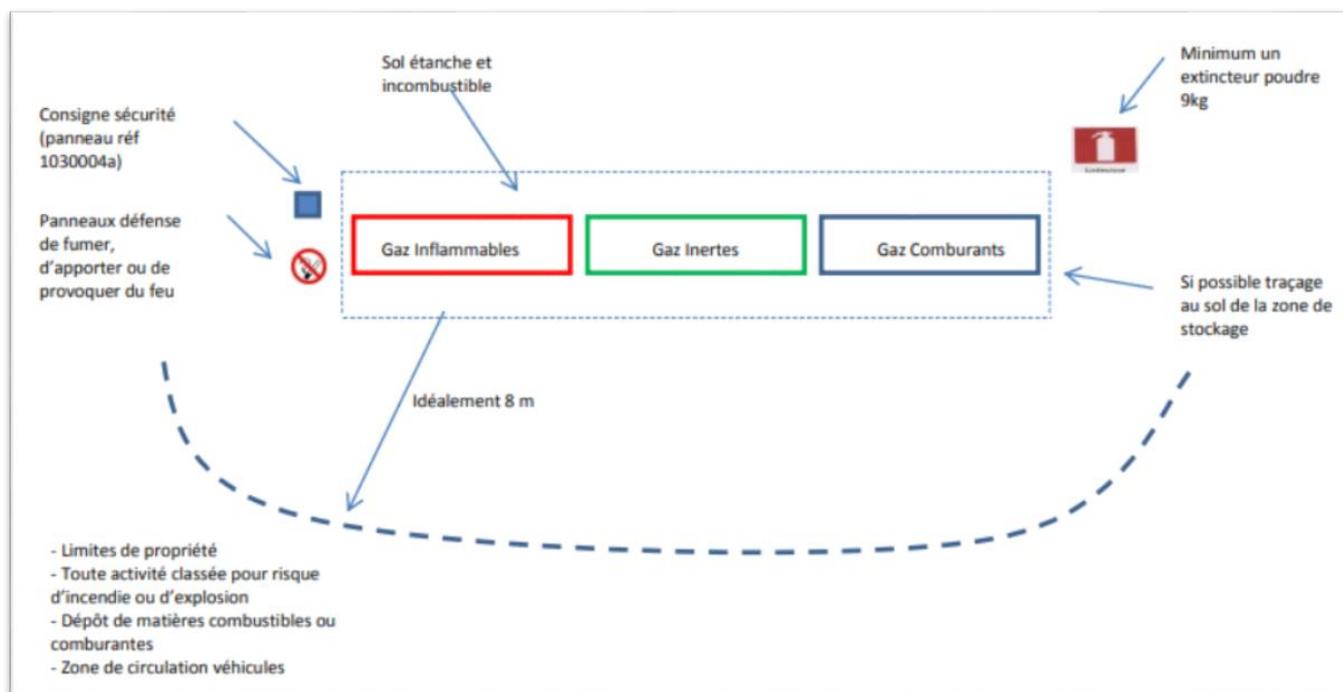
L'entreprise utilise un entrepôt de stockage en plein air, divisé en plusieurs zones de stockage et chacune sert à stocker les bouteilles d'un type de Gaz spécifique (Zone O2 comprimé, Zone Azote comprimé, Zone Argon Comprimé, Zone ATAL5 comprimé, Zone Hydrogène comprimé, ...).

La disposition des zones est faite en respectant toutes les mesures de sécurité :

- Les gaz comprimés inflammables ne doivent pas être entreposés avec les gaz comburants.
- Les gaz incompatibles doivent être séparés d'une distance de 6 mètres.
- Les gaz inertes peuvent être entreposés avec les gaz inflammables ou les comburants.

Chaque zone est accompagnée par des fiches indiquant le Gaz, ses caractéristique (gaz inerte sous pression, comburant, inflammable, ...) et son code ONU (Les numéros ONU sont des nombres à quatre chiffres qui identifient les matières dangereuses dans le cadre du transport de ces marchandises,).

La Figure suivante représente la configuration de l'entrepôt selon la réglementation européenne :



**Figure 5: La configuration de l'entrepôt selon la Règlementation Européenne relative au stockage de gaz.**

La disposition des bouteilles de gaz doit suivre les mesures de sécurité en assurant la séparation des gaz incompatibles. Voir la figure (6)

Classe	2.1 Gaz inflammables	2.2 Gaz ininflammables, non toxiques, non corrosifs	2.3 Gaz toxiques	2.3 Gaz corrosifs	5.1 Matières comburantes
2.1 Gaz inflammables		Produits pouvant être stockés ensemble	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble
2.2 Gaz ininflammables, non toxiques, non corrosifs	Produits pouvant être stockés ensemble		Produits pouvant être stockés ensemble	Produits pouvant être stockés ensemble	Produits pouvant être stockés ensemble
2.3 Gaz toxiques	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble	Produits pouvant être stockés ensemble		Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.	Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.
2.4 Gaz corrosifs	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble	Produits pouvant être stockés ensemble	Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.		Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.
5.1 Matières comburantes	Incompatibles. Ne pas entreposer ensemble	Produits pouvant être stockés ensemble	Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.	Incompatible. Séparer d'une distance horizontale de 1 m.	

Figure 6: Règles de disposition des bouteilles selon le type de gaz.

### III.1.3. Le service logistique

Le service logistique a un rôle très important au sein de l'entreprise, vu les différentes activités qu'il assure.

#### III.1.3.1. Les activités du service logistique

Le service logistique prend en charge la livraison, la réception et l'expédition, la gestion des stocks et Préparation de commande. Il assure l'obtention des autorisations (gendarmerie, ministère de transport) et il fait la planification à court terme.

#### III.1.3.2. La distribution

Un réseau de distribution de produits industriels marchands (Azote, Oxygène, Argon, dioxyde de carbone, hélium et hydrogène) comprend les installations d'entreposage et les clients.

La distribution se fait lors des tournées à plusieurs arrêts en utilisant soit la flotte de l'entreprise soit des prestataires logistiques en adoptant la stratégie de Vide contre Plein (le livreur livre les clients et au même temps récupère les bouteilles vides de chez eux). De ce fait, toutes les tournées commencent et se terminent au même point de départ afin de décharger les bouteilles vides récupérées de chez les clients.

Le service logistique assure la distribution des bouteilles ainsi que la distribution du gaz à l'état liquide dans des citernes cryogéniques.

La flotte de l'entreprise comporte :

- 3 camions Gofa avec tracteur et citerne cryogénique pour transporter le gaz à l'état liquide.
- 3 camions avec capacité de transport de 140 bouteilles.

Et le service logistique traite avec deux prestataires logistiques :

- Un prestataire logistique à Alger pour les petits camions d'une capacité de 60 bouteilles.
- Deux prestataires logistiques à l'Est pour les Semi-remorques (Guelma, Skikda), pour assurer la distribution vers le DC de Constantine pour l'alimenter, ainsi que la distribution vers le Sud.

Le service logistique exige que tous les camions doivent être équipés d'un GPS.

## II. Diagnostic de l'entreprise

L'entreprise possède une usine de production et conditionnement, deux entrepôts de distribution (Alger, Constantine) et trois agences commerciales (Alger, Constantine, Oran). Le schéma suivant représente les flux entrants sortants de l'entreprise :

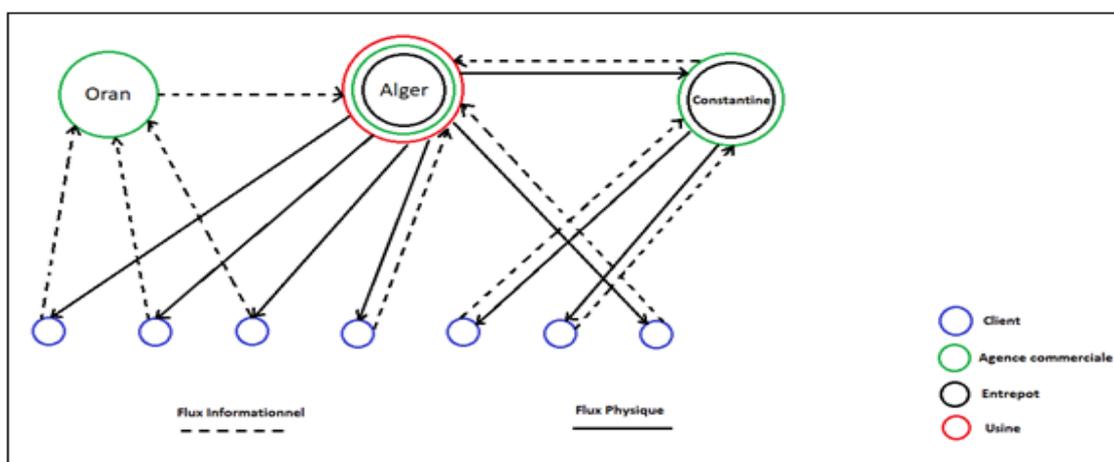


Figure 7: Schéma illustrant les différents flux et structures de l'entreprise

### II.1. La production

L'unité de séparation d'air (ASU) fonctionne 24h/24h, 7jrs/7jrs avec une capacité de production journalière de 35Tonnes partagé entre l'Oxygène et l'Azote avec des pourcentages différents qui dépendent directement de la demande. Il arrive que la production s'arrête lorsque les réservoirs sont à l'état « trop plein <sup>1</sup> ».

### II.2. Le service conditionnement

- Le nombre de bouteilles est de 14000 bouteilles divisées sur les différents produits.
- Le service suit la stratégie de « une bouteille vide doit être remplie » pour minimiser les pertes (car il y a un pourcentage d'évaporation des gaz lorsqu'ils sont dans les réservoirs) et pour assurer un Stock tournant.
- Rupture de stock : les produits importés (Argon, Dioxyde de carbone) ont un risque de rupture plus important à cause des problèmes de dédouanement, conditions et délais de livraison (produit très sensible).

<sup>1</sup> **Trop plein** : c'est-à-dire que les réservoirs ont atteint un niveau de stockage maximal et qu'il y'aura pas où stocker le produit, cet état provoque un arrêt de production. Il se peut que les réservoirs arrivent à l'état « trop plein » à cause d'un arrêt de vente (par exemple dans le cas de l'Azote, les deux réservoirs dédiés à ce gaz sont de capacité de 40000L et 55000L et il faut noter que la capacité de production Max Azote est de 30000L/jour. De ce fait, un arrêt de vente de 3 jours successive pourra conduire à l'état « trop plein » des réservoirs).

- Il y'a un nombre important des bouteilles que le service n'arrive pas à repérer pour les récupérer ce qui cause un véritable manque dans le stock des bouteilles vides.

### II.3. Le service logistique

Pour le diagnostic du service logistique, nous allons effectuer une analyse des données en se basant sur les données extraites de l'ERP de l'entreprise afin d'analyser les clients, les produits, la demande et les livraisons.

#### II.3.1. L'extraction et le traitement des données

L'extraction des données a été faite depuis une base de données de l'ERP de l'entreprise (Microsoft Dynamics NAV). Cette base contient tout l'historique de Vente de l'entreprise depuis le début 2018 jusqu'à la fin février 2020.

Les données exportées de la base de données ne sont pas dans le format adéquat qui nous permet de les utiliser directement. Nous avons ainsi procédé à un nettoyage des données qui demeure indispensable pour avoir des résultats pertinents et cohérents.

Le nettoyage de données consiste à détecter, corriger et supprimer les erreurs présentes dans les données. Dans notre cas, il y a eu beaucoup d'erreurs avec des degrés de complexité différente nous les avons traitées une par une. Ces erreurs sont :

- **Données manquantes** : nous étions obligés de travailler avec plus de 1580 données manquantes dans le champ « adresse » qui donne les adresses des clients. Nous avons donc cherché les adresses des clients ainsi que leur positionnement géo-spatiales.
- **Erreurs de saisi** : nous avons trouvé plusieurs écritures pour le même nom de client. De plus nous avons trouvé plusieurs clients qui ont un même code client, mais également un problème concernant les régions de ces clients (Par exemple, nous trouvons que c'est mentionné « Oran » au lieu de « Ouest »).

#### II.3.2. L'analyse des ventes

Dans ce qui suit nous allons effectuer plusieurs analyses à partir de l'historique des ventes de l'entreprise.

Nous avons calculé le pourcentage des ventes effectuées par centre de distribution et par région, les figures (8) et (9) montrent les résultats obtenus.

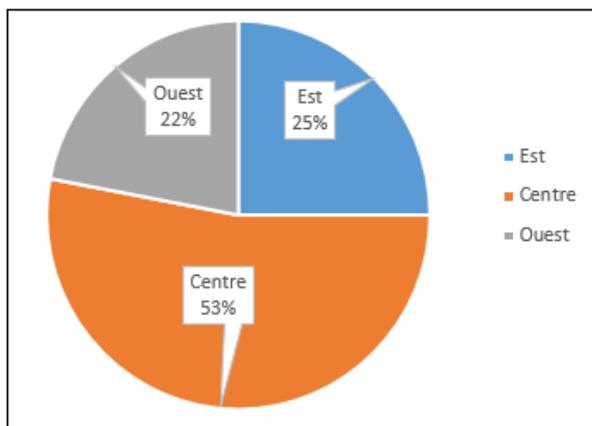


Figure 9: Le pourcentage des ventes par région.

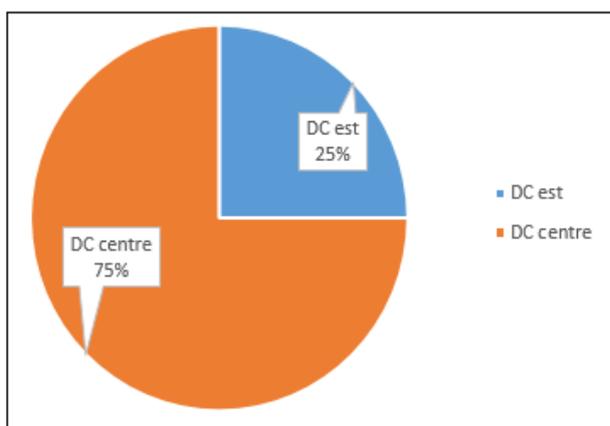


Figure 8: Le pourcentage des ventes par DC.

D'après ces résultats, nous remarquons que le centre de distribution d'Alger assure 75% des livraisons de l'entreprise dont 53% sont assurés par l'agence commerciale d'Alger et 22% sont assurés par l'agence commerciale d'Oran, alors que l'agence commerciale et le centre de distribution de Constantine assurent les 25% restantes.

Après avoir analysé les ventes par centre de distribution et par régions, nous avons effectué une analyse des ventes par quantité vendue et par nombre de commandes de chaque produit. Les figures (10) et (11) montrent les résultats obtenus :

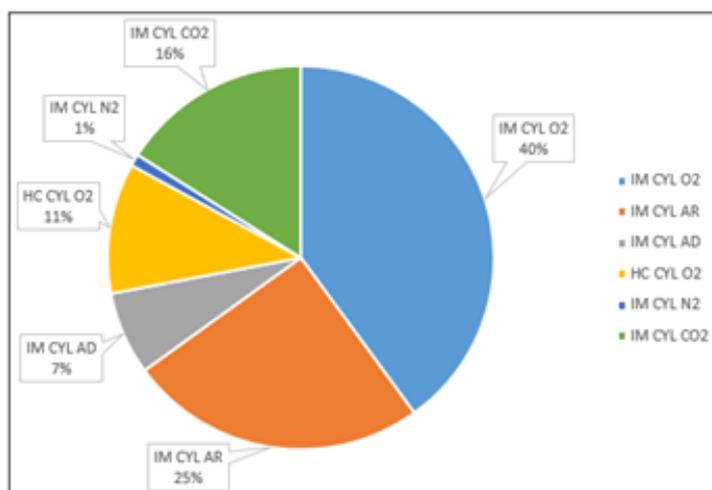


Figure 10: Les quantités vendues par produit.

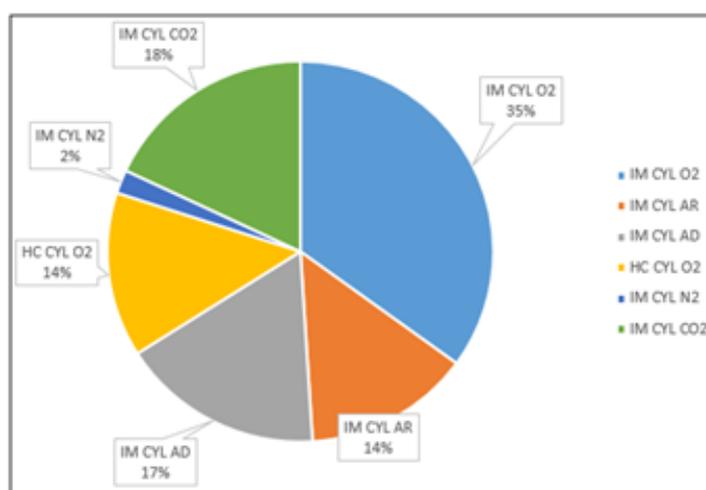


Figure 11: Les commandes par produit.

D'après ces résultats, nous remarquons que l'oxygène (O2), l'argon (Ar) et le dioxyde de carbone (CO2) représentent 81% des quantités vendues et 67% des commandes.

Après l'obtention de ces résultats, nous avons jugé nécessaire de faire une analyse sur les produits afin de pouvoir les classer en ordre de priorité.

### II.3.3. L'analyse ABC des produits

La méthode ABC (20/80) convient à toutes les situations où il faut placer des produits en ordre de priorité. Son principe de base repose sur le fait qu'un petit nombre de produits (20%) représente souvent l'essentiel de la valeur vendue (80%).

Nous avons utilisé l'analyse ABC (distribution de Pareto) pour identifier les produits de forte rotation sur deux dimensions (quantité/Chiffre d'affaire). Nous réalisons une

classification ABC par rapport aux nombres de commandes, une classification ABC par rapport aux quantités et classification ABC par rapports aux Chiffre d'affaire.

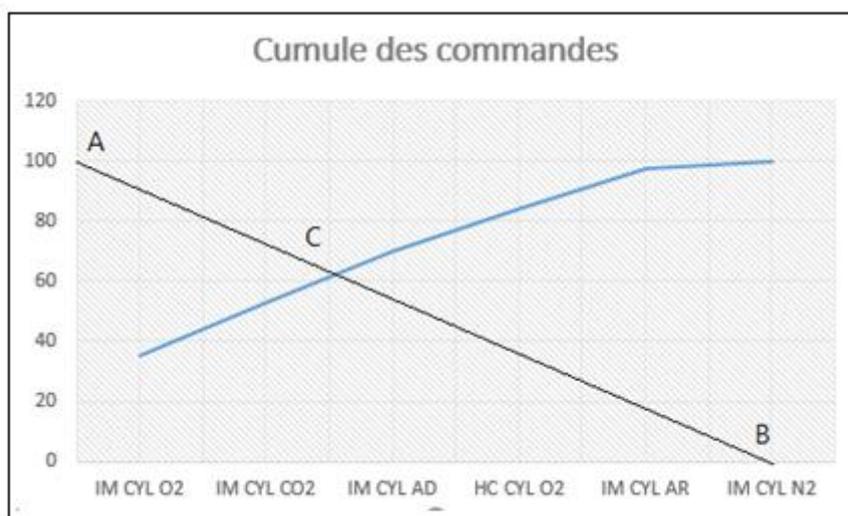
- **Classification ABC par rapport aux nombres de commandes :**

**Etape 1 :** Classement et analyse

**Table 1: Pareto des commandes.**

Pareto Commande			
	Nombre de commande	%	Cumulation%
IM CYL O2	1552	35,4	35,4
IM CYL CO2	777	17,7	53,1
IM CYL AD	735	16,7	69,8
HC CYL O2	625	14,2	84
IM CYL AR	605	13,8	97,8
IM CYL N2	95	2,2	100
Tot	4389	100	

**Etape 2 :** Le ratio de discrimination



**Figure 12: Graphe de la cumulation des commandes.**

$$RD = \frac{CB}{AB} = \frac{6,8}{11} = 0,63$$

$RD < 0,65$  : non interprétable.

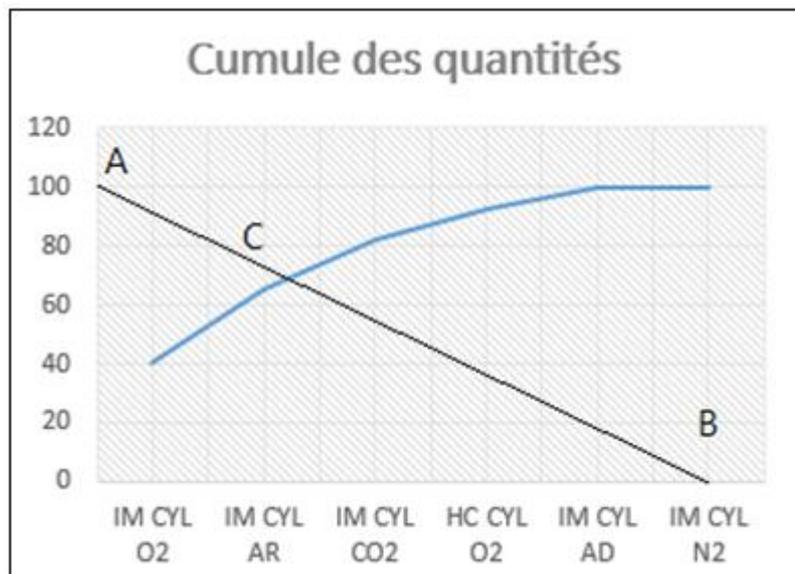
- **Classification ABC par rapport aux quantités :**

**Etape 1 : Classement et analyse**

**Table 2: Pareto des quantités.**

Pareto Quantité			
	Quantité	%	cumulation%
IM CYL O2	31138	40,053	40,053
IM CYL AR	19620	25,23732	65,29032
IM CYL CO2	12771	16,42741	81,71773
HC CYL O2	8688	11,17543	92,89316
IM CYL AD	5100	6,560161	99,45332
IM CYL N2	425	0,54668	100
<b>Totale</b>	<b>77742</b>	<b>100</b>	

**Etape 2 : Le ratio de discrimination**



**Figure 13: Graphe de la cumulation des quantités.**

$$RD = \frac{CB}{AB} = \frac{7.5}{11} = 0.68$$

Nous avons  $0.65 < RD < 0.75$ , donc : Classe A 20% - Classe B 30% - Classe C 50%.

**Etape 3 : identification des classes**

Nous avons trouvé  $0.65 < RD < 0.75$ , donc : Classe A 20% - Classe B 30% - Classe C 50%.

Nous avons 6 produits, donc :

- Classe A :  $6 * 20\% = 1.2 \approx 1$  (O2)
- Classe B :  $6 * 30\% = 1.8 \approx 2$  (AR, CO2)
- Classe C :  $6 * 50\% = 3$  (HC O2, AD, N2)

- Vu que la classification ABC par rapport aux nombres de commandes est non interprétable. Nous ne pourrions pas procéder à la classification multiple. Donc nous allons faire une nouvelle classification ABC par rapport au chiffre d'affaire afin de pouvoir faire la classification multiple et identifier les classes.
- Pour la classification ABC par rapport au chiffre d'affaire, nous allons prendre en considération les deux types de bouteilles d'Oxygène médical séparément à cause de la différence de prix unitaire de ces derniers, donc nous aurons 7 produits au lieu de 6 produits.

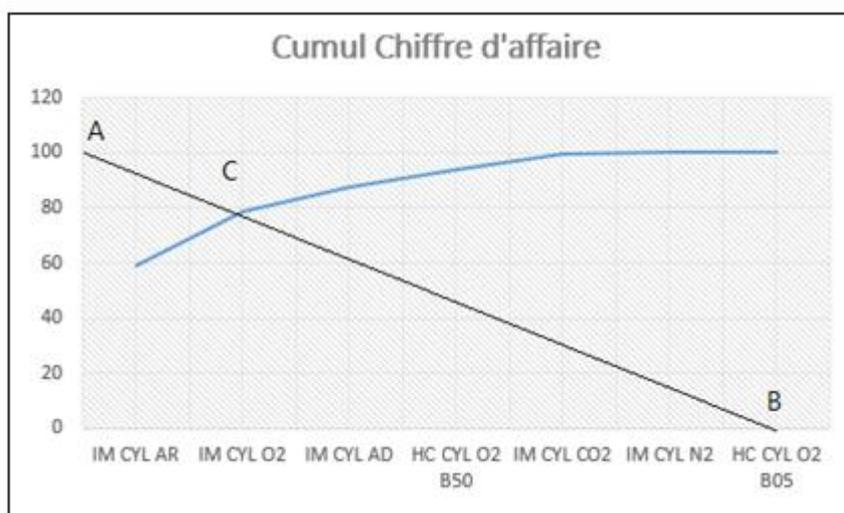
**Classification ABC par rapport au Chiffre d'affaire :**

**Etape 1 : Classement et analyse**

**Table 3: Pareto des chiffres d'affaires.**

Pareto Chiffre d'affaire					
	Quantité	Prix unitaire	CA	%CA	Cumulation %CA
IM CYL AR	19620	19950	391419000	59,24195	59,2419492
IM CYL O2	31138	4107	127883766	19,35543	78,5973806
IM CYL AD	5100	11375	58012500	8,780293	87,3776738
HC CYL O2 B50	8119	5275	42827725	6,482051	93,8597247
IM CYL CO2	12771	3000	38313000	5,798739	99,6584642
IM CYL N2	425	4600	1955000	0,295893	99,9543569
HC CYL O2 B05	569	530	301570	0,045643	
<b>Totale</b>	<b>77742</b>		<b>660712561</b>		

**Etape 2 : Le ratio de discrimination**



**Figure 14: Graphe de la cumulation des chiffres d'affaires.**

$$RD = \frac{CB}{AB} = 0.77$$

Nous avons  $0.75 < RD < 0.85$ , donc : Classe A 20% - Classe B 20% - Classe C 60%.

**Etape 3 : identification des classes**

Nous avons trouvé  $0.75 < RD < 0.85$ , donc : Classe A 20% - Classe B 20% - Classe C 60%.

Nous avons 7 produits, donc :

- Classe A :  $7 * 20\% = 1.4 \approx 1$  (AR)
- Classe B :  $7 * 20\% = 1.4 \approx 1$  (O2)
- Classe C :  $7 * 60\% = 3.2$  (AD, HC O2 B50, CO2, N2, HC O2 B05).

- **Classification ABC multicritère :**

**Table 4: Classification ABC multicritère des produits.**

Quantité CA	Classe A O2	Classe B AR, CO2	Classe C HC O2(B50+B05), AD, N2
Classe A AR	/	AR	/
Classe B O2	O2	/	/
Classe C AD, HC O2 B50, CO2, N2, HC O2 B05	/	CO2	HC O2(B50+B05), AD, N2

A partir de ce tableau :

- Classe A : AA, AB, BA : O2, AR.
- Classe B : CA, AC, BB : Vide.
- Classe C : CB, BC, CC : CO2, HC O2(B50+B05), AD, N2.

A partir de ces résultats nous pouvons dire que le chiffre d'affaire et les quantités vendues de l'oxygène et l'argon représentent 80% du chiffre d'affaire et des quantités totales. Donc, on va baser notre étude sur le : l'oxygène (O2) et l'argon (AR).

**II.2.3.4. L'analyse des Clients**

L'entreprise segmente ses clients selon le secteur d'activité, les clients de l'industriel marchand et les clients de santé.

**a. Les clients de l'industriel marchand**

Après avoir classé les produits et avoir retenu l'oxygène et l'argon, la liste des clients s'est restreinte et nous allons devoir travailler avec 84 clients.

**- Obtention des coordonnées géo-spatiales des clients par géo-codeur**

Le géocodage consiste à affecter des coordonnées géographiques (longitude/latitude) à un fichier d'adresses (individus, entreprises, points d'intérêt, etc...). Les coordonnées géographiques permettent de positionner chaque adresse sur une carte numérique. Les résultats du géocodage sont représentés dans « Annexe A.1 ».

Client	Adresse	wilaya	pays	code postal
EURL ZHONG YU DES MATERIAUX DE CONST...	beni tamou	blida	algérie	09024
E.N.C.C SPA - UNITE CR-METAL	blida	blida	algérie	09000
CTMC BATIMETAL	beni amrane	boumerdes	algérie	35006
SME HAMMA BOUZIANE	hamma bouziane	constantine	algérie	25230

Figure 15: Les entrées du géo-codeur.

**- La concentration des clients**

Après avoir obtenu les coordonnées géo-spatiale des clients, nous avons positionné tous les clients sur une carte numérique afin d'avoir la concentration et la répartition des clients dans le pays.

La figure (16) montre la concentration et la répartition des clients dans le pays



Figure 16: La concentration et la répartition des clients dans le pays.

A partir de la figure, nous remarquons la présence de trois régions à forte la concentration des clients, « Est, Centre, Ouest », ce qui pourra être justifier par la disponibilité des centres de distribution dans la région « Centre » et « Est » ce qui explique la grande concentration des clients dans ces deux régions. Par contre, la région « Ouest » ne possède pas de centre de distribution mais plutôt une agence commerciale.

L'analyse des distances entre les clients et le DC où ils sont affectés nous donne les pourcentages présentés dans la figure suivante :

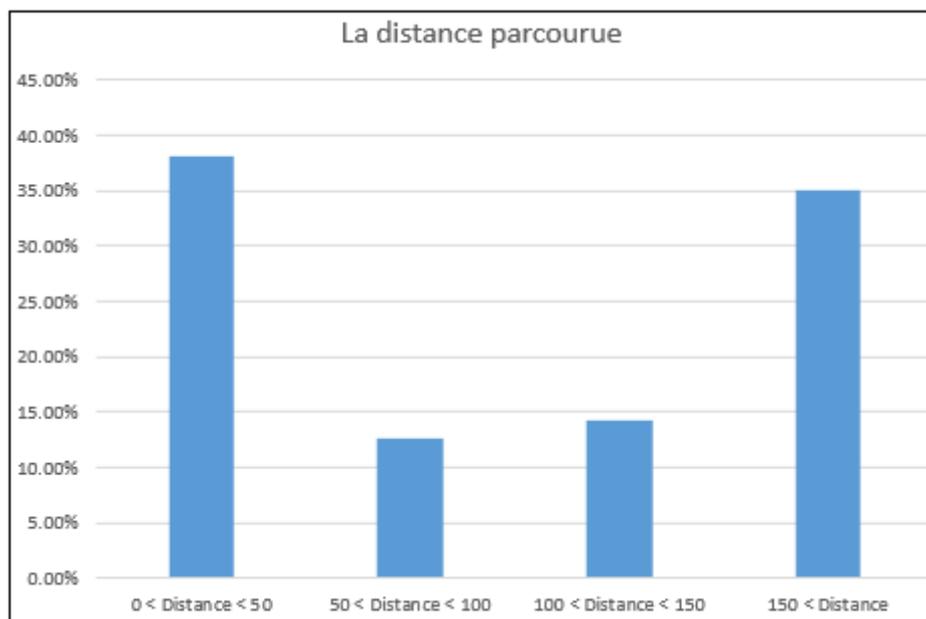


Figure 17: Le pourcentage des distances parcourues

La figure (17) montre le pourcentage des distances supérieure à 150 km entre les clients et les DC, ce qui représente un problème pour l'entreprise, parce qu'il cause des coûts de distributions élevés et des retards pour l'opération de livraison.

### b. Les clients de la santé

Le secteur de la santé est un nouveau marché pour l'entreprise et représente un objectif stratégique et une opportunité inouïe pour acquérir plus de clients.

Pour le moment, l'entreprise compte 9 clients et les approvisionne par l'oxygène médical régulièrement.

Nous avons procédé de la même manière en utilisant un géo-codeur pour récupérer les coordonnées des clients afin de les positionner sur la carte.

Les résultats du géocodage sont représentés dans « Annexe A.2 » et la figure (18) montre la répartition des clients de l'entreprise pour ce marché.

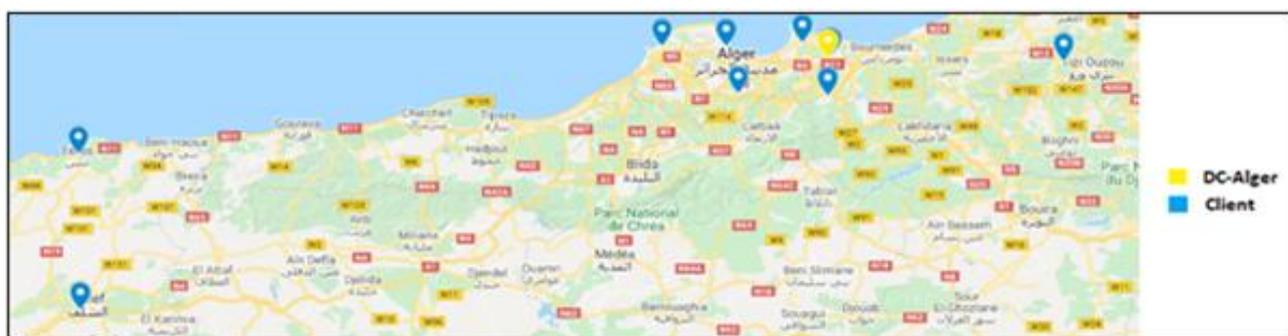


Figure 18: La répartition des clients de l'entreprise pour le marché du médical.

Il est a noté que l'entreprise a fixé un rayon de 200km pour tracer le périmètre de ce marché, en tenant compte de sa capacité à satisfaire ses clients mais aussi de la réglementation du ministère.

### III. Énoncé de la problématique

Afin de répondre aux besoins des clients et leur livrer au bon moment et à moindre coût, l'entreprise Sidal Air Liquide a mis en place deux centres de distribution, ce qui répartit l'Algérie en deux principales zones.

Après avoir présenté l'entreprise, son marché et ses activités, et avoir effectué un diagnostic interne des différents services de l'entreprise. Nous avons remarqué que les coûts de livraison sont élevés, à cause des grandes distances parcourues pour les livrer les clients à partir des deux DC existants, ce qui est liée directement à la mauvaise conception de la Supply Chain.

A cet effet, une optimisation de la Supply Chain est nécessaire afin de réduire les coûts et ceci nous amène à formuler la question suivante : Comment peut-on optimiser la Supply Chain en aval ? et nous pouvons décliner cette question en sous questions qui sont : Comment peut-on reconfigurer la Supply chain afin réduire les coûts de livraison et d'améliorer la performance de l'entreprise ? Et comment peut-on reconfigurer la Supply Chain tout en respectant les particularités de chaque secteur ?

Cette optimisation consiste à reconfigurer la Supply Chain en appuyant sur deux volets :

- Implémenter un nouveau centre de distribution pour le secteur de l'industriel marchand.
- Optimiser la distribution des gaz médicaux, qui ont la particularité d'être livré uniquement à partir du site de Réghaia.

La nécessité d'augmenter le taux de rotation des bouteilles et de pouvoir les suivre et éviter le problème de leurs pertes est, également, importante pour l'entreprise, afin d'augmenter ses performances et de pouvoir récupérer efficacement ses bouteilles. Ce qui nous amène à poser la question suivante : quel système d'aide à la décision pourra assurer un bon suivi des bouteilles ?

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre présent travail. L'objectif est de reconfigurer la Supply Chain en aval afin de réduire les coûts de livraison, ceci en agissant sur le secteur de l'industriel marchand ainsi que le secteur de la santé et essayant de proposer un moyen permettant de suivre les bouteilles.

### Conclusion

En conclusion, ce chapitre s'articulait autour de deux principales parties : la première partie portait sur une présentation du marché du gaz industriel ainsi qu'une présentation du groupe air liquide et ses activités. Puis dans la deuxième partie nous avons présenté l'entreprise SIDAL air liquide et ses services et nous avons fait un diagnostic interne de l'entreprise, notamment le service logistique, où nous avons effectué une analyse des ventes en utilisant la méthode de Pareto en se basant sur la quantité des produits vendue ainsi que les chiffres d'affaires pour enfin d'arriver à l'énoncé de la problématique.

# **Chapitre 2**

## **État de l'art**

## Introduction

De nos jours, les entreprises doivent s'adapter à la dynamique du marché pour espérer survivre dans un environnement très concurrentiel et très compétitif. Les clients sont beaucoup plus exigeants en raison de nombreux choix qui s'offrent à eux. La satisfaction des clients combinés à la réduction des coûts et produits moins chers et de haute qualité livrée dans les délais et avec un excellent service après-vente sont difficile à réaliser. Pour les entreprises d'envergure, utiliser de nombreux sous-traitant, c'est l'unique moyen de servir les clients selon les exigences de prix, de délai et de qualité, et pour cela les entreprises se lancent dans les projets « Supply Chain Management » afin d'améliorer sans cesse les processus, les flux et les délais pour bien maîtriser leur environnement tout assurant une maîtrise rigoureuse des coûts.

Le supply chain management est devenu un thème très courant lorsqu'il s'agit de l'optimisation des flux et la maîtrise de l'environnement au sein de l'entreprise. Plusieurs importants problèmes sont soulevés par ce thème, à savoir les problèmes orientés fournisseurs (SRM), les problèmes orientés clients (CRM) et les problèmes de Conception de la supply chain (Supply chain design) qui comporte les problèmes de localisation des installations (entrepôt, usine, centre de distribution) ainsi que les problèmes liés au transport et distribution.

Pour l'industrie des gaz, la maîtrise du supply chain design demeure très important afin de pouvoir rester compétitif et pouvoir satisfaire les clients au bon moment, au bon endroit et avec les quantités demandées tout en réduisant au maximum les coûts de transport.

Dans ce chapitre, nous allons définir les différents concepts du cadre générale de notre projet, qui implique la logistique et le Supply chain management. Nous aborderons aussi le Supply chain design et les différents problèmes qui y sont liés ainsi que les méthodes de résolution, tout en essayant de spécifier ces concepts dans l'industrie des gaz.

### I. Supply chain management dans l'industrie des gaz

La supply chain est un terme qui englobe les opérations de la distribution, le stockage, l'approvisionnement...etc. La spécification de la SCM ne sont pas génériques mais ils différent entre un secteur et un autre, et dans notre cas, nous allons détailler la supply chain dans l'industrie des gaz et présenter les spécifications de cette dernière.

#### I.1. Logistique et Supply chain management

La logistique est utilisée plus largement pour désigner le processus de coordination et de déplacement des ressources (personnes, matériaux, inventaire et équipement) d'un endroit de stockage à la destination souhaitée afin de les optimiser et réduire les coûts. Le terme logistique trouve son origine dans le domaine militaire, dont les officiers de la logistique gèrent comment et quand déplacer les ressources aux endroits dont elles ont besoin (dans la science militaire, maintenir ses lignes d'approvisionnement tout en perturbant celles de l'ennemi est un élément crucial de la stratégie militaire, car une force armée sans ressources et sans transport est sans défense). Par la suite la logistique a été étendu au monde de l'entreprise

pour désigner la gestion des flux matières et matériel, afin de pour gérer le transport, le stockage et la manutention et, dans les entreprises de production, tend à étendre son domaine en amont vers l'achat et l'approvisionnement, en aval vers la gestion commerciale et la distribution.

Dans une définition plus large et plus récente de la logistique, on parle du supply chain management qui englobe la planification et la gestion de toutes les activités liées à l'approvisionnement et à toutes les activités de la logistique. Ce qui est important, c'est que cela comprend également la coordination et la collaboration avec les partenaires de distribution, qui peuvent être des fournisseurs, des intermédiaires, des tiers fournisseurs de services et des clients. Essentiellement, le supply chain management intègre la gestion de l'offre et de la demande au sein des entreprises et entre elles (Pierre Médan, Anne Gratacap, 2008).

Une chaîne logistique est souvent présentée comme une chaîne reliant le fournisseur du fournisseur au client du client. (Voir figure (19)).

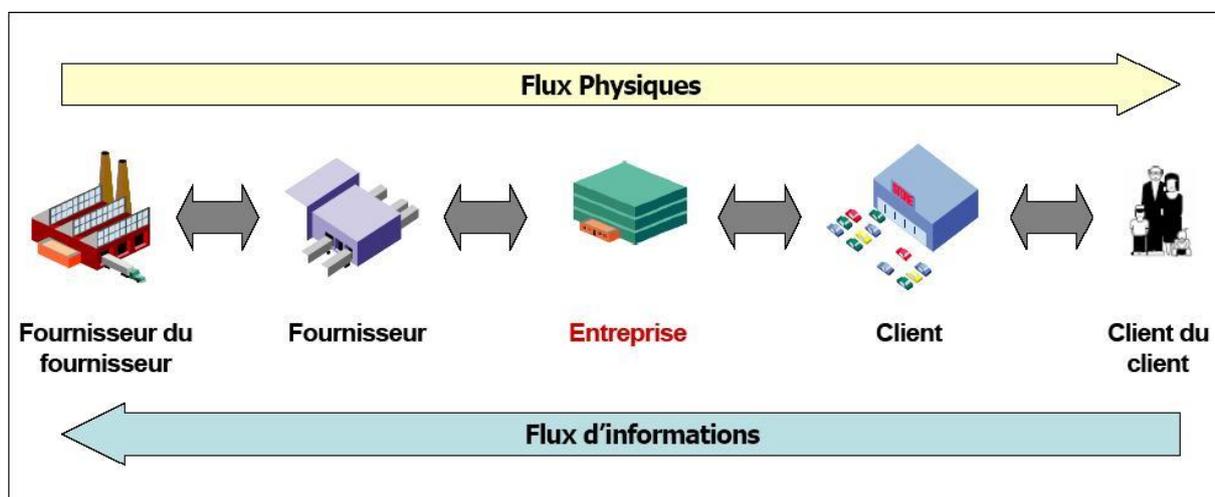


Figure 19: Une représentation basique d'une chaîne logistique (Lu, 2011, p10).

En réalité, le supply chain management est plus large que ça et elle est constituée d'un réseau complexe d'organisations. La figure (20) explique le supply chain management de façon simplifiée.

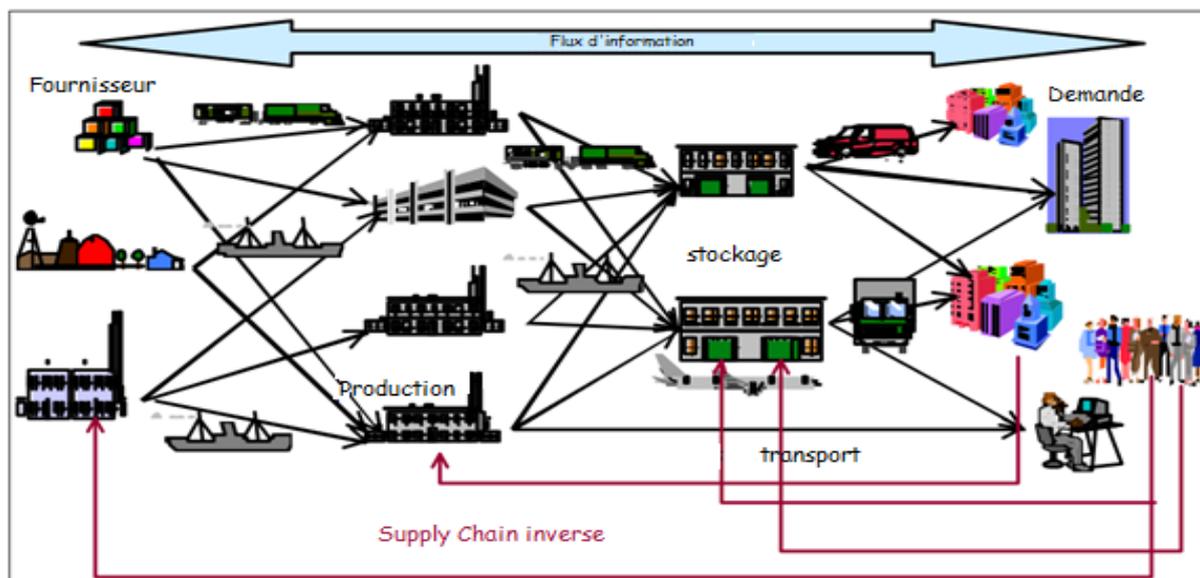


Figure 20: Représentation explicatif du supply chain management (Helena R. Lourenço. Chapter 15, P4).

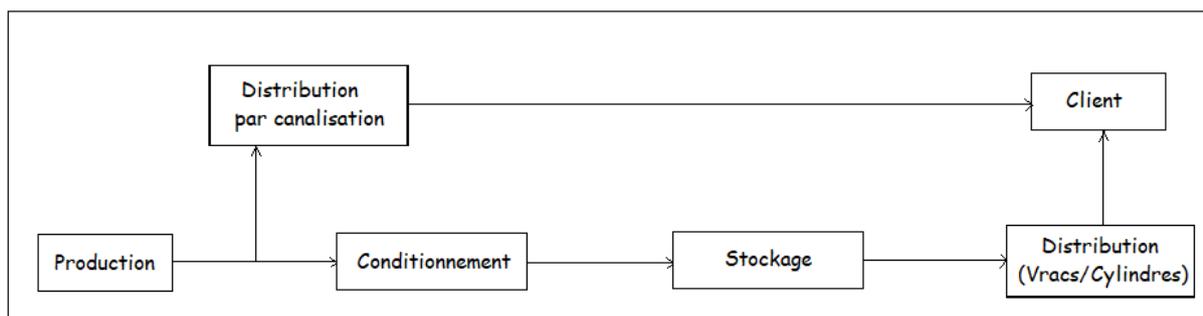
Le Supply Chain Management peut aussi être défini comme l'ensemble des ressources, moyens, méthodes, outils et techniques destiné à piloter le plus efficacement possible la chaîne logistique globale depuis le premier fournisseur jusqu'au client final et il prend de plus en plus du poids dans les stratégies des entreprises en quête de meilleures performances car une bonne gestion de la chaîne logistique au niveau global garantit la compétitivité de l'entreprise sur des marchés à forte concurrence. Des entreprises issues de secteurs d'activité variés, dont les industries automobiles, le pharmaceutique, l'aéronautique, les industries des gaz et le luxe sont aujourd'hui convaincues de l'intérêt d'améliorer la gestion de la chaîne logistique pour rester compétitives et se démarquer de leurs concurrents (Helena R. Lourenço, 2006).

## I.2. Supply chain management dans l'industrie des gaz

L'industrie des gaz est impliquée dans une chaîne logistique mondiale qui comprend le transport national et international, le contrôle des stocks, la manutention des matériaux, la facilitation des importations / exportations et les technologies de l'information.

Dans une chaîne logistique, une entreprise est liée à ses fournisseurs en amont et distributeurs en aval en tant que flux de matières et d'informations.

La figure suivante représente la chaîne logistique d'une industrie de gaz.



**Figure 21:** Schéma représentant les principaux maillons de la chaîne logistique dans l'industrie des gaz.

Les liens ci-dessus représentent les principaux maillons de la chaîne logistique dans l'industrie des gaz. Partant de la production, là où l'absorption de l'air et la séparation des gaz se passent. Une fois les gaz sont produits, il existe plusieurs modes de transport et de stockage permettant de réduire son volume, le gaz peut donc être transporté avant le conditionnement par canalisations à l'état gazeux pour les clients de la grande industrie, après une étape de compression. Il peut également être conditionné à haute pression pour être liquéfié afin de pouvoir le transporter en plus gros volumes par camions dans des bouteilles ou des vracs cryogéniques pour les clients de l'industriel marchand et de la santé. Il est alors près de 800 fois plus dense qu'à l'état gazeux d'où, a priori, l'intérêt évident que présente cette forme liquide pour le stocker et le transporter. Cependant, un certain niveau de technologie cryogénique est à mettre en œuvre, que ce soit pour le liquéfier ou pour le conserver à l'état liquide. En fin de la chaîne, le gaz doit être distribué aux clients finaux. Pour chaque industrie de gaz, on considère qu'elle peut fournir le gaz sous deux formes pour que tout véhicule puisse le transporter, soit distribution à l'état liquide par vracs ou bien distribution de bouteilles pour un échange plein contre vide. Les liens représentent l'interface entre les entreprises et les matériaux qui transitent par la chaîne logistique et dans chaque étape, il y a de nombreuses opérations.

Comme défini précédemment, la gestion de la chaîne logistique implique la configuration, la coordination et l'amélioration. Il y a des problèmes à considérer dans chaque cas. La configuration implique les questions suivantes :

- Quel ensemble de produits produire.
- Quelles parties du paquet à produire en interne et quelle partie acheter auprès des autres.
- La capacité et l'emplacement des installations.
- Gérer les communications entre fournisseurs et clients.
- Normes attendues des clients et des fournisseurs.

La coordination du point de vue de chaque entreprise implique les questions suivantes :

- Garantir l'efficacité des fournisseurs en termes de coût, de rapidité et de qualité.
- Fixer des objectifs appropriés pour l'inventaire, la capacité et le délai d'exécution.
- Surveiller la demande et les conditions de l'offre.
- Communiquer les résultats du marché et des performances aux clients et aux fournisseurs.

L'amélioration de la chaîne logistique nécessite une évaluation continue et implique de modifier au besoin la configuration et/ou l'approche de la coordination afin d'améliorer les

performances de la chaîne logistique globale. Pour assurer une amélioration continue au sein d'une entreprise, il faut que cette dernière maîtrise son environnement tout en tenant compte de tous les problèmes soulevés par le supply chain management dont le supply chain design, qui représente un des plus importants problèmes pour une entreprise qui désire avoir une maîtrise rigoureuse des coûts et de son environnement.

## II. Le supply chain design

Une chaîne logistique est définie par les fournisseurs, les usines, les entrepôts et les flux de produits d'origine de chaque produit au client final. Le nombre et l'emplacement de ces installations sont des facteurs critiques pour le succès de toute chaîne logistique. En fait, Michael Watson, Sara Lewis, Peter Cacioppi et Jay Jayaraman dans leur livre « Supply Chain Network Design, Applying Optimization and Analytics to the Global Supply Chain, 2012 » suggèrent que 80% des coûts logistiques sont verrouillées avec l'emplacement des installations et la détermination des flux optimaux des produits entre eux, et les entreprises les plus performantes reconnaissent et mettent l'accent sur la planification stratégique en déterminant les meilleurs emplacements des installations et les flux des produits.

Le « Supply chain design » consiste à construire des modèles mathématiques de la chaîne logistique afin de résoudre les différents problèmes de ce thème, à savoir les problèmes d'allocation et de localisation des installations, les problèmes de conception du système de distribution (problèmes de transport), les problèmes de planification de la production ainsi que les problèmes de gestion des stocks. Ces modèles sont ensuite résolus en utilisant des techniques d'optimisation puis analysés pour choisir la meilleure solution.

Il devrait être clair maintenant que le problème de conception du réseau de la chaîne logistique concerne tout autant la géographie comme il s'agit de stratégie commerciale. Les deux ne peuvent pas être séparés. Les décisions concernant la conception de la chaîne logistique ont un impact sur de nombreux aspects de l'entreprise, à savoir le niveau de services, la Main-d'œuvre, les compétences, les matériaux et services publics locaux, les risques et les coûts logistiques, qui représentent la plupart des coûts de la chaîne logistique et couvrent également une part importante de la structure globale des coûts de l'entreprise.

### II.1. Les coûts logistiques

Les coûts logistiques sont définis différemment par les différentes entreprises. Certaines ne comptabilisent pas les intérêts et l'amortissement des stocks comme des coûts logistiques. D'autres incluent les frais de distribution de leurs fournisseurs ou les frais d'achat. Dans certains cas, même la valeur d'achat des biens achetés est incluse dans les coûts logistiques. Il n'y a donc pas de définition générique de ce terme, mais chaque entreprise doit définir les coûts logistiques pour elle-même et les KPI qu'elle suivra pour réduire les coûts. En général, les coûts logistiques comprennent les coûts de transport, les coûts de stockage, les coûts de main-d'œuvre, les coûts du service client, les frais administratifs et autres coûts. (Jean-Paul Rodrigue, 2012)

La figure suivante représente les différents coûts logistiques ainsi que leur contribution dans les coûts logistiques totaux.

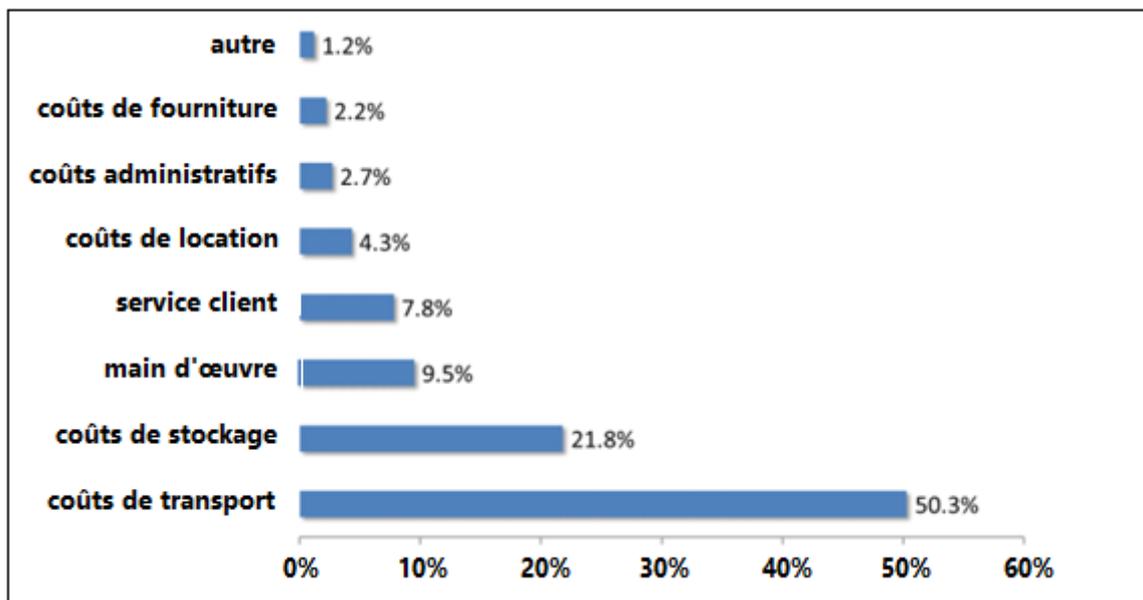


Figure 22: Les différents coûts logistiques (Jean-Paul Rodrigue. 2012, p12).

A partir de la figure (22), les coûts de transport restent la considération dominante car ils représentent environ la moitié des coûts logistiques (50.3%). Les coûts de stockage sont également importants avec une part d'environ un cinquième des coûts totaux (21.8%), ils comprennent les coûts de stockage des biens (coûts en capital, entreposage, amortissement, assurance, fiscalité et obsolescence) et sont généralement exprimés en proportion de la valeur des stocks. Les coûts de main-d'œuvre impliquent la manutention physique des marchandises, y compris des tâches telles que l'emballage et l'étiquetage et le service client comprend la réception et le traitement des commandes des clients.

## II.2. Le centre de distribution

Les termes "entrepôt" et "centre de distribution" sont souvent utilisés de manière interchangeable, il existe plusieurs points de vue sur leur signification. Les entrepôts sont principalement destinés au stockage de marchandises, tandis que les centres de distribution permettent de déplacer rapidement les marchandises. (Hatton, 1990)

Le concept de gestion de la chaîne logistique a changé au cours des dernières années, et le rôle du centre de distribution est désormais très important dans le maintien d'une chaîne logistique appropriée. Plus les centres de distribution sont nombreux, moins le nombre d'entrepôts sera réduit (le centre de distribution est destiné à la détention temporaire de biens et de produits, c'est pourquoi plus les centres de distribution seront petits, plus le nombre d'entrepôts sera important). L'accent principal du centre de distribution n'est pas sur le stockage des marchandises mais sur le flux des marchandises car il veille à ce que les articles lents soient éliminés et les options stockées soient consommées ou retournées pour réduire les stocks.

De meilleures économies d'échelle sont réalisées pour les clients si l'externalisation du centre de distribution ou des activités d'entrepôt est effectuée et ça permet de gagner également du temps en augmentant l'efficacité des opérations et en effectuant une livraison beaucoup plus rapidement.

L'un des aspects les plus importants du supply chain design est de décider où implanter de nouvelles installations, telles que des centres de distribution, des entrepôts ou des usines, de savoir organiser la distribution et de bien allouer les clients aux différentes structures. Ces décisions stratégiques sont un déterminant crucial pour minimiser le coût total de l'entreprise sous réserve d'une variété de contraintes.

Dans ce qui suit, nous considérons deux problèmes importants dans la conception de la chaîne logistique, à savoir les problèmes d'allocation et de localisation des installations et le problème de conception du système de distribution (problème de transport).

### **II.3. Les problèmes de location-allocation**

Le problème de localisation-allocation a été proposé par Cooper (Cooper-1963) et étendu à un réseau pondéré par Hakimi (Hakimi-1964). Ce problème consiste à localiser un ensemble de nouvelles installations de telle sorte que le coût de transport des installations aux clients soit minimisé et qu'un nombre optimal d'installations doit être placé dans une zone d'intérêts afin de satisfaire la demande des clients.

Ce problème se produit dans de nombreux contextes pratiques où les installations fournissent des services homogènes tels que la détermination et l'emplacement des entrepôts, des centres de distribution, des centres de communication et des installations de production. De nombreux problèmes ont été étudiés pour aider à la prise de décision dans ce domaine. Certains d'entre eux comprennent une liste d'emplacements candidats prédéterminés pour localiser les installations, résolvant ainsi les problèmes de localisation des installations dans un espace discret, et d'autres problèmes impliquent cependant les sites non développés qui n'ont pas d'infrastructure et d'installations existantes et qui peuvent être situés à tout moment dans un espace continu. Nous allons donc présenter ci-dessous les modèles continus et discrets qui permettent de traiter les problèmes de localisation et d'allocation des installations. (Rushton and Phil, 2014)

#### **II.3.1. Les modèles continus de localisation des installations**

On distingue deux principales méthodes de localisation, la méthode de Weber et la méthode de barycentre.

##### **II.3.1.1. La méthode de Weber**

Le problème de Weber est l'un des premiers problèmes de localisation des installations, il l'a été apparu en 17e siècle. Ce problème cherche à placer une nouvelle installation, un entrepôt ou un centre de distribution qui minimise la somme des distances pondérées entre la nouvelle installation et les installations déjà existantes. Ce problème s'écrit comme suit (Dolgui, 2005) :

$$\min z = \sum_{j \in J} w_j d_j(x, y) = \sum_{j \in J} w_j \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}$$

Où :

- $j$ : La location,
- $w_j$ : Le poids de la localisation  $j \quad \forall j \in J$ ,
- $x_j$ : La coordonnée horizontale de la localisation  $j \quad \forall j \in J$ ,
- $y_j$ : La coordonnée verticale de la localisation  $j \quad \forall j \in J$ ,
- $d_j$ : La distance entre la localisation  $j$  et la nouvelle localisation  $\forall j \in J$ ,
- $x$ : La coordonnée horizontale de la nouvelle localisation,
- $y$ : La coordonnée verticale de la nouvelle localisation.

### II.3.1.2. La méthode de Barycentre

La méthode du Barycentre est une approche qui cherche à calculer les coordonnées géographiques d'une seule nouvelle installation potentielle qui minimise les coûts et développe le réseau de distribution. Les principaux domaines d'utilisation de cette méthode sont les suivants :

- Marchés,
- Volume des marchandises expédiées,
- Les frais de livraison.

Cette méthode est avantageuse car elle est simple à calculer, considère les installations existantes et minimise les coûts (Dolgui, 2005).

#### Les hypothèses du modèle :

- Les quantités à expédier à chaque destination sont supposées fixes,
- La linéarité des coûts de distribution en fonction de la distance et de la quantité.

#### Les équations du modèle :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i \in I} x_i p_i}{\sum_{i \in I} p_i} \dots \dots \dots (a.1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i \in I} y_i p_i}{\sum_{i \in I} p_i} \dots \dots \dots (a.2)$$

Nous calculons les coordonnées X et Y à l'aide de ces équations (a.1) et (a.2) où  $\bar{x}$  la coordonnée X (axe horizontal) pour la nouvelle installation et  $\bar{y}$  la coordonnée Y (axe vertical) pour la nouvelle installation,  $x_i$  la coordonnée X de l'emplacement existant,  $y_i$  la coordonnée Y de l'emplacement existant et  $p_i$  est le poids (quantités, demandes, distances...).

### II.3.1.3. Limites des méthodes continues de localisation des installations

Il est parfois nécessaire de modifier le point théorique d'implantation optimal à cause de :

- La qualité du terrain : lac, zone urbaine, ....
- Du coût de revient de l'implantation : coût du terrain, fiscalité.
- Du marché du travail : qualification et disponibilité de la main d'œuvre, etc.
- De l'environnement socio-administratif : logements, écoles, transports en commun, etc.

Ce qui rend intéressant l'élaboration des modèles discrets de localisation des installations en utilisant une liste d'emplacement candidats afin de surpasser les limites des méthodes continues.

### II.3.2. Les modèles discrets de localisation des installations

Les modèles discrets de localisation des installations consistent essentiellement à définir une liste des candidats potentiels puis trouver la meilleure localisation des installations qui minimise leurs coûts fixes à condition que toutes les demandes des clients soient satisfaites. Il existe plusieurs modèles discrets de localisation des installations, à savoir le modèle de localisation des installations à frais fixes non plafonnés (Uncapacitated Fixed Charge Facility Location Model) et le modèle de localisation des installations à coûts fixes et capacité finie (Capacitated Fixed Charge Facility Location Model). (S Dantrakul, 2014)

Dans ce qui suit, nous abordons le « Capacitated Fixed Charge Facility Location Model » et les modèles spécifiques pour résoudre ce type de problèmes à savoir le modèle du P-centre et le modèle du P-median.

#### II.3.2.1. Les problèmes de localisation des installations à coûts fixes et capacité finie (The capacitated fixed-charge location problem)

C'est est un problème d'optimisation classique permet de déterminer un nombre limité des sites, des usines et des entrepôts "p", et aussi consiste à choisir le meilleur parmi les sites potentiels, sous les contraintes que toutes les demandes en plusieurs points soient satisfaites par les installations établies. L'objectif du problème est de sélectionner les sites des installations afin de minimiser les coûts, ceux-ci comprennent généralement une partie proportionnelle à la somme des distances entre les points de demande et les installations de service, en plus des coûts d'ouverture des sites choisis. Les installations peuvent ou non avoir des capacités limitées, ce qui classe les problèmes en variantes avec et sans capacité.

#### Les paramètres :

$i \in I$ : Représente l'ensemble des clients,

$j \in J$ : Représente l'ensemble des entrepôts,

$h_i$ : Représente la quantité de la demande d'un client  $i$ ,

$S_j$ : Représente la capacité de l'entrepôt  $j$ ,

$f_j$ : Coûts d'ouverture d'une installation,

$C_{ij}$ : Représente le coût de transport entre le client  $i$  et l'entrepôt  $j$ ,

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } i \text{ est desservi par l'entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{s'il y a un entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La formule du problème avec une capacité limitée est comme suit :

**La fonction objectif :**

$$\min z = \sum_{j \in J} f_j Y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \dots \dots \dots (b.1)$$

**Sous contraintes:**

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq p \dots \dots \dots (b.2)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \dots \dots \dots (b.3)$$

$$\sum_{i \in I} h_i X_{ij} - S_j Y_j \leq 0, \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \dots \dots \dots (b.4)$$

$$Y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \dots \dots \dots (b.5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \dots \dots \dots (b.6)$$

La fonction objectif (b.1) est de minimiser le coût total. La contrainte (b.2) garantit que le nombre d'installations ouvertes ne dépasse pas un nombre "p". La contrainte (b.3) garantit que chaque client est affecté à une installation. La contrainte (b.4) garantit que les demandes totales des clients assignés à une installation ne dépassent pas la capacité de l'installation. Les contraintes (b.5) et (b.6) sont des contraintes d'intégrité.

### II.3.2.1.1. Le problème du p-médian

Le problème du p-médiane est un type spécifique des modèles de localisation discrète, il est apparu le début du XXème siècle par le savant Alfred Weber (Weber, 1909). Ce modèle consiste à placer "p" entrepôts pour minimiser la distance totale entre les clients et leur site d'achat (entrepôt) (pondérée en fonction de la demande). Il s'agit d'une approximation du coût total de livraison. Dans ce modèle, il n'y a pas de contraintes de capacité dans les installations.

**Les paramètres :**

$i \in I$ : Représente l'ensemble des clients,

$j \in J$ : Représente l'ensemble des entrepôts,

$h_i$ : Représente la quantité de la demande d'un client  $i$ ,

$S_j$ : Représente la capacité de l'entrepôt  $j$ ,

$C_{ij}$ : Représente le coût de transport entre le client  $i$  et l'entrepôt  $j$ ,

Dans ce problème, nous aimerions placer  $p$  installations pour minimiser la distance totale entre l'ensemble des clients et les entrepôts. Comme il n'y a pas de contraintes de capacité dans les entrepôts, nous pouvons supposer que chaque client est desservi par un seul entrepôt. Pour formuler un programme linéaire entier pour résoudre ce problème, nous définissons une variable de décision :

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } i \text{ est desservi par l'entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

qui décrit quels clients sont desservis par quel entrepôt. Nous devons définir une autre variable de décision

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{s'il y a un entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

qui décrit les emplacements où une installation est placée. Étant donné ces variables de décision, nous pouvons maintenant formuler le problème du  $p$ -médiane est comme suit :

**La fonction objectif :**

$$\min z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \dots \dots \dots (c.1)$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq p \dots \dots \dots (c.2)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \dots \dots \dots (c.3)$$

$$Y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \dots \dots \dots (c.4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \dots \dots \dots (c.5)$$

La fonction objectif (c.1) minimise la distance totale en fonction de la demande (c'est-à-dire pondérée par  $h_i$ ). La contrainte (c.2) assure le fait de localiser au maximum  $p$  entrepôts. La contrainte (c.3) le client  $i$  doit être satisfait par un seul entrepôt  $j$ . Les contraintes (c.4) et (c.5) sont des contraintes d'intégrité.

### II.3.2.1.2. Le problème du $p$ -centre

Contrairement au problème du  $p$ -médian, le problème du  $p$ -centre consiste à localiser " $p$ " entrepôts dans un réseau de façon à minimiser la plus longue distance entre un client et son entrepôt le plus proche, et non pas la somme des distances. La principale préoccupation de ce problème est de maintenir le niveau de service le plus défavorable aussi élevé que possible. Ce type d'objectif est plus significatif que les objectifs de coût total pour les problèmes avec une structure de service sensible au temps, la majorité des applications se pose dans les lieux de service d'urgence, comme la détermination de l'emplacement optimal

des ambulances, des casernes de pompiers et des postes de police...etc. La formule du problème du p-centre est comme suit :

**La fonction objectif :**

$$\min z \dots \dots \dots (d.1)$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \leq z, \forall i \in I \dots \dots \dots (d.2)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq p, \quad \forall j \in J \dots \dots \dots (d.3)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \dots \dots \dots (d.4)$$

$$\sum_{i \in I} h_i X_{ij} - S_j Y_j \leq 0, \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \dots \dots \dots (d.5)$$

$$Y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \dots \dots \dots (d.6)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \dots \dots \dots (d.7)$$

La fonction objectif (d.1) a pour but de minimiser le coût de transport maximum entre les clients et l'entrepôt ouvert auquel ils sont affectés. La contrainte (d.2) garantit que "z" dans la fonction objectif (d.1) est le coût de transport maximum entre les clients et l'entrepôt auquel ils sont affectés. Les autres contraintes sont équivalentes aux contraintes du modèle du problème du p-médian.

Le problème du p-centre est résolu en utilisant l'algorithme de (Dantrakul et Likasiri, 2012). Cet algorithme utilise une série d'ensembles couvrant des problèmes, on trouve une distance parcourue que tous les clients sont couverts à l'intérieur de cette distance en utilisant au plus p installations.

**II.4. Le problème de transport**

La problématique du transport n'est pas un problème récent et de nombreuses entreprises doivent confronter cette dernière à tous les jours. Le problème de base consiste à affecter les clients à une seule route. Or, cela ne reflète qu'une minorité d'entreprises puisque dans la majorité des cas, elles doivent prendre un ensemble de décisions à savoir dans quel ordre desservir un ensemble de clients en utilisant une flotte de véhicule à partir d'un ou plusieurs entrepôts. À cela s'ajoute les décisions d'affectation des clients et des camions aux différentes routes.

Les problèmes de transport les plus connus sont le problème du voyageur de commerce (Traveling Salesman Problem TSP) et le problème de tournée de véhicule (Vehicle Routing Problem VRP). Le TSP permet de visiter un ensemble de clients avec un seul camion, le problème étant de trouver l'ordre optimal dans lequel chaque client sera visité. Quant au VRP qui est la combinaison de plusieurs TSP, et consiste donc à déterminer un ensemble optimal de circuit de distribution à partir d'un ou plusieurs dépôts afin de desservir un ensemble de clients sans faire violer les différentes contraintes.

Le problème de tournées de véhicules classique peut être défini comme un problème où de nombreux clients doivent être desservis à partir d'un unique dépôt avec des demandes connues. Mathématiquement, le VRP se définit sur un graphe  $G = (V, A)$  où  $V = v_0, \dots, v_n$  qui représente l'ensemble des points, c'est-à-dire des clients à visiter et  $A = (v_i, v_j) / v_i, v_j \in V, i \neq j$  représentant l'ensemble des arcs possibles. Le point  $v_0$  représente le dépôt qui est le point de départ et d'arrivée de toutes les routes. Une distance  $d_{ij}$  est associée à chaque arc  $(i, j) \in A$ , ces distances sont symétriques c'est-à-dire que  $d_{ij} = d_{ji} \forall i, j \in A$ . Les véhicules sont affectés aux routes de manière à minimiser l'objectif qui peut être, par exemple, la distance parcourue pour visiter tous les clients. (Cordeau et al., 2002)

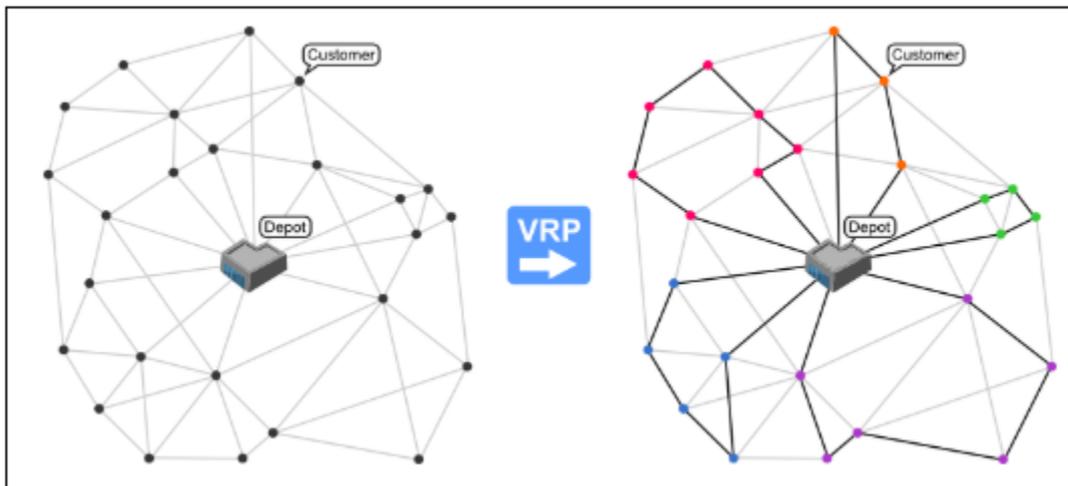


Figure 23: Schéma illustratif d'un VRP classique (ijm&p, 2018. p.4).

**Formulation du problème :**

Il existe de nombreuses formulations du problème de tournée de véhicule. La formulation suivante est tirée de (Klose et Drexler, 2005). Définissons tout d'abord l'ensemble des variables nécessaires pour effectuer la formulation mathématique. La formule du VRP classique générale peut être présentée comme suit :

**Paramètres :**

$N$  : Nombre de camions disponibles.

$V$  : Nombre de clients à visiter. Les clients sont numérotés de 1 à  $n$  et l'entrepôt a le numéro 0.

$d_{ij}$  : Distance entre le client  $i$  et  $j$ .

**Fonction objectif :**

$$\sum_i^n \sum_j^n d_{ij} * X_{ij} \dots \dots \dots (e.1)$$

**Sous contrainte :**

$$\sum_i^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N, \forall k \in V \dots \dots \dots (e.2)$$

$$\sum_j^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N, \forall k \in V \dots \dots \dots (e.3)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, i \neq j \dots \dots \dots (e.4)$$

La contrainte (e.2) s'assure qu'on ne sort qu'une seule fois de chacun des points tandis que la contrainte (e.3) vérifie que l'on entre seulement une fois à chaque point. Ces contraintes permettent donc de visiter tous les points une et une seule fois.

Nous allons présenter dans ce qui suit les variantes les plus connues du VRP et les méthodes de résolution :

**II.4.1.1. Problème de tournées de véhicules avec contraintes de capacité**

C'est la version la plus fondamentale du VRP, où on pose comme hypothèse que les véhicules sont identiques avec une contrainte de capacité Q et les clients ont une demande déterminée  $q_i$ . Dans quelques versions du problème, le nombre de véhicules est déterminé à priori. Dans les autres, le nombre de véhicules est une variable de décisions. De plus, la demande totale de tous les clients d'une route ne peut excéder la capacité Q d'un véhicule. D'où la contrainte :

$$\sum_i^n X_{ij} * q_i \leq Q \quad \forall k \in V \dots \dots \dots (e.5)$$

**II.4.1.2 Problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps**

Cette version spécifie que pour chaque client  $i$  de  $N$ , on impose une fenêtre de temps durant laquelle le client doit être livré.  $[e_i, l_i]$  Représente l'intervalle de temps au cours duquel le service du client doit être accompli.

$$e_i \leq r_i^k \leq l_i, \forall i \in N, k \in K \dots \dots \dots (e.6)$$

$$r_i^k + s_i^k + t_{ij}^k - M * (1 - x_{ij}^k) \leq r_j^k, \forall i \in N, j \neq 1 \in N, k \in K \dots \dots \dots (e.7)$$

La contrainte (e.6) assure la cohérence temporelle des tournées et la contrainte (e.7) assure que chaque demande est servie dans sa fenêtre de temps. L'objectif est alors de minimiser la distance totale parcourue et le nombre de véhicules pour servir les clients en respectant les contraintes de fenêtres de temps pour chaque client.

**II.4.1.3. Le problème de tournées de véhicules avec plusieurs dépôts**

Comme son nom l'indique, cette version comporte plusieurs dépôts et chaque dépôt possède une flotte de véhicules. Chaque tournée d'un véhicule doit commencer et finir au même dépôt. Ainsi, chaque client doit être visité exactement une fois par l'un des véhicules du dépôt auquel il est affecté, sachant que la demande totale de marchandises doit être servie à partir de plusieurs dépôts.

#### II.4.1.4. Les méthodes de résolution

Les techniques les plus couramment utilisées pour résoudre les problèmes de routage des véhicules sont présentés dans la figure (24). La quasi-totalité d'entre elles sont heuristiques et méta-heuristiques car aucun algorithme exact ne peut être garanti pour trouver des circuits optimaux dans un temps de calcul raisonnable lorsque le nombre de villes est important. Cela est dû à la dureté NP du problème.

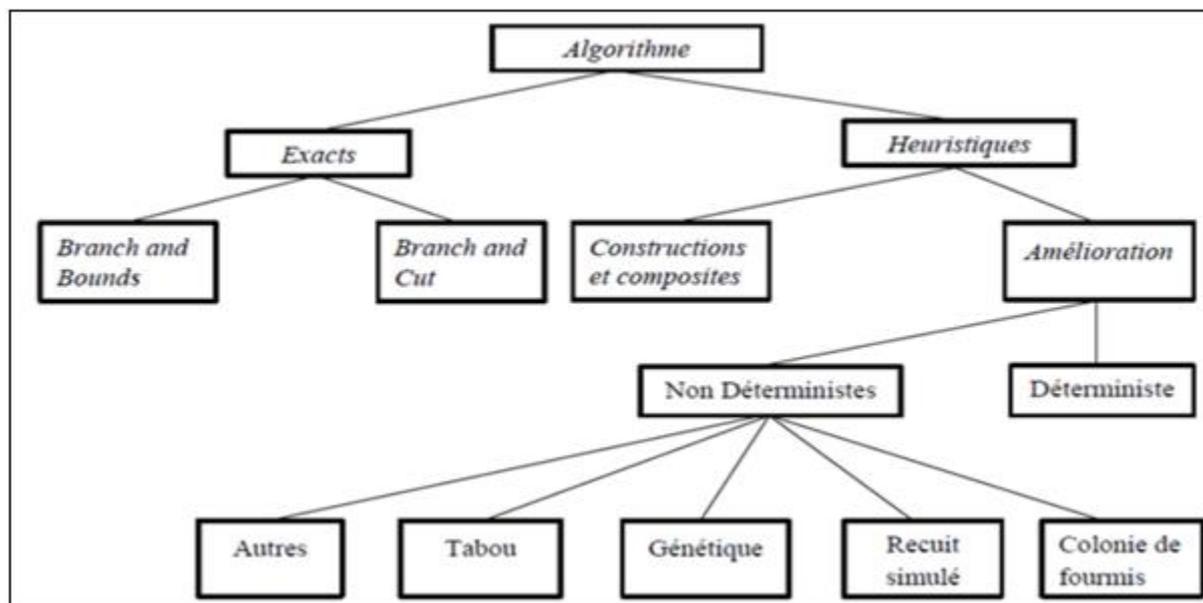


Figure 24: Les algorithmes de résolution (rapport de recherche de Télécom Bretagne, synthèse du problème de routage de véhicules, 2011, p15).

Le choix d'un algorithme repose évidemment sur le type de problème mais il est aussi primordial de considérer le temps de calcul et l'effort disponible pour trouver une solution. Dépendamment du choix de l'algorithme utilisé, nous obtiendrons une solution de qualité différente demandant un effort différent. Habituellement, la qualité de la solution est corrélée avec l'effort nécessaire pour l'obtenir.

Nous pouvons séparer les algorithmes en deux catégories soit : les algorithmes exacts et les heuristiques. La principale distinction à faire entre ces deux approches est la suivante, l'algorithme exact permet de trouver l'optimum tandis que l'heuristique s'en approche sans garantir de le trouver mais avec un moindre effort. (Cordeau et al., 2002)

##### a- Les algorithmes exacts

Un algorithme exact permet de trouver la solution optimale. Or, cela exige un temps de calcul important puisqu'implicitement elle consiste à énumérer l'ensemble des solutions possibles. Ainsi, comme le temps de calcul risque d'augmenter exponentiellement avec la taille du problème, il n'est pas rare que ces méthodes rencontrent des difficultés lorsque la taille du problème augmente. On peut diviser les méthodes exactes selon deux différentes approches soient la séparation et l'évaluation progressive et la méthode de plan de coupe.

L'algorithme de séparation et évaluation progressive, mieux connue sous le nom de "Branch and bound " se base sur l'énumération et l'évaluation des solutions possibles. Cet algorithme construit une arborescence et évalue, pour chacune des branches, la possibilité de

trouver la solution optimale. Ensuite, seuls les sommets qui semblent pouvoir mener à une solution intéressante sont examinés, évitant par le fait même de parcourir entièrement l'arbre des solutions.

La génération de coupe, en anglais " branch and cut ", est une généralisation de la séparation et l'évaluation progressive dans lequel plusieurs coupes sont générées afin de restreindre l'espace des solutions et ainsi augmenter la valeur de la relaxation linéaire.

### **b- Les heuristiques**

L'heuristique est un moyen de guider les choix que doit faire un algorithme pour réduire sa complexité spécifique à un problème et il ne peut pas être généralisé.

Les méthodes heuristiques pour la résolution du problème de VRP en deux grandes catégories :

- Les méthodes de construction
- Les méthodes d'amélioration.

Méthodes constructives qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.

Méthodes d'amélioration (de fouilles locales) qui démarrent avec une solution initialement Complète, et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

### **II.5. Supply chain design dans l'industrie des gaz**

Un réseau de chaîne logistique des gaz industriels se compose des sites de production, des unités de séparation d'air avec des réservoirs cryogéniques de stockage attachés et des dépôts d'où partent les camions pour satisfaire plusieurs demandes des clients. Les problèmes communs de la planification de la supply chain (production, gestion des stocks, gestion de la distribution) sont compliqués par le besoin d'allouer plusieurs tâches de distribution détaillées (allouer des camions pour distribuer le produit, sélectionner le problème d'acheminement, tenir compte des disponibilités des camions, etc.). De plus, lorsqu'il s'agit de problèmes de taille industrielle cette complexité augmente considérablement vu la nature combinatoire du problème de la disponibilité de plusieurs sites, des camions à alloués à chaque site, les itinéraires possibles (ou ensembles de clients) et livrer les produits aux clients.

L'industrie des gaz distingue trois modes de distribution pour distribuer ses produits et satisfaire ses clients. Les produits sont livrés soit par canalisation pour satisfaire les clients de la grande industrie (Chimie, raffinage et énergie, métaux, etc.), soit par camions-citernes (Vracs) pour satisfaire les clients de l'industriel marchand (matériaux, automobile et fabrication, alimentaire et pharmacie, etc.), de la santé (hôpitaux) et de l'électronique (les usines de la fabrication électronique qui utilisent les gaz dans la fabrication des lampes néon, semi-conducteurs, du photovoltaïque et des écrans plats, etc.), soit en bouteille pour satisfaire les clients qui commandent des petites quantités (la santé à domicile, les cliniques, les entrepreneurs, etc.)

Les décisions de distribution dépendent de la quantité de produit à livrer pour satisfaire les demandes de réapprovisionnement d'un seul client. Le produit peut être livré de n'importe quelle source ; le modèle décide quel est le camion utilisé et quelle sont les clients à visiter dans une période donnée. Les camions peuvent effectuer un aller-retour unique (dépôt-clients-dépôt) à chaque période  $t$ . Les tâches de chargement et de déchargement des camions peuvent se produire à tout moment dans chaque période (un nombre maximum de visites possibles par voyage est assumé). Le problème combinatoire découle de la prise en compte de plusieurs camions possibles à distribuer le produit à tout client à l'intérieur d'un itinéraire possible (bien que les ensembles de clients aient été réduits par un algorithme de génération d'itinéraire, il considère encore de nombreux itinéraires à explorer).

Nous distinguons deux ensembles de clients, l'ensemble de l'industriel marchand et l'ensemble de la santé car un seul camion ne peut pas transporter des produits de la santé avec d'autres produits au même temps. Chaque ensemble est divisé en deux sous-ensembles, l'ensemble des clients à livrer en camion-citerne et l'ensemble des clients de bouteilles. (Miguel Zamarripa, 2016)

**Sélection d'itinéraire :** Chaque camion  $k$  est affecté à un dépôt fixe  $d$  et le produit  $i$  en définissant le sous-ensemble  $K_{di}$ . Le camion  $k \in K_{di}$  se déplace de son dépôt  $d$  à un emplacement source valide (c.-à-d. une usine connexe  $p$ ) et ramasse le produit  $i$  (en considérant une capacité de camion), puis livre le produit via des ensembles de clients (itinéraires)  $s$  (un ou plusieurs clients définis précédemment), et enfin le camion retourne au dépôt  $d$ . L'équation (f.1) garantit que chaque camion  $k$  n'est affecté qu'à un seul ensemble de clients à chaque intervalle de temps  $t$ .

$$\sum_{s \in S_{di}} y_{kst} \leq 1 \quad \forall k \in K_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots \dots \dots (f.1)$$

Notez que puisque chaque camion est associé à un dépôt spécifique, il n'est pas nécessaire de décider le dépôt à utiliser. Depuis, la somme de  $y_{kst}$  représente le nombre de visites aux clients et  $y_{kpt}$  indique si le camion  $k$  charge le produit à l'usine  $p$  pendant la période  $t$ , l'équation (f.2) établit qu'une usine d'approvisionnement est requise si et seulement si le camion  $k$  livre le produit au temps  $t$ .

$$\sum_{p \in P_{di}} Y_{kpt} = \sum_{s \in S_{di}} y_{kst}, \forall k \in K_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots \dots \dots (f.2)$$

**Capacité du camion :** Les variables positives continues  $E_{kpt}$  et  $e_{kst}$  sont introduit pour gérer la quantité de produits livrés par camion  $k$ , avec des limites supérieures données par les équations (f.3) et (f.4), respectivement. La capacité des camions est exprimée soit en  $m^3$  pour les camions-citernes soit en nombre de bouteilles. La variable  $E_{kpt}$  représente la quantité distribuée par camion  $k$  de l'usine  $p$  dans la période  $t$ , alors que  $e_{kst}$  est la quantité livrée par  $k$  à l'ensemble des clients  $s$  dans la même période  $t$ , et  $U_k^{camion}$  représente la capacité maximale du camion  $k$ .

$$E_{kpt} \leq Y_{kpt} U_k^{camion}, \forall k \in K_{di}, p \in P_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots \dots \dots (f.3)$$

$$e_{kst} \leq Y_{kst} U_k^{camion} , \forall k \in K_{di}, s \in S_{di}, i \in I, d \in D, t \in T. \dots \dots \dots (f.4)$$

Enfin, l'équation (f.5) garantit que la quantité de produit ramassé à une usine donnée est la même que celle livrée à l'ensemble des clients sélectionnés, pour chaque camion k et période t.

$$\sum_{s \in S_{di}} e_{kst} = \sum_{p \in P_{di}} E_{kpt} , \forall k \in K_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots \dots \dots (f.5)$$

**La quantité de ramassage :** Après avoir défini le volume chargé dans le camion k à l'usine p pendant une période donnée, l'équation (f.6) définit la quantité totale de produit livrée par camion depuis l'usine p à chaque instant t ( $D_{pi,t}^{camion}$ ). Les livraisons sont contraintes par la correspondance dépôt-produit-usine dans  $p \in P_{di}$ .

$$D_{pi,t}^{camion} = \sum_{\substack{d \in D: \\ (p \in P_{di})}} \sum_{k \in K_{di}} E_{kpt} , \forall i \in I, p \in P, t \in T \dots \dots \dots (f.6)$$

**Sources alternatives :** L'équation (f.7) contraint le maximum de la quantité du produit i qui peut être achetée à n'importe quelle source alternative au temps t ( $p \in P^{alt}$ )

$$D_{pi,t}^{camion} \leq Q_{pi,t}^{purchase} , \forall i \in I, p \in P^{alt}, t \in T \dots \dots \dots (f.7)$$

**La satisfaction de la demande :** La charge de produit à fournir pour chaque ensemble client est calculée dans l'équation (f.8), qui correspond à la somme de toutes les demandes des clients c visités par l'ensemble client s égal au produit transporté par le camion k au client s dans la période t ( $e_{kst}$ ), qui tient compte du camion utilisé pour satisfaire les demandes des clients dans l'ensemble de clients. Par conséquent, l'équation (f.9) quantifie les expéditions de produits nécessaires pour satisfaire la prévision de la demande client (livraisons prévues) pendant une fenêtre de temps.

$$\sum_{\substack{d \in D: \\ (s \in S_{di})}} \sum_{k \in K_{di}} e_{kst} = \sum_{c \in S} d_{sct} , \forall s \in S_i, i \in I, t \in T \dots \dots \dots (f.8)$$

$$\sum_{t=t_1}^{t_2} \left( \sum_{s \in S_i} d_{sct} \right) = Pd_{c,t_1,t_2}^{deliv} , \forall c \in C_i, i \in I, \{t_1, t_2\} \subset T: Pd_{c,t_1,t_2}^{deliv} > 0 \dots \dots (f.9)$$

**Le calcul de la distance :** La distance parcourue par le camion k à la période t est donnée par la variable continue  $DIS_{kt}$ , qui est défini dans l'équation (f.10).

$$DIS_{kt} = \sum_{s \in S_{di}} dis_{ds}^{min} y_{kst} + \beta_{kt} , \forall k \in K_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots \dots \dots (f.10)$$

Où  $dis_{ds}^{min}$  est défini comme la distance minimale requise pour livrer le produit i à l'ensemble des clients s à partir de l'usine p qui est le plus idéalement situé, et  $\beta_{kt}$  représente la distance supplémentaire nécessaire si une autre usine est sélectionnée.  $\beta_{kt}$  est contraint par sa borne inférieure dans l'équation (f.11) en fonction de la source et l'ensemble des clients

lorsque l'usine  $p$  est sélectionnée. La distance supplémentaire ( $\delta_{d,p,s}$ ) est définie dans l'équation (f.12) en considérant la différence entre distance minimale et complète ( $Dis_{ds}^{min}$ ,  $Dis_{d,p,s}$ , respectivement), et la distance maximale  $\delta_{dp,i}^{max}$  peut alors être calculée en équation (f.13).

$$\sum_{s \in S_{di}} \delta_{dps} y_{kst} \leq \delta_{dp,i}^{max} (1 - Y_{pkt}) + \beta_{kt} \quad , \forall p \in P_{di}, k \in K_{di}, i \in I, d \in D, t \in T \dots (f. 11)$$

$$\delta_{dps} = dis_{dps} - dis_{ds}^{min} \quad , \forall s \in S_{di}, p \in P_{di}, i \in I, d \in D \dots \dots \dots (f. 12)$$

$$\delta_{dp,i}^{max} = \max[\delta_{dps}] \quad , \forall p \in P_{di}, i \in I, d \in D \dots \dots \dots (f. 13)$$

**L'objectif** est de minimiser les coûts de distribution sur l'horizon de planification considéré ( $t \in T$ ). Le coût de distribution est donné par l'équation (f.14) et déterminé par deux termes. Le premier correspond à la distance totale parcourue multipliée par le coût du transport et le dernier terme prend en compte le coût de sous-traitance, c'est-à-dire le coût résultant de l'acquisition de produits auprès de sources alternatives.

$$DCost_t = \sum_{d \in D} \sum_{i \in I} \left( \sum_{k \in K_{di}} cdis_k \cdot DIS_{kt} \right) + \sum_{p \in P^{alt}} (C_{p,i,t}^{purch} \cdot C_{p,i,t}^{camion}) \dots \dots (f. 14)$$

**Conclusion**

Ce chapitre a traité des notions théoriques tirées de la revue de littérature qui ont une relation avec le cadre général de l'étude ou nous avons abordé les notions de la logistique et du supply chain management ainsi que le supply chain design et ses différents problèmes et les méthodes de résolution et nous avons spécifié ces aspects dans l'industrie des gaz.

Dans ce qui va suivre, nous exposerons la partie pratique de notre travail. Le chapitre suivant consistera à élaborer les modèles mathématiques spécifiques à notre cas de figure qui ont pour but l'optimisation de la partie aval de la chaîne logistique et leur application sur les données de l'entreprise et en comparant les résultats obtenus avec le cas actuel afin de pouvoir résoudre la problématique soulevée par notre projet.

# **Chapitre 3**

## **L'optimisation de la chaîne logistique en aval**

## Introduction

Après avoir cerné la problématique de notre projet et présenter les différents concepts théoriques, nous arrivons à la partie pratique qui consiste à élaborer des modèles mathématiques pour améliorer la chaîne logistique en aval.

Ce chapitre est divisé en trois sections, la première consiste à trouver une meilleure localisation géographique pour ouvrir un nouveau DC pour l'industriel marchand par l'élaboration d'un modèle mathématique spécifique à ce cas. La deuxième consiste à améliorer l'opération de distribution de l'Oxygène médical en élaborant un modèle mathématique qui va avec les contraintes de l'entreprise et la troisième section sera consacrée à la conception d'un système d'aide à la décision et la proposition d'un tableau de bord.

## Section 1 : Le projet de l'industriel marchand

### I. La détermination du point de conception de la chaîne logistique à travers les modèles continus

#### I.1. Résultats de la méthode de Barycentre

L'application de la méthode de barycentre sur la région d'Ouest a pour but de trouver le centre de gravité de plusieurs points de commandes qui sont, dans notre cas, les communes de la région. Les coordonnées des communes obtenues par le géo-codeur sont pondérées par le nombre de commandes de chaque commune pour montrer que ces points de commandes n'ont pas la même importance dans la localisation de l'entrepôt. L'application de la méthode ainsi que les nouvelles coordonnées sont représentées dans le tableau suivant.

Table 5: Résultat de la méthode de Barycentre sur la région d'Ouest.

Commune	REGION	poids	X	Y	n*X	n*Y
bir el djir, oran	Ouest	1	35.72114	-0.55725	35.72114	-0.55725
El attaf, Ain defla	Ouest	1	36.20677	1.65079	36.20677	1.65079
es-senia, oran	Ouest	1	35.65	-0.60622	35.6492	-0.60622
mesra, Mostaganem	Ouest	1	35.84534	0.17233	35.84534	0.17233
oran, Oran	Ouest	3	35.69873	-0.63493	107.09619	-1.90479
oued rhiou, Relizane	Ouest	1	35.96771	0.91189	35.96771	0.91189
Sidi fredj, Oran	Ouest	1	35.70	-0.64041	35.69595	-0.64041
telemcen, Telemcen	Ouest	1	34.88288	-1.31668	34.88288	-1.31668
tiaret, Tiaret	Ouest	1	35.36933	1.32327	35.36933	1.32327
Ain defla, Ain Defla	Ouest	2	36.26	1.93378	72.5139	3.86756
ZI Mascara, Mascara	Ouest	2	35.37	0.10973	70.73154	0.21946
Somme		16	428.30898	1.7606	571.32916	2.53425
X*		35.7080725		Sirat, Mostaganem		
Y*		0.158390625				

Les coordonnées résultantes de la méthode de barycentre sont les suivantes :

$$x^* = \frac{571.32916}{16} = 35.7080725 ;$$

$$y^* = \frac{2.53425}{16} = 0.158390526 ;$$

Les coordonnées font référence à la commune **Sirat**, wilaya de **Mostaganem**.



**Figure 25: Le positionnement du DC sur Sirat, Mostaganem.**

Après avoir sélectionné l'emplacement du nouveau DC, nous avons effectué l'affectation des clients aux trois DC ouverts et nous avons calculé la distance totale parcourue ainsi que le coût de transport **Inbound** (entre l'usine et les entrepôts) et **Outbound** (entre les entrepôts et les clients). (Voir Annexe B).

## I.2. Résultats de la méthode de Weber

La résolution du modèle de Weber sur Excel, à l'aide de solveur, nous a donné les résultats suivants :

$$x^* = 35.6402352;$$

$$y^* = 0;$$

Ces deux coordonnées font référence à la commune **Sidi Abdelmoumen**, wilaya de **Mascara**.

Table 6: Résultat de la méthode de Weber sur la région d'Ouest.

Communes	REGION	nbre com	Poids ( nbre com * Coi	X	Y	Distance	poids * Distance
bir el djir, oran	Ouest	1	75.31855238	35.72114	-0.55725	0.563092488	42.41131103
El attaf, Ain defla	Ouest	1	75.31855238	36.20677	1.65079	1.745299203	131.4534094
es-senia, oran	Ouest	1	75.31855238	35.65	-0.60622	0.606286282	45.66460511
mesra, Mostaganem	Ouest	1	75.31855238	35.84534	0.17233	0.26789104	20.17716532
oran, Oran	Ouest	3	225.9556571	35.69873	-0.63493	0.63761881	144.0735772
oued rhiou, Relizane	Ouest	1	75.31855238	35.96771	0.91189	0.96890821	72.97676375
Sidi fredj, Oran	Ouest	1	75.31855238	35.70	-0.64041	0.642828988	48.41694878
telemcen, Telemcen	Ouest	1	75.31855238	34.88288	-1.31668	1.518957905	114.4057105
tiaret, Tiaret	Ouest	1	75.31855238	35.36933	1.32327	1.35071578	101.7339572
Ain defla, Ain Defla	Ouest	2	150.6371048	36.26	1.93378	2.029739451	305.7540742
Zl Mascara, Mascara	Ouest	2	150.6371048	35.37	0.10973	0.295587241	44.52640621
(X*, Y*)			35.6402352		0	Tot (poids * distance)	1071.593929
Sidi Abdelmoumen, Mascara							

La figure suivante représente le positionnement du DC sur Sidi Abdelmoumen, Mascara ainsi que les clients de la région.



Figure 26: Le positionnement du DC sur Sidi Abdelmoumen, Mascara.

Après avoir sélectionné l'emplacement du nouveau DC, on a effectué à l'aide de Excel l'affectation des clients aux trois DC ouverts et on a calculé la distance totale parcourue ainsi que le coût de transport **Inbound** (entre l'usine et les entrepôts) et **Outbound** (entre les entrepôts et les clients). (Voir Annexe C).

Dans ce qui précède, nous avons appliqué la méthode de weber et de barycentre uniquement sur les clients de la région « ouest », car l'entreprise désire implémenter un nouveau DC dans cette région afin de minimiser la distance totale parcourue pour les trois DC. Ces deux méthodes ne prennent pas en considération les clients des autres régions ni les coûts. D'où la nécessité d'aller vers un modèle discret afin d'avoir un résultat plus précis qui prend en compte toutes les régions (Est, Ouest, Centre) et qui permet de bien affecter les clients aux DC le plus proche.

## II. La détermination du point de la conception de la chaîne logistique par un modèle discret

Dans ce qui suit, nous allons élaborer un modèle mathématique générale, puis le simplifier en se basant sur des hypothèses de notre cas et on terminera par le déroulement du modèle et l'obtention des résultats.

### II.1. Élaboration du modèle mathématique

#### II.1.1. Le modèle mathématique général

Le modèle mathématique se compose de trois éléments : les paramètres du modèle, la fonction objectif et les contraintes.

- **Premièrement, les paramètres :**

Soient :

$I$ : Ensemble des usines.

$J$ : Ensemble des entrepôts.

$K$ : Ensemble des clients.

$H$ : Ensemble des produits.

$D'_{ij}$ : Distance entre l'usine  $i$  et l'entrepôt  $j$ .

$D_{jk}$ : Distance entre l'entrepôt  $j$  et le client  $k$ .

$C'_{ijh}$ : Coût unitaire de transport du produit  $h$  de l'usine  $i$  vers l'entrepôt  $j$ .

$C_{jkh}$ : Coût unitaire de transport du produit  $h$  d'un entrepôt  $j$  vers un client  $k$ .

**Les variables de décision :**

$$X_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } k \text{ est desservi par l'entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{s'il y a un entrepôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- **Deuxièmement, la fonction objectif :**

Cette dernière a pour but de :

- Minimiser les coûts de transport entre les entrepôts et les clients,
- Minimiser les coûts de transport entre l'usine et les entrepôts,
- Trouver l'ensemble des clients destinés à chaque entrepôt ouvert,

Elle est formulée de la manière suivante :

$$\mathbf{Min Z} = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} (X_{jk} C_{jkh} D_{jk}) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} (Y_j C'_{ijh} D'_{ij})$$

• **Troisièmement, les contraintes :**

Contrainte 1 :

Cette contrainte assure que chaque client doit être affecté :  $\sum_j^N X_{jk} = 1 \forall k$

Contrainte 2 :

Le nombre d'installations doit être égal à P :  $\sum_j^N Y_j = P$

Contrainte 3 :

Les clients ne sont affectés qu'à un site ouvert :  $\sum_k X_{jk} \leq Y_j \times M \forall j$

M : Valeur très grand

Contrainte 4 :

DC-Alger et DC-Constantine doivent rester ouverts :  $Y_{DC-Alger} = Y_{DC-Constantine} = 1$

Les contraintes d'intégrité :

$$Y_j \in \{0,1\} \quad j \in J$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad j \in J \text{ et } k \in K$$

Donc, le modèle que nous avons élaboré est formulé comme suit :

**Fonction objectif :**

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} (X_{jk} C_{jkh} D_{jk}) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} (Y_j C'_{ijh} D'_{ij})$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_j^N X_{jk} = 1 \forall k \dots \dots \dots (1)$$

$$\sum_j^N Y_j = P \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_k X_{jk} \leq Y_j \times M \forall j \dots \dots \dots (3)$$

$$Y_{DC-Alger} = 1 \dots \dots \dots (4)$$

$$Y_{DC-Constantine} = 1 \dots \dots \dots (5)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad j \in J \dots \dots \dots (6)$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad j \in J \text{ et } k \in K \dots \dots \dots (7)$$

**Les hypothèses simplificatrices :**

Il y a un ensemble des hypothèses qui nous permet de simplifier notre modèle

- Dans notre cas il y a une seule usine, qui est à Réghaia-Alger, alors on a un seul  $i = \text{'Réghaia'}$ .
- Le coût de transport est lié à la bouteille et non pas au type de produit, donc on a un et un seul "h", donc  $C_{jkh} = C_{jk}$  et  $C'_{ijh} = C_{ij}$ .
- Le coût de transport est le même entre l'usine et le DC et entre le DC et les clients, donc :  $C_{jk} = C'_{ij} = C$ .

**II.1.2. Le Modèle simplifié**

Le modèle simplifié est formulé de la façon suivante :

**Fonction objectif :**

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (X_{jk} C D_{jk}) + \sum_{j \in J} (Y_j C D'_j)$$

**Sous contraintes :**

$$\sum_j^N X_{jk} = 1 \quad \forall k \dots \dots \dots (1)$$

$$\sum_j^N Y_j = P \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_k X_{jk} \leq Y_j \times M \quad \forall j \dots \dots \dots (3)$$

$$Y_{DC-Alger} = 1 \dots \dots \dots (4)$$

$$Y_{DC-Constantine} = 1 \dots \dots \dots (5)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad j \in J \dots \dots \dots (6)$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad j \in J \text{ et } k \in K \dots \dots \dots (7)$$

**II.2. Résultats du modèle élaboré**

Pour résoudre ce modèle, nous avons eu recours au logiciel IBM CPLEX Optimizer qui est l'un des solveurs les plus adéquats pour la résolution des problèmes de type NP\_difficile.

Optimization Programming Language (OPL) est un langage informatique permettant de spécifier des problèmes d'optimisation, qui peuvent être ensuite passés à un solveur pour résolution. Le fait qu'OPL soit un langage de modélisation implique qu'il n'a pas vocation à être exécuté.

L'interface utilisée pour écrire des problèmes d'optimisation en OPL est l'IBM Ilog CPLEX Optimisation Studio. CPLEX (édité par la société ILOG) est un solveur de programmation linéaire, c'est-à-dire un logiciel permettant de résoudre des problèmes d'optimisation linéaire. Plusieurs types d'algorithmes de résolution sont disponibles, en particulier l'algorithme du simplexe et un algorithme de points intérieurs. Deux modes d'utilisation sont disponibles : via une API, permettant d'interfacer CPLEX à l'aide d'un langage de programmation (de type Java ou C++), et un mode interactif, en lignes de commande.

Un projet OPL est constitué de 4 types de fichiers :

- a. Un fichier projet (.project).
- b. Un ou plusieurs fichiers de modèles (.mod).
- c. Un ou plusieurs fichiers facultatifs de données (.dat).

### II.2.1. Application du modèle sur Cplex

On a lancé la résolution du problème en fixant le nombre de DC à **P=3**, car l'entreprise désire rajouter un seul centre de distribution afin d'optimiser les couts de transport.

```

1 /*****
2 * OPL .12.6.0.0 Data
3 * Author: Azeddine BEN
4 * Creation Date: 20 avr. 2020 at 09:55:57
5 *****/
6 u=1;
7 e=2;
8 c=61;
9 n=63;
10 p=3;
11 cout=75.31855238;
12 SheetConnection my_sheet("test.xlsx");
13 distance from SheetRead(my_sheet,"Feuil2!B2:BL62");
14 distance_usine_entrepot_client from SheetRead(my_sheet,"Feuil2!B072:DY72");
15

```

Figure 27: Le fichier des données sur Cplex cas du DC.

```

*DC.mod
1 /*****
2 * OPL 12.6.0.0 Model
3 * Author: Azeddine BEN
4 * Creation Date: 20 avr. 2020 at 09:55:57
5 *****/
6 //parametre
7 int u=...;
8 int e=...;
9 int c=...;
10 int n=...;
11 int p=...;
12 float cout=...;
13 range usine=1..u;///i
14 range entrepot=1..e;///j
15 range client=1..c;///k
16 range client_entrepot=1..n;
17
18 float distance[client][client_entrepot]=...;
19 //float distance_usine_entrepot[usine][entrepot]=...;
20 float distance_usine_entrepot_client[client_entrepot]=...;
21
22 //Variables
23 dvar boolean x[client][client_entrepot];
24 dvar boolean y[client_entrepot];
25
26 //fonction objectif
27 minimize sum(j in client,k in client_entrepot)
28 x[j][k]*distance[j][k]+ sum(j in entrepot)y[j]*distance_usine_entrepot_client[j];
29
30 //contraintes
31 subject to {
32 //contrainte_1
33 forall(j in client)
34   cont1:
35     sum(k in client_entrepot)x[j][k]==1;
36
37 //Contrainte_2
38 cont2:
39   sum(j in client_entrepot)y[j]==p;
40
41
42 //Contraint_4
43 cont4:
44   y[62]==1;
45
46 //Contraint_5
47 cont5:
48   y[63]==1;
49
50 //Contrainte_3
51 forall(k in client_entrepot)
52   cont6:
53     sum(j in client)x[j][k]<=y[k]*n;
54
55 //Contrainte supplémentaire
56 forall(i in client_entrepot:i<=61)
57   contsup:
58     (y[i]==1)=>(x[i][i]==1);
59 }

```

Figure 28: Le fichier modèle sur Cplex cas du DC.

## Les résultats obtenus

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Relaxations Journal du moteur Statistiques Profilleur Serveurs CPLEX
// solution (optimal) with objective 6572.106
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective 6.5721060000e+003
// MILP solution norm |x| (Total, Max) 6.60000e+001 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max) 0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max) 7.99361e-015 1.77636e-015
// MILP x integrality error (Total, Max) 7.99361e-015 1.77636e-015
// MILP slack bound error (Total, Max) 3.19744e-014 2.75335e-014
// MILP indicator slack bound error (Total, Max) 8.88178e-016 4.44089e-016
    
```

Figure 29: La solution du Cplex cas du DC.

La solution optimale que nous donne le modèle du point de vue coûts de transport est d'ouvrir un nouvel entrepôt situé à la zone industrielle d'**Es'sénia, Oran**.

Le modèle mathématique nous donne l'**allocation** des clients (l'ensemble des clients qui ont été affecté pour chaque entrepôt) ainsi que le coût minimal concernant le transport **Inbound** (entre l'usine et les entrepôts) et **Outbound** (entre les entrepôts et les clients). A partir des résultats du modèle, nous avons précisé la quantité mensuelle estimée qui doit être envoyé de l'usine vers chaque entrepôt ainsi que le nombre de commande mensuelle estimée de chaque entrepôt.

La figure suivante représente le nouveau système de zonage après l'ouverture de 3 DC :



Figure 30: Le nouveau système de zonage après l'ouverture de 3 DC.

### III. Comparaison et interprétation des résultats

L'objectif commun de ces méthodes est de trouver la localisation optimale de l'entrepôt, de telle sorte, que les distances et les coûts soient les plus bas possibles.

Les résultats des méthodes précédentes ont été comparés. Dans l'état actuel de l'entreprise, les écarts entre les distances parcourues, selon les diverses méthodes de localisation sont effectifs. Le tableau suivant représente les distances parcourues et le cout total de transport dans chaque méthode et le gain en termes de distance et de coût de transport pour les nouvelles localisations.

*Table 7: Comparaison des gains entre le cas actuel et les résultats des différentes méthodes*

	<b>Cas actuel : DC-Alger ; DC-Constantine</b>	<b>Modèle discret (p=3)</b>	<b>Weber</b>	<b>Barycentre</b>
<b>Distance Totale (km)</b>	<b>9722.257</b>	<b>6572.106</b>	<b>7506.984</b>	<b>7496.018</b>
<b>Gain en Km par rapport au cas actuel</b>	/	<b>3150.151</b>	<b>2215.273</b>	<b>2226.239</b>
<b>Coût Totale de transport (DA)</b>	<b>1464532.646</b>	<b>990003.02</b>	<b>1130830.335</b>	<b>1129178.45</b>
<b>Gain en termes de coût par rapport au cas actuel</b>	/	<b>474529.626</b>	<b>333702.311</b>	<b>335354.197</b>
<b>% de Gain</b>	/	<b>32.40%</b>	<b>22,79%</b>	<b>22,9%</b>

Le tableau ci-dessus montre la différence entre les trois méthodes par rapport à la distance totale parcourue et au coût total, ainsi que le gain de chaque méthode par rapport au cas actuel. La meilleure solution est obtenue par le modèle discret, avec un gain de 32.40% par rapport au cas actuel. Pour cela, l'emplacement retenu du nouveau centre de distribution est au niveau de la zone industrielle d'Es'sénia, Oran, pour que l'ensemble des entrepôts ouverts soient **Réghaia (Alger), ZI Rhumel (Constantine) et ZI Es'sénia (Oran)**.

La figure suivante montre la localisation d'Es'sénia dans la wilaya d'Oran.

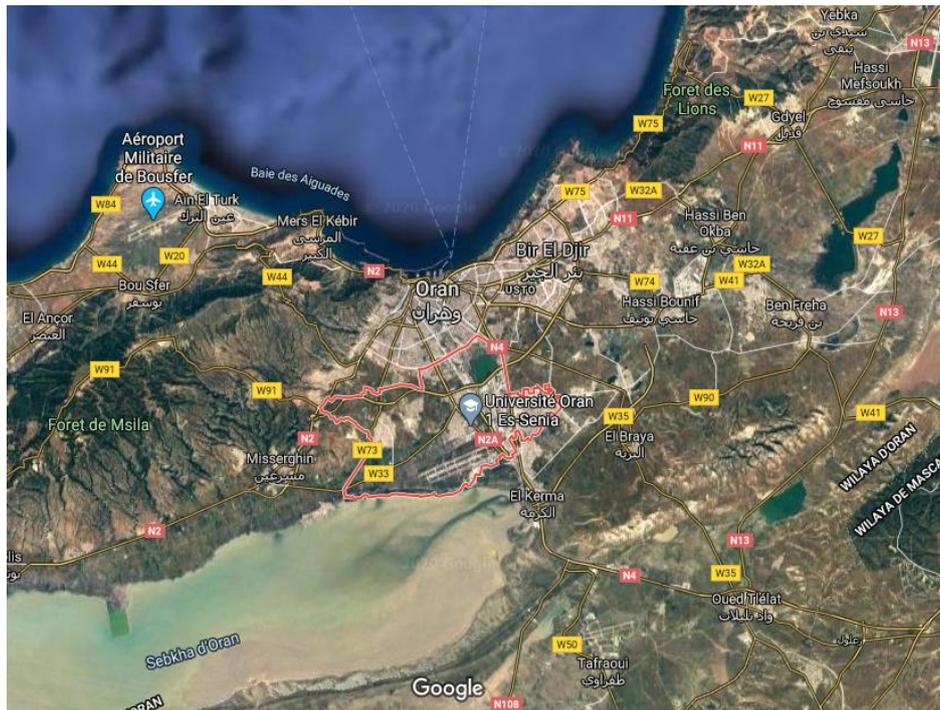


Figure 31: La localisation d'Es'sénia dans la wilaya d'Oran (Google Maps).

La commune d'Es'sénia se situe au sud de la wilaya d'Oran et avec une population de plus de 11700 habitants, sur une surface de 48,51 km<sup>2</sup> (Source : DPSB - Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires), ce qui présente une grande densité de population. Cette commune représente une base industriel importante pour la wilaya d'Oran grâce à sa zone industrielle qui représente un bon emplacement pour le nouveau centre de distribution grâce au nombre important des entreprises dans cette zone industrielle.

La figure suivante montre l'emplacement de la zone industrielle d'Es'sénia.



Figure 32: L'emplacement du zone industrielle d'Es'sénia.

A partir de cette figure, nous remarquons le passage de la route national numéro 4 (RN4) et la route national 2A (RN 2A) qui est reliée avec RN2 par la zone industriel d'Es'sénia, ce qui facilite l'accès aux clients, réduire des coûts supplémentaires et fluidifie le transport, ce qui pourra aussi justifier le bon emplacement pour le DC d'Es'sénia.

Nous avons vu, dans la section précédente, l'application des méthodes de localisation pour trouver la meilleure localisation du nouvel entrepôt. La section suivante abordera le projet de l'oxygène médical.

Les données de l'Organisation Mondiale de la Santé suggèrent que, bien que la majorité des personnes atteintes de COVID-19 souffrent d'une maladie légère ou modérée (40%) ; environ 15% d'entre eux ont une maladie grave nécessitant une oxygénothérapie, et 5% sont gravement malades nécessitant un traitement en unité de soins intensifs. De plus, la plupart des patients COVID-19 gravement malades auront besoin d'une ventilation mécanique. (OMS)

Pour ces raisons, les établissements de soins de santé COVID-19 (les hôpitaux) doivent être équipés d'oxymètres de pouls et des systèmes d'oxygène fonctionnels et ces dernières consomment des grandes quantités d'Oxygène médical pour qu'elles puissent fonctionner.

Il ne fait aucun doute que quelques hôpitaux ont connu de faibles niveaux d'oxygène ou un manque de bouteilles, ce qui nous oblige à entamer une amélioration des processus de distribution d'oxygène médical pour faire face aux demandes élevées de ce produit et satisfaire les clients de ce produit.

## **Section 2 : le projet de l'Oxygène médical**

Le but de ce projet est d'augmenter le taux de rotation de la bouteille, qui est un indicateur de performance très important pour ce type d'industrie, tout en minimisant le coût total de livraison.

L'entreprise livrait ses clients avec une fréquence mensuelle, ce qui provoque un long temps de séjour des bouteilles vides chez le client. Donc, pour réduire le temps de séjour, nous avons proposé de refaire le planning des livraisons pour arriver à une fréquence de livraison hebdomadaire.

Après avoir refait le planning de livraison en gardant l'ancien système de zonage (sachant que les clients d'une même zone se font livrer le même jour) (Annexe D). De ce fait, nous avons fait face à une problématique qui est l'augmentation de la distance totale parcourue et donc l'augmentation du coût total de livraison à cause de la livraison hebdomadaire.

Dans cette section, nous allons élaborer un modèle mathématique pour optimiser les tournées de livraison et donc proposer un nouveau système de zonage où chaque tournée représentera une nouvelle zone.

## I. L'optimisation des tournées par le modèle VRP

### I.1. Élaboration du modèle mathématique

Le modèle mathématique se compose de trois éléments : les paramètres du modèle, la fonction objectif et les contraintes.

- **Premièrement, les paramètres :**

$K$ : Le nombre de camion disponible,

$H$  : Le nombre des dépôts avec  $h = \text{card}(H)$ ,

$N$ : Le nombre des clients + les dépôts avec  $N = \{1, 2, \dots, h, \dots, n\}$ ,

$D_{ij}$ : La distance en «Km» entre  $i$  et  $j$  ;  $i, j \in N$ ,

$C_{ijk}$ : Le coût de transport entre  $i$  et  $j$  par le camion  $k$  avec  $i, j \in N, k \in K$ ,

$q_i$ : Demande du client  $i$  avec  $i \in N, i > h$ ,

$Q_k$  : Capacité du camion  $k$  avec  $k \in K$ ,

$F_k$  : Coût fixe d'utilisation du camion  $k$  avec  $k \in K$ ,

$[e_i, l_i]$  : La fenêtre de temps au nœud  $i$ ,

$s_i$  : Le temps de service au nœud  $i$ ,

$t_{ij}$  : Le temps de transport entre les nœuds  $i$  et  $j$ ,

La variable  $r_i^k$  associée à l'heure d'arrivée du véhicule  $k$  au nœud  $i$ ,

$M$  : Très grande valeur.

- **Les variables de décision :**

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ visite le client } j \text{ après le client } i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$W_k = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ est en service pour faire une distribution} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_{vik} = \begin{cases} 1 & \text{si la commande du client } i \text{ est livrée par le camion } k \text{ à partir du dépôt } v \in H \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- **Deuxièmement, la fonction objectif :**

Elle Permet de minimiser le coût global tout en satisfaisant les demandes client :

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} (D_{ij} X_{ijk} C_{ijk}) + \sum_{k \in K} W_k F_k$$

• **Troisièmement, les contraintes :**

Contrainte 1 : Cette contrainte assure l'unicité de départ pour chaque camion et que le camion ne visite pas d'autres dépôts :

$$\forall k \in K, i \leq h$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } j > h \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Contrainte 2 : Cette contrainte assure l'unicité d'arrivée pour chaque camion et que le camion finira sa tournée dans le même dépôt du départ :

$$\forall k \in K, j \leq h$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } i > h \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Contrainte 3 : Ces contraintes assurent que chacun des clients doit être visité une et une seule fois avec un seul camion et à partir d'un seul dépôt :

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{ijk} = Y_{vik} \quad \forall i \in N, K \in K, v \in H$$

$$\sum_{\substack{i \in N \\ j \neq i}} X_{ijk} = Y_{vjk} \quad \forall j \in N, K \in K, v \in H$$

$$\sum_{v \in H} \sum_{k \in K} Y_{vik} = 1 \quad \forall i \in N \text{ telque } i > h$$

Contrainte 4 : assure que le camion qui arrive chez un client est le même que celui qui part de ce client.

$$\sum_{j \in N} X_{jik} = \sum_{j \in N} X_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in K$$

Contrainte 5 : Si un camion est utilisé, il doit être en service.

$$\sum_{i \in N} Y_{vik} \leq W_k * M \quad \forall K \in K, v \in H, \text{ avec } M \text{ valeur très grand.}$$

Contrainte 6 : assure le respect des capacités des camions en termes quantité :

$$\sum_{i \in N} Y_{vik} q_i \leq Q_k \quad \forall k \in K, v \in H$$

Contrainte 7 : assure que chaque demande est servie dans sa fenêtre de temps.

$$e_i \leq r_i^k \leq l_i, \forall i \in N, k \in K$$

Contrainte 8 : assure la cohérence temporelle des tournées.

$$r_i^k + s_i^k + t_{ij}^k - M * (1 - x_{ij}^k) \leq r_j^k, \forall i \in N, j \neq 1 \in N, k \in K$$

Contraintes d'intégrité :

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad i \in N, j \in N \text{ et } k \in K$$

$$Y_{vik} \in \{0,1\} \quad i \in N, v \in H \text{ et } k \in K$$

$$W_k \in \{0,1\} \quad k \in K$$

**Les hypothèses simplificatrices :**

- $C_{ijk} = cste = C$  : Car le coût de transport est le même pour tous les camions et les clients (il est en fonction de la distance).
- Par soucis du respect de la réglementation, l'Oxygène Médical doit être livré à partir de l'entrepôt de Réghaia seulement car il est certifié "site pharmaceutique", donc  $h = 1$ .
- Par manque de données, les contraintes 7 et 8 ne seront pas intégrées dans le modèle simplifié.
- $Q_k = Q = 140$  : la flotte des camions est homogène.

Vu la non disponibilité des données sur les coûts fixes d'utilisation des camions, et pour les neutraliser, on doit éliminer toutes les possibilités des sous-tours pour permettre de répondre au maximum des demandes clients dans une grande tournée, tout en prenant en considération la capacité des camions en termes de quantité.

On ajoute la contrainte suivante pour éliminer les sous tours :

$u_i$ : Variable de calcul

$$u_i - u_j + (n - 1)X_{ijk} \leq n - 2 \quad \forall i \in N \setminus \{1\}, j \in N \setminus \{1\}, k \in K, i \neq j$$

Donc, le modèle simplifié est formulé comme suit :

**La fonction objectif :**

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} (D_{ij} X_{ijk} C) \dots \dots \dots (1)$$

**Sous contrainte :**

$$\sum_{j \in N} X_{1jk} = 1 \quad \forall k \in K, \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i1k} = 1 \quad \forall k \in K, \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{ijk} = Y_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_{\substack{i \in N \\ j \neq i}} X_{ijk} = Y_{jk} \quad \forall j \in N, k \in K \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum_{j \in N} X_{jik} = \sum_{j \in N} X_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in K \dots \dots \dots (6)$$

$$u_i - u_j + (n - 1)X_{ijk} \leq n - 2 \quad \forall i \in N \setminus \{1\}, j \in N \setminus \{1\}, k \in K, i \neq j \dots, \dots \dots (7)$$

$$\sum_{i \in N} Y_{ik} q_i \leq 140 \quad \forall k \in K \dots \dots \dots (8)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{1\} \dots \dots \dots (9)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad i \in N \text{ et } j \in N \text{ et } k \in K \dots \dots \dots (10)$$

$$Y_{ik} \in \{0,1\} \quad i \in N \text{ et } k \in K \dots \dots \dots (11)$$

## I.2. Résultats du modèle élaboré

Pour résoudre ce modèle, nous avons eu recours au logiciel IBM CPLEX Optimizer.

### I.2.1. Application du modèle sur Cplex

```

1 /*****
2 * OPL 12.6.0.0 Data
3 * Author: Azeddine BEN
4 * Creation Date: 16 avr. 2020 at 22:16:09
5 *****/
6 n=10;
7 c=9;
8 t=3;
9 cout=75.31855238;
10
11 SheetConnection my_sheet("MAP_MEDICAL.xlsx");
12
13 distance from SheetRead(my_sheet,"'Feuil4'!B2:K11");
14 quantite_sem from SheetRead(my_sheet,"'Feuil4'!O2:O11");
    
```

Figure 33: Le fichier des données sur Cplex cas de l'Oxygène médical.

```

1 /*****
2 * OPL 12.6.0.0 Model
3 * Author: Azeddine BEN
4 * Creation Date: 16 avr. 2020 at 22:16:09
5 *****/
6
7 int n=...;//nombre de client+l'entrepot
8 int c=...;//nombre de client
9 int t=...;//nombre de camion
10
11 float cout=...;
12 range camion=1..t;
13 range client=1..c;
14 range client_entrepot=1..n;//càd client+entrepot=(c+1)
15
16 float distance[client_entrepot][client_entrepot]=...;
17 float quantite_sem[client_entrepot]=...;
18
19 //Variables
20 dvar boolean x[client_entrepot][client_entrepot][camion];
21 dvar boolean y[client_entrepot][camion];
22 dvar float+ u[2..n];
23
24 //Objectif function
25 minimize sum(i in client_entrepot, j in client_entrepot, k in camion)
26 distance[i][j]*x[i][j][k]*cout;
27
28 //contraintes
29 subject to {
30
31 //Contrainte_1
32 forall (k in camion)
33   unicite_de_depart:
34   sum (j in client_entrepot)x[i][j][k]==1;
35
36 //Contrainte_2
37 forall (k in camion)
38   unicite_de_arrive:
39   sum (i in client_entrepot)x[i][1][k]==1;
40
41 //Contraint_3
42 forall (i in client_entrepot, k in camion)
43   ctUnicite:
44   sum (j in client_entrepot:j!=i)x[i][j][k]==y[i][k];
45
46 //contrainte
47 forall (j in client_entrepot,k in camion)
48   ctUnicitel:
49   sum (i in client_entrepot:j!=i)x[i][j][k]==y[j][k];
50
51 //Contrainte_4
52 forall (i in client_entrepot, k in camion)
53   ct_arrive_part:
54   sum (j in client_entrepot)x[j][i][k]==sum (j in client_entrepot)x[i][j][k];
55
56 //Contrainte_5_sous_tours
57 forall (k in camion,i in client_entrepot: i>1, j in client_entrepot: j>1 && i!=j)
58   soustour:
59   u[i]-u[j]+(n-1)*x[i,j,k]<=n-2;
60
61 //Contrainte_7_capacité
62 forall(k in camion)
63   conservqnt:
64   sum (i in client_entrepot)y[i][k]*quantite_sem[i]<=140;
65   }

```

Figure 34: Le fichier modèle sur Cplex cas de l'Oxygène médical.

I.2.2. Les résultats obtenus

```

Erreurs | Journal de script | Solutions | Conflits | Relaxations | Journal du moteur | Statistiques
// solution (optimal) with objective 52256.2375969011
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               5.2256237597e+004
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          6.00000e+001 8.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)          0.00000e+000 0.00000e+000
...
    
```

Figure 35: La solution du Cplex cas de l'Oxygène médical.

client_entr...taille 10)	client_entr...taille 10)	camion (taille 3)	Valeur
1	1	3	1
1	3	2	1
1	6	1	1
2	5	2	1
3	8	2	1
4	1	2	1
5	10	2	1
6	9	1	1
7	2	2	1
8	7	2	1
9	1	1	1
10	4	2	1

Figure 36: Les résultats de l'affectation qui a été faite par Cplex.

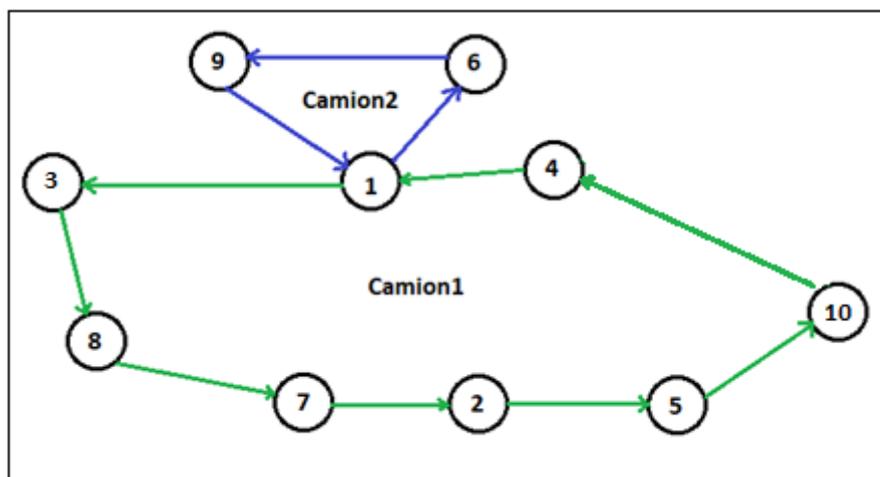


Figure 37: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex

Les résultats obtenus par Cplex en déroulant notre modèle donnent une solution optimale avec deux tournées et donc les clients seront divisés en deux zones.

## II. La proposition d'un nouveau système de zonage

A partir des résultats du modèle, nous avons ressorti le nouveau système de zonage qui est représenté dans le tableau suivant, et par soucis de confidentialité, nous avons remplacé les noms des clients par des numéros.

Table 8: Le nouveau système de zonage.

Zones	Clients
Zone 1	6, 9
Zone 2	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10

## III. Comparaison avec la situation actuelle

Le but du modèle mathématique est d'optimiser la distribution en termes de distances et en termes de coût de livraison. Le tableau suivant représente le gain en coût de livraison entre l'état actuel et les résultats du modèle.

Table 9: Le gain en cout de livraison entre l'état actuel et les résultats du modèle.

	Distance totale (km)	Coût moyen/km	Coût total (DA)
L'état actuel	901.46	75.31855238	67896.6622
L'état optimal	693.803		52256.2376
L'écart	207.657		15640.4246
<b>% Gain</b>		<b>23.04%</b>	

Les figures suivantes montrent l'écart entre l'état actuel et le résultats obtenu en termes de coût total et de distance totale parcourue.

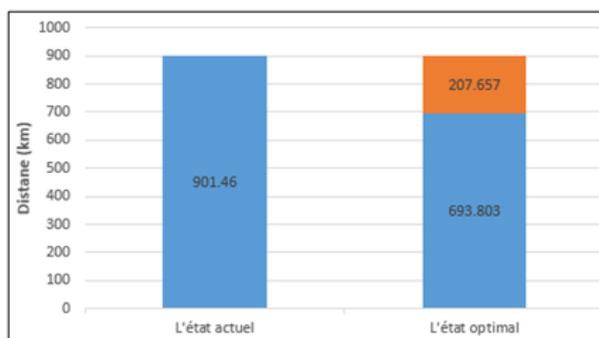


Figure 39: Diagramme comparant la distance totale parcourue dans les deux cas.

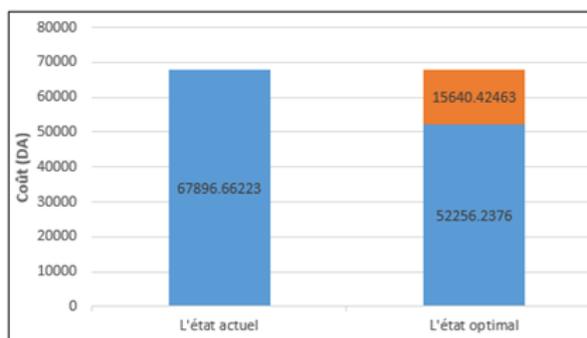


Figure 38: Diagramme comparant le coût total dans les deux cas

A partir du tableau et des figures ci-dessus, nous remarquons l'écart entre l'état actuel de distribution et l'état optimal que nous avons obtenu en termes de distance totale parcourue qui influence directement le coût total de distribution et ce qui est justifié par un gain de 23.04%.

#### IV. Amélioration de la solution de distribution de l'oxygène médical

Après avoir analysé le comportement des clients, nous sommes arrivés à faire une segmentation de ces derniers selon la périodicité de leurs demandes. Le tableau suivant montre la segmentation proposée et par souci de confidentialité nous avons caché les noms des clients et multiplié les quantités par un coefficient alpha.

Table 10: Segmentation Clients par périodicité de la demande.

Périodicité	Client	Cumule de la quantité		
Catégorie1 : 1 fois par semaine	#####1	135	189	193
	#####2			
	#####3			
	#####4			
	#####5			
Catégorie2 : 1 fois par 15 jours	#####6	54		
	#####7			
	#####8			
Catégorie3 : 1 fois par mois	#####9	4		

A partir du tableau ci-dessus, nous pouvons distinguer trois scénarios de distribution :

- Scénario 1 : Livrer les clients de la première catégorie.
- Scénario 2 : Livrer les clients de la première et la deuxième catégorie (une fois par quinzaine).
- Scénario 3 : Livrer tous l'ensemble des clients (une fois par mois) (solution déjà faite, page77).

Dans ce qui suit, nous allons faire une simulation des scénarios. Nous avons adapté la matrice des distances et le fichier des données sur le logiciel Cplex afin de pouvoir dérouler les simulations et proposer une tournée optimale pour chaque scénario.

```

VRP_2.mod *VRP_2.dat
1 /*****
2 * OPL 12.6.0.0 Data
3 * Author: Azeddine BEN
4 * Creation Date: 16 avr. 2020 at 22:16:09
5 *****/
6 n=9;
7 c=9;
8 t=3;
9 cout=75.31855238;
10
11 SheetConnection my_sheet("MAP_MEDICAL.xlsx");
12
13 // Scénario1
14 distance from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!B5:G10");
15 quantite_sem from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!N5:N10");
16
17 // Scénario2
18 distance from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!B5:J13");
19 quantite_sem from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!N5:N13");
20
21 // scénario3
22 distance from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!B5:K14");
23 quantite_sem from SheetRead(my_sheet,"Feuil5!N5:N14");

```

Figure 40: Le fichier des données sur Cplex adapté pour faire les simulations.

**a. La tournée optimale pour le scénario 1**

Le premier scénario concerne les clients de la première catégorie uniquement, c'est-à-dire les clients qui se font livrer à une fréquence hebdomadaire (une fois par semaine). La tournée optimale pour ce scénario est présentée dans la figure suivante.

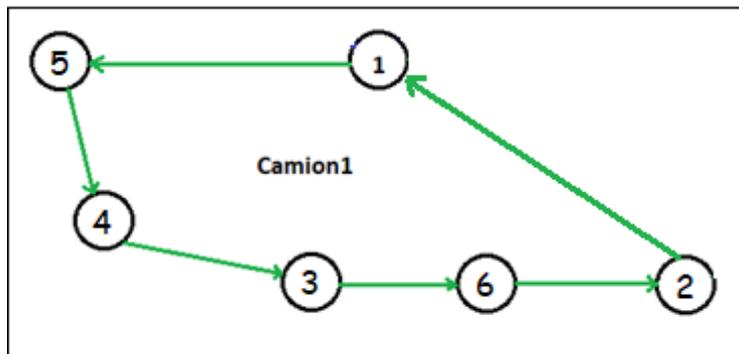


Figure 41: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex pour le scénario1.

**b. La tournée optimale pour le scénario 2**

Le deuxième scénario concerne les clients de la première catégorie et les clients de la deuxième catégorie, c'est-à-dire la semaine où se croise les demandes clients qui se font livrer à une fréquence hebdomadaire avec celle des clients qui se font livrer à une fréquence d'une semaine sur deux. La tournée optimale pour ce scénario est présentée dans la figure suivante.

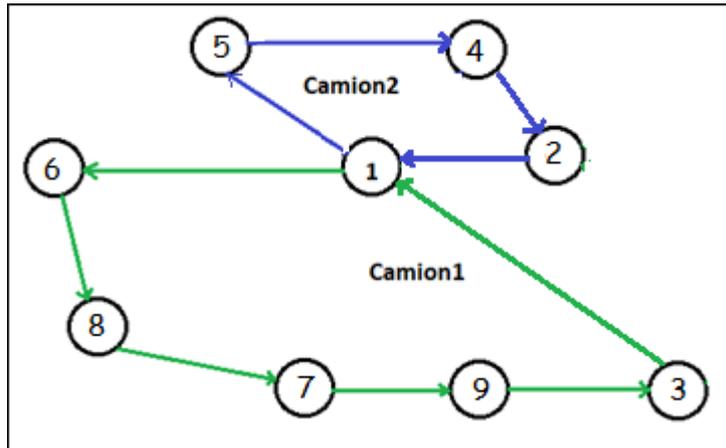


Figure 42: Schéma représente le plus court chemin déterminé par le solveur Cplex pour le scénario2.

La figure suivante représente les tournées optimales pour les différents scénarios sur Google Maps.

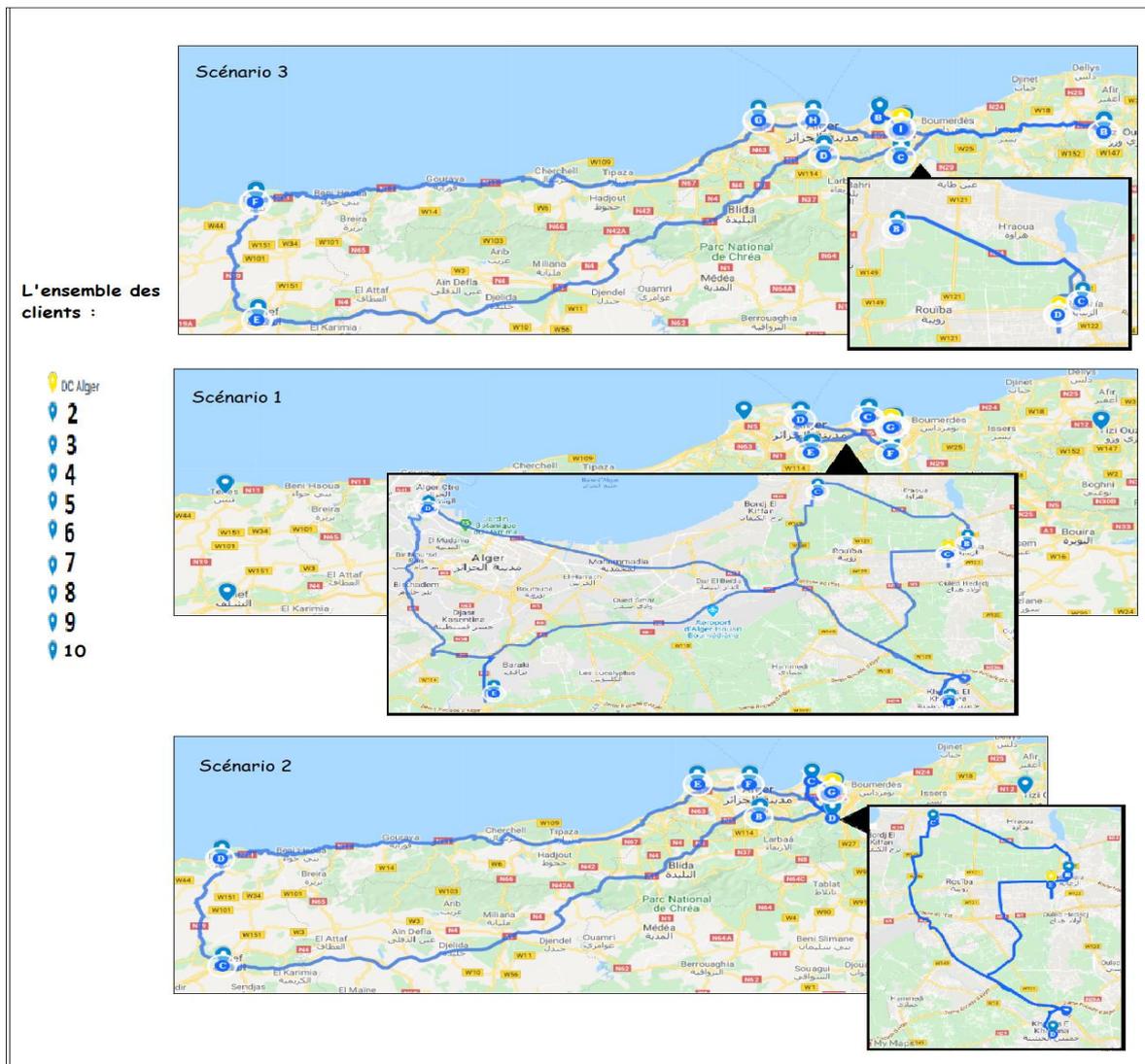


Figure 43: Représentation des tournées optimales des différents scénarios sur Google Maps.

**V. Amélioration du taux de rotation des bouteilles**

L'entreprise suit la stratégie du « vide contre plein » pour livrer ses clients, donc pour un nombre de bouteilles de 600 bouteilles d'oxygène médicale, elle se retrouve avec 300 bouteilles chez les clients et 300 bouteilles vides en stock récupérées de chez les clients afin d'être remplie et conditionnée pour satisfaire d'autres clients.

En utilisant le nouveau système de zonage pour livrer les clients d'une fréquence hebdomadaire, l'entreprise pourra bénéficier d'un gain en termes de coût de livraison qui s'élève jusqu'à 23%. De plus, la fréquence hebdomadaire des livraisons réduit le temps de séjour des bouteilles vides chez le client.

• **Taux de rotation actuel des bouteilles**

On définit le taux de rotation annuel d'une bouteille comme le nombre d'utilisation de cette bouteille pendant une année :

$$\text{Taux de rotation} = \frac{\text{Demande annuelle}}{\text{Nombre de bouteilles}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Taux de rotation} = \frac{3362}{600} = 5.60 \dots \dots \dots (2)$$

• **Le Calcul du nombre de bouteilles nécessaire pour satisfaire la demande annuelle actuelle pour un taux de rotation déterminé**

De (1) on trouve:

$$\text{Nombre de bouteilles} = \frac{\text{Demande annuelle}}{\text{Taux de rotation}} \dots \dots \dots (3)$$

L'entreprise désire augmenter le taux de rotation annuel de chaque bouteille à 9 afin d'optimiser sa performance, donc le nombre de bouteilles nécessaires pour couvrir la demande annuelle actuelle est :

$$\text{Nombre de bouteilles} = \frac{3362}{9} = 374 \text{ bouteilles} \dots \dots \dots (4)$$

À partir du nombre de bouteilles totale de l'entreprise (600 bouteilles), nous déterminons la demande annuelle à couvrir pour atteindre un taux de rotation annuel égal à 9 :

De (1) on trouve :

$$\text{Demande annuelle} = \text{Nombre de bouteilles} * \text{Taux de rotation} \dots \dots (5)$$

$$\text{Demande annuelle} = 600 * 9 = 5400 \text{ bouteilles/an} \dots \dots \dots (6)$$

Donc, pour atteindre un taux de rotation annuelle égale à 9, l'entreprise doit arriver à satisfaire une demande annuelle totale de 5400 bouteilles/an.

A partir des résultats (4) et (6) nous pouvons tirer le nombre de bouteilles restantes sans utilisation, et le nombre de demande à satisfaire pour atteindre un taux égale à 9:

$$\text{Nombre de bouteilles supplémentaire} = 600 - 374 = 226 \text{ bouteilles}$$

La demande qu'on peut satisfaire =  $226 * 9 = 2034$  bouteilles/an

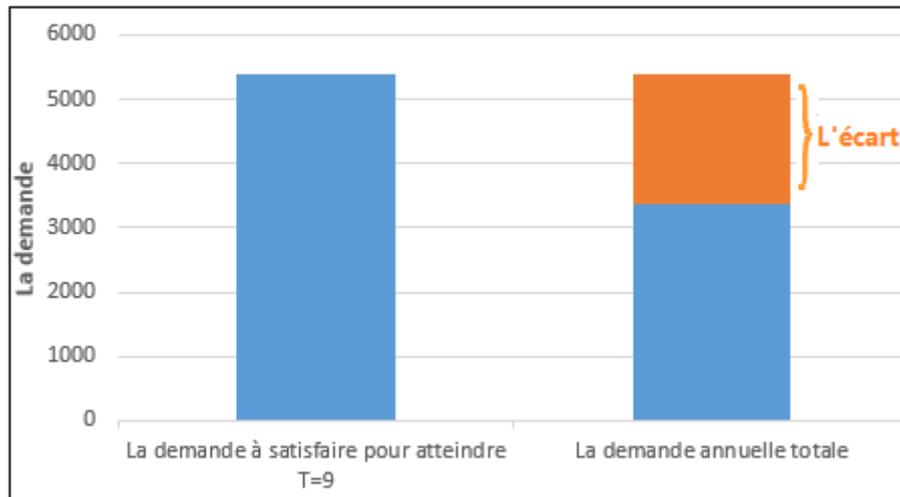


Figure 44: Diagramme montrant l'écart entre la demande annuelle actuelle et la demande qu'on doit satisfaire pour atteindre un taux égal à 9.

Le marché de l'Oxygène médical est très rentable et contient un grand nombre de clients qui consomment des grandes quantités de façon régulière, ce qui représente une grande opportunité pour l'entreprise afin d'élargir son marché et d'augmenter son chiffre d'affaire. La consommation annuelle moyenne des clients de l'entreprise pour ce marché est :

$$\text{Consommation moyenne} = \frac{\text{Consommation annuelle}}{\text{Nombre de clients}} = \frac{3362}{9} = 373.556$$

Consommation moyenne  $\approx 374$  bouteille/an

Donc pour atteindre le taux de rotation désiré qui est égale à 9 avec un nombre de bouteilles égale à 600 bouteilles, l'entreprise doit augmenter la quantité annuelle vendues jusqu'à 2034 bouteilles/an et donc en tenant compte de la consommation moyenne des clients, l'entreprise pourra rajouter jusqu'à 5 nouveaux clients et pour ce faire, elle doit mener une rigoureuse étude de marché afin de comprendre le marché ainsi que ses caractéristiques et de bien définir les exigences clients pour pouvoir se différencier des concurrents (que ce soit au niveau de la qualité des produits, les prix de vente ou bien les prestations) afin d'attirer des nouveaux clients.

### Section 3 : Conception d'un système d'aide à la décision et proposition d'un tableau de bord

Cette section a pour but la conception d'un système d'aide à la décision et la proposition d'un tableau de bord afin d'aider l'entreprise à améliorer sa chaîne logistique en aval.

#### I. Proposition d'un système de codification de la bouteille

Les entreprises des gaz industriels en Algérie, et notamment Sidal Air liquide se retrouvent devant le problème de la perte et la difficulté de repérage des bouteilles, soit chez les clients à cause du mauvais suivi des bouteilles, soit lors de la récupération des bouteilles vides où il arrive que l'entreprise récupère une bouteille d'une autre entreprise. Ce problème cause un manque de bouteilles et provoque des retards pour l'opération de la distribution et donc l'insatisfaction des clients. L'entreprise doit faire face à ce problème, et pour cela nous proposons une solution qui consiste à mettre en place des étiquettes attirantes collées sur la bouteille et contenant son identifiant afin de la distinguer des autres bouteilles et de pouvoir la suivre.

##### a. Systèmes de codification

La codification est un processus d'attribution d'un numéro ou d'un symbole à chaque article du magasin en plus de son nom pour rendre son identification facile et pratique, dans le but d'économiser du temps et du travail en raison de la substitution d'un symbole ou d'un numéro par un nom plus long.

Les quatre systèmes de codification les plus utilisés dans un service des matériaux sont les suivants :

1. Le système alphabétique est celui dans lequel les codes aux matériaux sont attribués dans des alphabets qui n'ont aucun rapport avec les nombres. Chaque article est regroupé selon la nature, l'utilisation, etc. (Exemple : IN-O)
2. Le système numérique est un système dans lequel les codes des matériaux sont basés sur des nombres. Des numéros sont attribués sous forme de codes aux matériaux prévoyant également une expansion future. (Exemple : 05-10)
3. Le système décimal est celui dans lequel les codes des matériaux sont à nouveau basés sur des nombres mais au lieu d'un tiret entre deux décimales numériques sont mises. Cela rend les codes plus flexibles et une future expansion est tout à fait possible. (Exemple : 11.67.03)
4. Système alphabétique et numérique combiné. Cela combine les trois ci-dessus. (Exemple : IN-05.10)

Une codification de bonne qualité doit satisfaire :

- **Unicité** : le code doit permettre d'isoler un objet sans ambiguïté dans un ensemble,
- **Souplesse et pérennité** : un code doit être utilisé normalement très longtemps, la souplesse est la qualité qui lui permet de s'adapter aux modifications de la population représentée et de conserver sa valeur au cours du temps. Il faut en

particulier toujours prévoir des extensions et des insertions du fait de l'accroissement des objets dans le temps. (Exemple : L'effectif actuel d'une entreprise est de 95 employés ; si on choisit un code avec deux positions numériques, il peut devenir non valide si l'effectif passe à 100 employés)

- **Commodité d'utilisation** : cette qualité en recouvre plusieurs autres : concision, facilité de contrôle et facilité d'exploitation.

#### b. Génération du Code

Dans notre cas, il y a un nombre important des bouteilles, chacune est défini par son volume et le type de produit qu'elle contient. Le code doit être facile à lire, souple, flexible et unique. Pour cela le code doit intégrer un identifiant de l'entreprise, le type du produit, le volume ainsi qu'un numéro spécifique à chaque bouteille, le code que nous avons généré est représenté dans la figure (45).



Figure 45: Le code proposé pour la suivre de la bouteille

Dans cette figure, nous définissons :

- **AL** : Le nom de l'entreprise « Air Liquide ».
- **PPPP** : Le type du produit de la bouteille, par exemple : IMO2, HCO2...etc.
- **VVV** : Le volume de la bouteille (B14, B20, ...etc.).
- **XXXX** : le numéro que nous allons attribuer à chaque bouteille afin de la différencier des autres bouteilles du même volume et contenant le même produit.

## II. Conception d'un système de suivi de la bouteille

Dans cette partie nous déroulerons le processus de conception du système décisionnel relative au suivi des bouteilles, où nous détaillons la conception du modèle dimensionnel, notamment les tables de dimension et celles des faits.

La Business Intelligence est un ensemble de processus et d'outils de collecte, de traitement et d'analyse de données, et des méthodologies qui combinent des données provenant de diverses sources et rendent la source unique de données disponible au bon moment afin que des décisions stratégiques opportunes, mieux informées et puissent être prises. BI fournit également différents outils pour analyser rapidement les informations consolidées dans une variété d'outils de présentation de données.

L'approche que nous avons suivie pour la conception de notre système est celle de KIMBALL qu'est appelé aussi "Bottom up". C'est une approche où le contenu du data warehouse (DW) qui contient un ensemble de data marte (DM) est basée sur l'analyse des besoins des utilisateurs finaux. Cette approche propose un modèle en étoile qui est lisible et facile à comprendre avec une meilleure Performance des requêtes.

L'approche de KIMBEL est composée de cinq étapes :

1. **Choisir le processus** : Le processus qui nous intéresse et qui permet de suivre les bouteilles est le processus de Livraison.
2. **Définir la granularité** : Dans cette étape nous allons définir le niveau de détail auquel nous souhaitons charger nos données dans chaque table. Par exemple la date sera détaillée en jour, mois, année.
3. **Choisir les dimensions** : Dans cette étape nous choisissons les axes qui nous permettent d'analyser et de positionner un fait :

Table 11: La table des dimensions.

Dimension	Type de dimension	Attributs	Type	Désignation
Bouteille	Dimension dégénérée ou factuelle	Code bouteille	Chaîne de caractères	L'identifiant de la bouteille.
Etat	Dimension à évolution rapide	Id_état	Chaîne de caractères	L'identifiant de l'état.
		Livrée	Chaîne de caractères	Toutes les bouteilles qui sont chez le client.
		Stockée	Chaîne de caractères	Toutes les bouteilles qui sont en stock.
Client	Dimension à évolution lente	Id_client	Chaîne de caractères	L'identifiant du client.
		Nom_client	Chaîne de caractères	Le nom du client.
		Adresse	Chaîne de caractères	L'Adresse du client.
		N° téléphone	Chaîne de caractères	Le numéro de téléphone du client.
		Email	Chaîne de caractères	L'email du client.

Date de livraison	Dimension statique	Id_date_livraison	Chaîne de caractères	L'identifiant de la date de livraison de la bouteille.
		Année	Entier	L'année de livraison de la bouteille.
		Mois	Entier	Le mois de livraison de la bouteille.
		Jour	Entier	Le jour de livraison de la bouteille.
Date de récupération	Dimension statique	Id_date_récupération	Chaîne de caractères	L'identifiant de la date de récupération de la bouteille.
		Année	Entier	L'année de récupération de la bouteille.
		Mois	Entier	Le mois de récupération de la bouteille.
		Jour	Entier	Le jour de récupération de la bouteille.

**4. Identifier les faits :** Dans cette étape nous identifions les faits, c'est à dire l'ensemble des sujets d'analyse relative au processus de Livraison.

**Table 12: La table des faits.**

Le fait	Attributs	Désignation
Suivi de la bouteille	Code bouteille	L'identifiant de la bouteille.
	Id_date_livraison	L'identifiant de la date de livraison.
	Id_client	L'identifiant du client.
	Id_état	L'identifiant de l'état.
	Id_date_récupération	L'identifiant de la date de récupération.

**5. Choisir les mesures :** Dans cette étape nous déterminons les éléments qui nous permettent de mesurer le fait.

Dans notre cas il n'y a pas de mesures pour la table de fait « suivi de la bouteille ».

- **Modèle en étoile de l'activité « Suivi de la bouteille »**

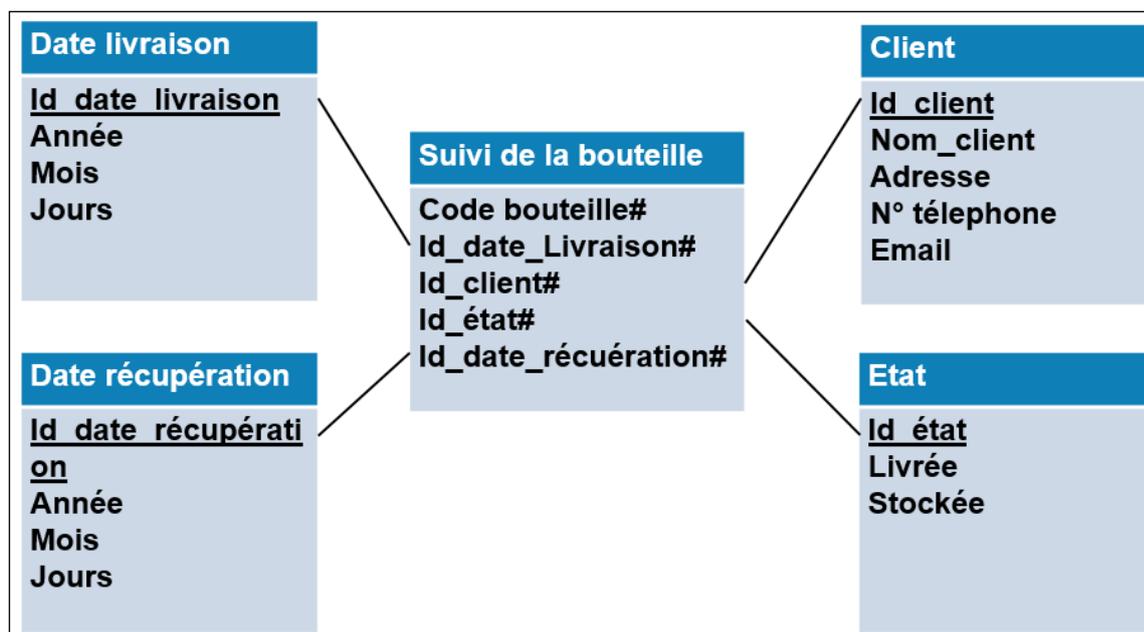


Figure 46: Représentation du modèle BI en étoile.

### III. Proposition de tableau de bord pour l'entreprise

Afin de mieux suivre les indicateurs de performance du service logistique, nous allons créer un tableau de bord qui facilite l'activité de suivi.

#### a. Tableau de bord

Un tableau de bord de données est un outil de pilotage de l'information qui permet d'analyser et d'afficher visuellement les indicateurs de performance clés (KPI), les métriques et les points de données clés sous forme des chiffres, des ratios et des graphiques pour surveiller la santé d'une entreprise, d'un service ou d'un processus spécifique. Les tableaux de bord sont personnalisables pour répondre aux besoins spécifiques d'un département et d'une entreprise.

Le tableau de bord se connecte à une base de données, fichiers, pièces jointes, services et API, mais en surface affiche toutes ces données sous forme de tableaux, de graphiques linéaires, de graphiques à barres et de jauges.

Le tableau de bord réalisé dans notre cas sert à donner une vision claire et générale sur la performance de l'activité de livraison et récupération et le suivi des bouteilles au sein de l'entreprise. Ainsi qu'il permet de suivre la variation des commandes dans le temps par DC et l'identification des clients les plus pertinents de l'entreprise.

Les données utilisées pour créer le tableau de bord ont été extraites de l'ERP Microsoft Dynamics NAV qu'utilise l'entreprise sous forme de fichier plat et ensuite chargées sur Excel afin de les nettoyer, les transformer et les organiser en tables prêtes à l'utilisation.

A partir des données collectées et l'analyse des données que nous avons fait et d'après les besoins du service logistique, nous avons pu identifier les indicateurs suivants :

- **Taux de rotation** : Cet indicateur définit le nombre d'utilisations de la bouteille dans un intervalle de temps définit.
- **Taux de rupture** : Définir le nombre des cas où le client tombe en rupture dans un intervalle de temps définit.
- **Les clients stratégiques** : Cet indicateur permet de suivre les clients qui consomment les plus grandes quantités.
- **Taux d'évolution de la demande** : Permet de suivre l'évolution de la demande dans un intervalle du temps définit.
- **Taux de demande par DC** : Cet indicateur permet de suivre la contribution de chaque DC dans la satisfaction de la demande globale.

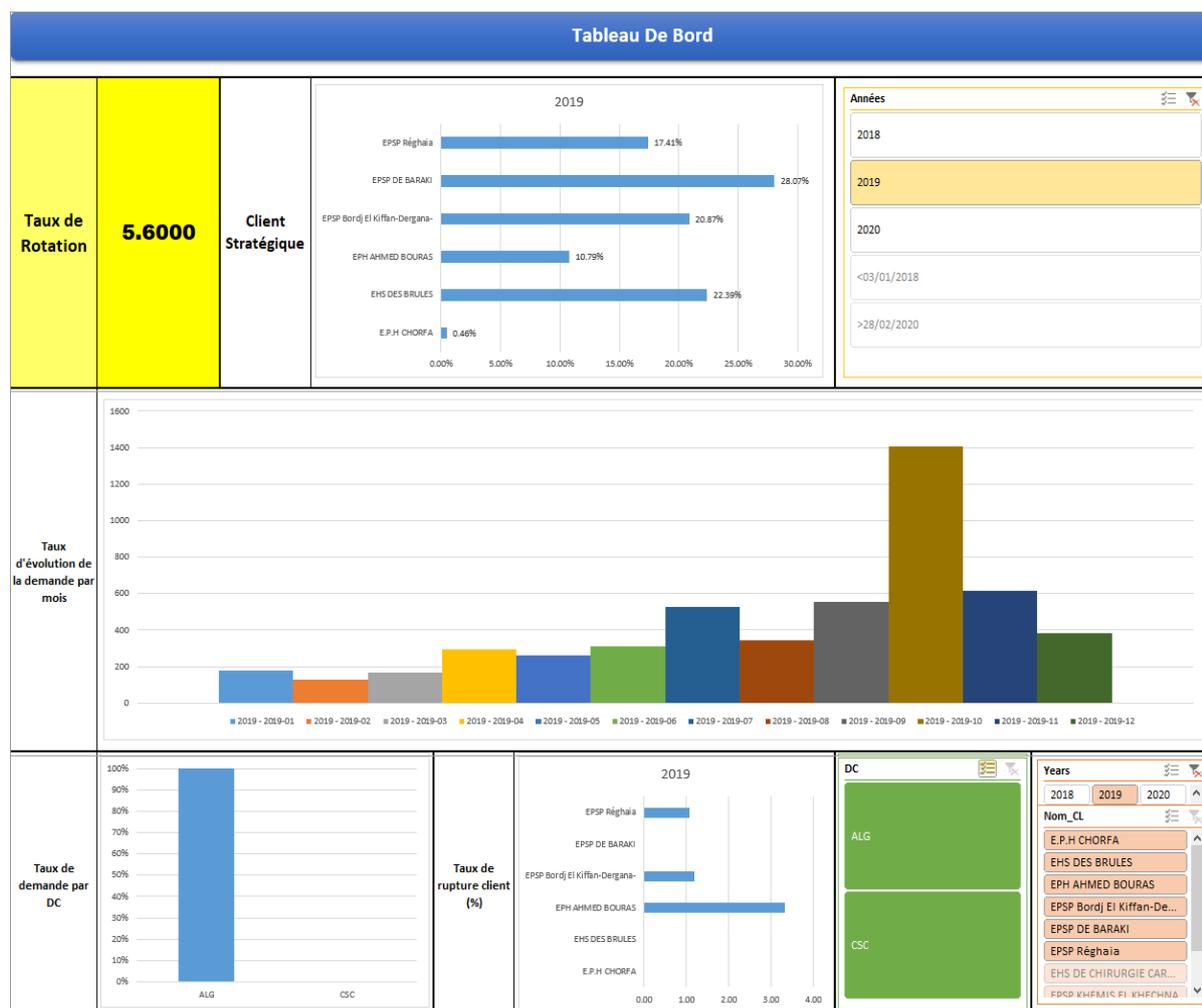
Ces indicateurs sont expliqués et détaillés dans le tableau (13)

**Table 13: Tableau explicatif des KPI proposés.**

L'indicateur	L'objectif	La formule de calcul	L'unité
Taux de rotation	Définir le nombre d'utilisations de la bouteille par an.	$\text{Taux de rotation} = \frac{\text{Demande annuelle}}{\text{Nombre de bouteilles}}$	Utilisation
Taux de rupture	Définir le nombre de rupture d'un client par an	$\frac{\sum \text{Rupture par client par an}}{\text{nombre des demandes d'un client par an}} * 100$	Pourcentage
Les clients stratégiques	Définir les clients les plus pertinents en termes de consommation	$\frac{\sum \text{demande par client}}{\text{demande totale}} * 100$	Pourcentage
Taux d'évolution de la demande	Suivre la variation de la demande par mois.	$\sum \text{demandes par mois}$	Demande/mois

Taux de demande par DC	Suivre l'évolution des commandes dans chaque DC.	$\frac{\sum \text{demande du DC}}{\text{demande totale}} * 100$	Pourcentage
------------------------	--	---	-------------

**b. Tableau de bord sur Excel**



**Figure 47: Tableau de bord montrant les analyses de l'oxygène médical pour l'années 2019.**

Dans la figure ci-dessus, nous avons utilisé les données de l'oxygène médical pour les années 2018, 2019 et les premiers deux mois de 2020 afin d'analyser ce marché suivant les différents indicateurs du tableau de bord et à cause du manque de données nous n'avons pas pu intégrer d'autres segments (autres produits, le marché de l'industriel marchand, etc.).

Ce tableau de bord pourra être généralisé pour intégrer tous les produits de l'entreprise afin d'avoir une vision globale sur la performance et de pouvoir calculer la rentabilité de chaque produit ainsi que faire une analyse comparative entre eux. Il permet aussi de suivre l'évolution des demandes de chaque produit par mois, connaître le taux de rupture de chaque

client ainsi qu'identifier les clients les plus importants pour chaque marché et suivre le taux de rotation des bouteilles de chaque produit.

#### **Les Perspectives des solutions proposées**

Dans ce qui suit, nous allons présenter les perspectives de chaque solution proposée afin de montrer les différents axes d'amélioration.

##### **a. Industriel marchand :**

Notre modèle peut être amélioré dans le cas où nous avons les données suivantes :

- Les coûts fixes, les coûts d'investissement et les coûts d'ouverture d'un entrepôt, qui vont nous permettre de calculer le nombre exact de DC qui minimise le coût total de distribution.
- Les données de la gestion des stocks ce qui pourra nous permettre d'entrer dans les détails et faire un diagnostic des entrepôts et de trouver le meilleur système de stockage afin d'optimiser les coûts.

##### **b. Le projet de l'Oxygène médical :**

Notre modèle peut être amélioré dans le cas où nous avons les données suivantes :

- La fenêtre de temps de chaque client, pour arriver à proposer une solution plus réaliste.
- Les coûts fixe de chaque tourné et les coûts de service des camions, afin de calculer le coût total et de proposer une solution plus exacte.
- La stratégie de vente des produits pour l'adapter afin de pouvoir attirer des nouveaux clients et améliorer le taux de rotation.

##### **c. Tableau de bord :**

En ayant le nombre de bouteilles destiné à chaque produit, nous pouvons trouver le taux de rotation de chaque type de bouteille et généraliser le tableau de bord pour tous les produits.

## Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'optimisation de la chaîne logistique en aval et la proposition d'axes d'amélioration concernant la reconfiguration de la chaîne logistique de l'entreprise, afin de répondre, au mieux, aux besoins des clients, tout en assurant sa rentabilité. Nous avons traité le projet de l'industriel marchand en essayant de déterminer le point de la conception de la chaîne logistique à travers les modèles continus et discret afin d'arriver à sélectionner la meilleure solution et nous avons traité aussi le projet de l'Oxygène médical en utilisant le modèle de tournée véhicule (VRP) afin de pouvoir optimiser la distribution. Et afin de pouvoir suivre efficacement les bouteilles et les indicateurs de performance, nous avons clôturé le chapitre par une proposition d'un système d'aide à la décision et d'un tableau de bord.

La figure suivante représente un schéma qui synthétise le travail effectué dans ce chapitre.

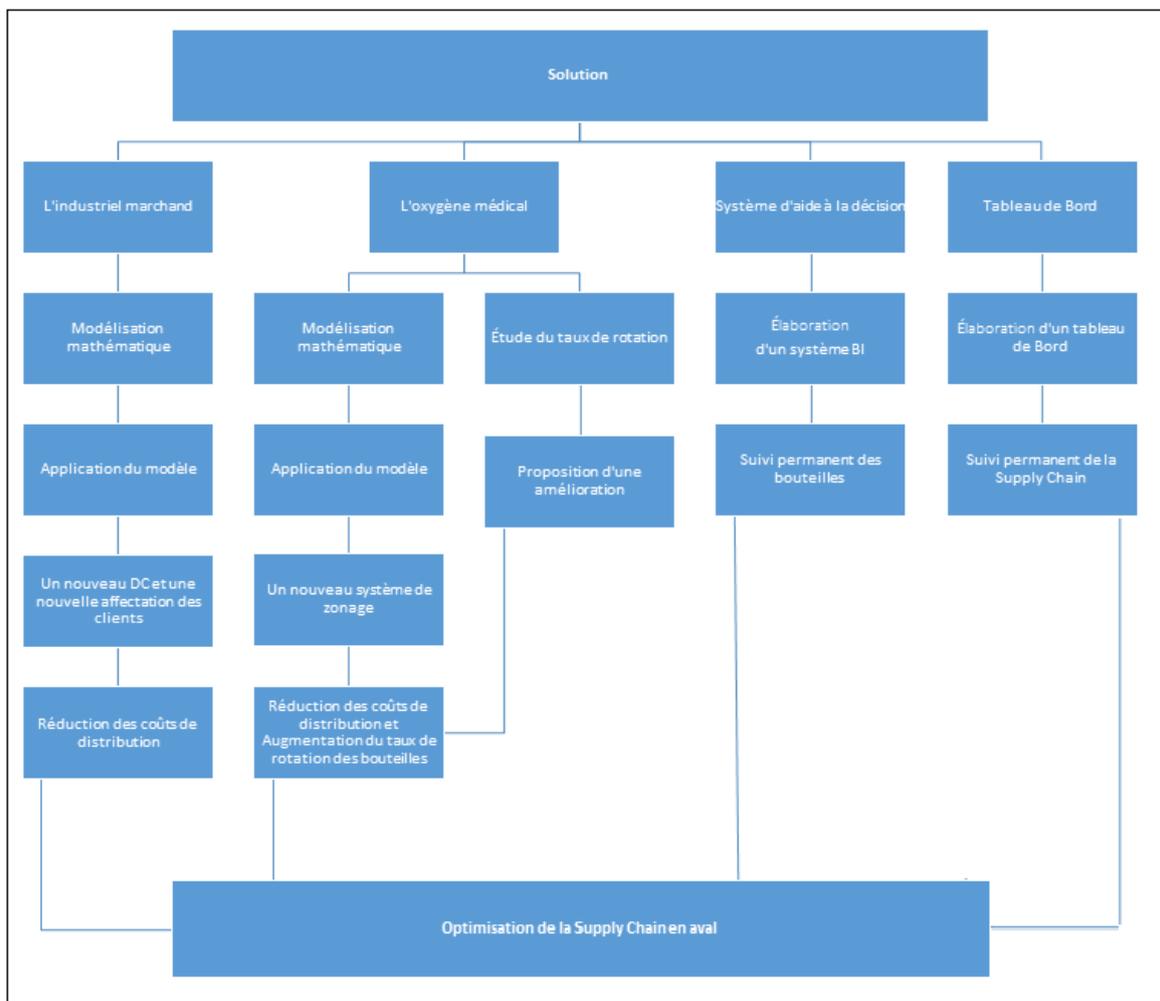


Figure 48: Schéma de synthèse pour le travail effectué dans ce chapitre

# **Conclusion générale**

L'objectif de notre étude était de répondre à la problématique soulevée par le service logistique de l'entreprise Sidal Air Liquide Algérie concernant la reconfiguration de la chaîne logistique en aval.

Le travail est divisé en deux projets, le premier consiste à trouver le meilleur emplacement du nouveau centre de distribution pour le secteur de l'industriel marchand et le second concerne le secteur de la santé et consiste à optimiser la distribution des gaz médicaux ainsi que l'augmentation du taux de rotation des bouteilles.

Pour ce faire, nous avons, en premier lieu, effectué un diagnostic de l'entreprise en analysant les ventes, les produits et les clients. Nous avons traité une base de données de plus de 180 000 données qui s'est restreint à 1250 données après avoir effectué les différentes analyses.

Nous avons commencé par le projet de l'industriel marchand en modélisant le problème sous forme linéaire comprenant l'ensemble des contraintes existant dans la chaîne logistique en aval. Cependant, en raison du manque de données nous nous sommes résolus à ne prendre que les contraintes les plus pertinentes. Nous avons ensuite proposé une solution optimale au problème à l'aide du logiciel IBM Cplex Optimizer.

Pour le projet de la santé, nous avons eu recours au problème de tournée véhicules (VRP) afin de modéliser notre problème en tenant compte des différentes contraintes de la distribution. Cependant, en raison du manque des données nous n'avons pris que les contraintes les plus pertinentes puis nous avons proposé une solution optimale au problème à l'aide du même logiciel et nous avons proposé un plan de tournée de distribution ainsi qu'une proposition d'amélioration pour le taux de rotation des bouteilles.

Néanmoins des perspectives restent à explorer, et nous recommanderons donc d'améliorer continuellement les modèles que nous avons proposés en intégrant de nouvelles variables et contraintes pertinentes afin d'avoir des modèles plus adaptatifs aux spécifications de l'entreprise, et nous recommanderons ainsi la généralisation du tableau de bord pour tous les produits, et l'implémentation du système BI.

# **Bibliographie**

- 
- **AIR LIQUIDE**. Document d'Enregistrement Universel 2019- incluant le rapport financier annuel [en ligne]. Paris: AMF, 2020 [Consulté le 10 Avril 2020]. Format PDF. Disponible à l'adresse : <https://www.airliquide.com/investors/2019-universal-registration-document>
  - **ANBUUDAYASANKAR S., GANESH K., MOHAPATRA S.**, “Models for Practical Routing Problems in Logistics: Design and Practices”. 1ere édition. New York: Springer Cham. 2014, 147p. ISBN 978-3-319-05034-8/978-3-319-05035-5.
  - **BELL Walter, DALBERTO Louis, FISHER Marshall, GREENFIELD Arnold, JAIKUMAR R., KEDIA Pradeep, MACK Robert, PRUTZMAN Paul**, “Improving the Distribution of Industrial Gases with an On-Line Computerized Routing and Scheduling Optimizer. Interfaces” [en ligne]. Vol 13, No 6, CPMS/TIMS Prize Papers (Dec., 1983), pp. 4-23. [Consulté le 23 Avril 2020]. Disponible sur : <https://www.jstor.org/stable/25060491?seq=1>
  - **CHANDRA Charu, GRABIS Janis**, “Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications”. 2ieme édition. new york: springer, 2016, 310 p. ISBN 978-1-4939-3557-4.
  - **CHOPRA Sunil, MEINDL Peter**, “Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation”. 3ieme édition. New Jersey, États-Unis: Pearson Education, 2008, 544 p. ISBN 0132086085/9780132086080.
  - **CHRISTOPHER Martin**, “Logistics & Supply Chain Management. 4ieme edition”. new york : édition PEARSON, 2011, 288 p. ISBN 0273731130.
  - **DANTRAKUL Sittipong, LIKASIRI Chulin, PONGVUTHITHUM Radom**, “Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems”. Science direct. 2014, Vol 41, n 8, pp 3596-3604. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413009883> [accès par abonnement]
  - **DOLGUI Alexander, SOLDEK Jerzy, ZAIKIN Oleg**, “Supply Chain Optimisation: Product/Process Design, Facility Location and Flow Control”. 1ere édition. Boston, États-Unis: Springer, 2005, 306 p. ISBN 0-387-23581-7/0-387-23566-3.
  - **FARROKHVAR, LEILY, ELLIS, KIMBERLY, ARBOGAST, JEFFREY**, “Allocation of bulk tanks to improve industrial gas distribution to customers with time varying demand. Logistics Research” [en ligne]. 2017, Vol 10, Iss 2, pp 1-19. [Consulté le 22 Avril 2020]. Disponible sur : <https://www.econstor.eu/handle/10419/182047>
  - **HUGOS Michael**, “Essentials of Supply Chain Management. 1ere édition. New Jersey”, États-Unis: Wiley, 2003, 251p. ISBN 0-471-23517-2.

- 
- **LAWRENCE Snyder, ZUO-JUN Max**, “Fundamentals of Supply Chain Theory”. 2ieme édition. New Jersey, États-Unis: Wiley, 2019, 725p. ISBN 9781119024842.
  - **MEDAN Pierre, GRATACAP Anne, LABASSE Olivier, JAMES David**, “Logistique et supply chain management : Intégration, collaboration et risques dans la chaîne logistique globale”. Paris: Dunod, 2008, 285p. ISBN 978-2-10-049113-1.
  - **PIMOR Yves, FENDER Michel**, “Logistique: Production, Distribution, Soutien”. 5ieme édition. Paris: Dunod, 2008, 766 p. ISBN 2100516078/9782100535613.
  - **RODRIGUE Jean-Paul**, “Supply Chain Management, Logistics Changes and the Concept of Friction. In: Peter V. Hall, Markus Hesse. Cities, Regions and Flows” [en ligne]. 1ere édition. London: Routledge, 2012, P. 189-190. [Consulté le 01 Avril 2020]. ISBN 978-0-415-68219-0. Disponible à l’adresse : <https://www.semanticscholar.org/paper/Supply-Chain-Management%2C-Logistics-Changes-and-the-Rodrigue/5baadcf1d31293501831e57c5455fe863866c2ff>
  - **RUSHTON Alan, BAKER Peter, CROUCHER Phil**, “The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain”. 5ieme édition. Londres: Kogan Page, 2014, 721 p. ISBN 0749466278.
  - **SAMUELSSON Bjorn**, “Estimating distribution costs in a supply chain network optimisation tool, a case study”. Operational Research [en ligne]. 2016, Vol 16, no 3, p 469-499. [Consulté le 25 Avril 2020]. Disponible sur : <https://link.springer.com/article/10.1007/s12351-015-0209-6>
  - **SIMCHI-LEVI David, KAMINSKY Philip**, “Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Cases”. New York, États-Unis: McGraw-Hill, 2000, 321 p. ISBN 0072357568.
  - **TOTH Paolo, VIGO Daniele**, “The Vehicle Routing Problem” [en ligne]. Philadelphia: SIAM, 2002 [Consulté le 28 Avril 2020]. Format PDF. Disponible à l’adresse : <https://epubs.siam.org/doi/book/10.1137/1.9780898718515>
  - **WATSON Michael, LEWIS Sara, CACIOPPI Peter, JAYARAMAN Jay**, “Supply Chain Network Design: Applying Optimization and Analytics to the Global Supply Chain”. 1ere édition. new york : édition PEARSON, 2012, 424 p. ISBN 0133017370.
  - **ZAMARRIPA Miguel, MARCHETTI Pablo, GROSSMANN Ignacio, SINGH Tejinder, LOTERO Irene, GOPALAKRISHNAN Ajit, BESANCON Brian, ANDRÉ Jean**, “Rolling Horizon Approach for Production–Distribution Coordination of Industrial Gases Supply Chains. Industrial & Engineering Chemistry Research” [en ligne]. 2016, V 55, no 9, pp 2646-2660. [Consulté le 16 Avril 2020]. Disponible sur : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.6b00271>

---

**Webographie :**

- **EMERGENT Maghreb**, “Le marché ‘‘confisqué’’ des gaz industriels en Algérie” [en ligne]. [Consulté le 15 Mars 2020]. Disponible à l’adresse : <https://maghrebemergent.info/le-marche-confisque-des-gaz-industriels-en-algerie/>
- **JAVED Rashid**, “Classification and Codification of Materials” [en ligne]. [Consulté le 29 Mai 2020]. Disponible à l’adresse : <https://www.playaccounting.com/exp-ca/m-costing/classification-and-codification-of-materials/>
- **KUMAR Anoop**, “Business Intelligence – An Overview” [en ligne]. [Consulté le 01 juin 2020]. Disponible à l’adresse : <https://www.developer.com/db/business-intelligence-an-overview.html>
- **PEDROSO Joao, RAIS Abdur, KUBO Mikio, MURAMATSU Masakazu**, “Facility location problems” [en ligne]. [Consulté le 05 Avril 2020]. Disponible à l’adresse : <https://scipbook.readthedocs.io/en/latest/flp.html>.
- **ZAROUR Nacer-eddine, EL HADI BENELHADJ Mohamed**, “INITIATION AUX SYSTEMES D'INFORMATION” [en ligne]. [Consulté le 29 Mai 2020]. Disponible à l’adresse : [https://www.univ-constantine2.dz/CoursOnLine/Benelhadj-Mohamed/co/Activite-Chapitre\\_1\\_2.html](https://www.univ-constantine2.dz/CoursOnLine/Benelhadj-Mohamed/co/Activite-Chapitre_1_2.html)

# **Annexes**

## Annexe A : les coordonnées géo-spatiales des clients par géo-codeur.

## 1. Les clients de l'industriel marchand.

Client	Adresse	wilaya	pays	code postal	X	Y
#####	beni tamou	blida	algérie	09024	36.50684	2.83316
#####	blida	blida	algérie	09000	36.48758	2.84045
#####	beni amrane	boumerdes	algérie	35006	36.67421	3.59276
#####	hamma bouziane	constantine	algérie	25230	36.4363	6.61975
#####	sidi moussa	alger	algérie	16061	36.61657	3.10321
#####	rouiba	alger	algérie	16606	36.72372	3.31392
#####	zone industrielle mascara	mascara	algérie	29000	35.36577	0.10973
#####	ZI Kechida	Batna	algérie	05109	35.56094	6.16478
#####	el hadjar	annaba	algérie	23004	36.80747	7.73891
#####	oran	oran	algérie	31000	35.69873	-0.63493
#####	zone industrielle de ain defla	Ain defla	algérie	44000	36.25695	1.93378
#####	bir mourad rais	alger	algérie	16013	36.73314	3.03725
#####	El attaf	Ain defla	algérie	44002	36.20677	1.65079
#####	oumache	biskra	algérie	7315	34.69381	5.69807
#####	petite zone industrille skikda	skikda	algérie	21000	36.84922	6.89073
#####	zone industrille le rhumel	constantine	algérie	25000	36.32934	6.5925
#####	Zone industrielle chtiebo	oran	algérie	31000	35.64921	-0.5857
#####	zone industrielle didouche mourad	constantine	algérie	25210	36.43351	6.62441
#####	el bouni	annaba	algérie	23010	36.85482	7.7413
#####	route de m'sila	borjd bou arréridj	algérie	34000	36.73549	3.33716
#####	zone industrielle chaab ers'sas	constantine	algérie	25010	36.34093	6.63
#####	zone industrielle didouche mourad	constantine	algérie	25210	36.43806	6.63006
#####	ain touta	batna	algérie	05002	35.5545	6.17278
#####	jijel	jijel	algérie	18001	36.82101	5.76341
#####	reghaia	alger	algérie	16036	36.72799	3.33129
#####	Ain mlila	oum-el-bouaghi	algérie	04300	36.02274	6.58389
#####	sétif	sétif	algérie	19000	36.19873	5.42406
#####	tiaret	tiaret	algérie	14000	36.70984	3.1317
#####	es-senia	oran	algérie	31005	35.6492	-0.60622
#####	bounoura	Ghardaia	algérie	47010	32.49022	3.67384
#####	route kouicim belgacem	guelma	algérie	24000	36.46748	7.44185
#####	mila	mila	algérie	43000	36.4519	6.25843
#####	guidjel	sétif	algérie	19027	36.07211	5.49875
#####	hassi messaoud	ouargla	algérie	30001	30.9859	5.74938
#####	21, rue guellab larbi tiaret	tiaret	algérie	14000	35.36933	1.32327
#####	Oued el hamimim	constantine	algérie	25015	36.30034	6.6872
#####	ain m'lila	oum-el-bouaghi	algérie	04300	36.02628	6.58127
#####	oran	oran	algérie	31000	35.69873	-0.63493
#####	mesra	mostaganem	algérie	27018	35.84534	0.17233
#####	sétif	sétif	algérie	19000	36.16548	5.41976
#####	oran	oran	algérie	31000	35.67008	-0.62636
#####	oued rhiou	relizane	algérie	48001	35.96771	0.91189
#####	zone industrielle sétif	sétif	algérie	19000	36.18975	5.41079
#####	draa el mizane	tizi ouzou	algérie	15005	36.53572	3.83643
#####	draa el hadja	m'sila	algérie	28000	35.70464	4.48218
#####	telemcen	telemcen	algérie	13000	34.88288	-1.31668
#####	el hadjar	annaba	algérie	23004	36.81627	7.74797
#####	oran	oran	algérie	31000	36.73549	3.33716
#####	bir el djir	oran	algérie	31023	35.72114	-0.55725
#####	ouled saber	sétif	algérie	19120	36.17738	5.57447
#####	hassi messaoud	ouargla	algérie	30001	31.65059	6.14093
#####	ain abid	constantine	algérie	25015	36.27506	6.8973
#####	sétif	sétif	algérie	19000	35.92305	5.31715
#####	Ain oulmene	sétif	algérie	19002	35.92179	5.30815
#####	khemis el khechna	boumerdes	algérie	35010	36.65051	3.33168
#####	Ain m'lila	oum-el-bouaghi	algérie	04300	36.03439	6.57378
#####	zone industrielle route de m'sila	borjd bou arréridj	algérie	34000	36.05421	4.78374
#####	kechida	batna	algérie	05040	35.56938	6.16768
#####	hammedi	boumerdes	algérie	35015	36.66956	3.25157
#####	ouled yaich	blida	algérie	09015	36.49415	2.86269
#####	route de constantine	guelma	algérie	24000	36.46274	7.43308
#####	sidi ferruch	oran	algérie	31000	35.69595	-0.64041
#####	larbaa	blida	algérie	09002	36.5864	3.17181
#####	hassi r'mel	laghouat	algérie	03004	32.93471	3.30103
#####	hassi r'mel	laghouat	algérie	03004	32.75596	3.17827
#####	zone industrielle rouiba	alger	algérie	16017	36.73087	3.30364
#####	hussein-dey	alger	algérie	16005	36.73994	3.10655
#####	baraki	alger	algérie	16027	36.72146	3.20657
#####	dar el beida	alger	algérie	16033	36.0515	6.57912
#####	Ain m'lila	oum-el-bouaghi	algérie	04300	35.54303	6.16066
#####	route de biskra	batna	algérie	07315	36.71489	3.20081
#####	bab ezzouar	alger	algérie	16024	36.66606	3.30097
#####	khemis el khechna	boumerdes	algérie	35010	36.73306	3.11401

#####	hussein-dey	alger	algérie	16005	36.67872	2.95131
#####	douéra	alger	algérie	16049	36.67872	2.95131
#####	zone industriel bellara el milia	jijel	algérie	18001	36.75412	6.24337
#####	El khroub	constantine	algérie	25100	36.2657	6.68938
#####	Rouiba	alger	algérie	16012	36.69863	3.17985
#####	draa ben khedda	tizi ouzou	algérie	15004	36.72925	3.96693
#####	boumerdes	boumerdes	algérie	35000	36.75106	3.47889
#####	boumerdes	boumerdes	algérie	35000	36.75106	3.47889
#####	hydra	alger	algérie	16016	36.75128	3.0189
#####	zone industrille rouiba	alger	algérie	16017	36.73698	3.29749

## 2. Les clients de la santé.

Client	Adresse	Wilaya	Pays	Code postal	X	Y
#####	Chlef	Chlef	Algérie	02000	36.14641	1.31315
#####	Draâ Ben Khedda	Tizi-Ouzou	Algérie	15004	36.72772	3.9682
#####	Alger-Centre	Alger	Algérie	16000	36.76229	3.05582
#####	Ténès	Chlef	Algérie	02006	36.51244	1.30686
#####	Bordj El Kiffan	Alger	Algérie	16031	36.77226	3.26238
#####	Baraki	Alger	Algérie	16027	36.6536	3.09057
#####	Rue FEHAM Djilali, Khemis El Khechna	Boumerdès	Algérie	35010	36.64872	3.33241
#####	Réghaïa	Alger	Algérie	16036	36.74177	3.34154
#####	Zeralda	Alger	Algérie	16063	36.76247	2.88525

## Annexe B : Résultats de la méthode de Barycentre.

Commune	Sirat, Mostaganem	DC-Alger	DC- Constantine		Sirat, Mostaganem	DC-Alger	DC- Constantine	Somme
ain abid, constantine	733.894	407.917	46.889		0	0	1	1
Ain mlila, oum-el- bouaghi	706.271	380.294	38.678		0	0	1	1
Ain oulmene, sétif	573.646	247.669	153.602		0	0	1	1
ain touta, batna	678.162	352.185	144.124		0	0	1	1
bab ezzouar, alger	331.356	17.777	372.493		0	1	0	1
baraki, alger	317.83	25.314	380.03		0	1	0	1
beni amrane, boumerdes	373.867	33.849	338.082		0	1	0	1
beni tamou, blida	285.21	60.623	412.628		0	1	0	1
bir el djir, oran	83.107	435.074	787.079		1	0	0	1
bir mourad rais, alger	320.369	30.913	385.629		0	1	0	1
blida, blida	281.409	60.832	412.837		0	1	0	1
boumerdes, boumerdes	359.269	19.251	355.233		0	1	0	1
zone industrielle de bounoura, Ghardaia	630.91	621.965	732.44		0	1	0	1
dar el beida, alger	330.356	13.814	368.53		0	1	0	1
douéra, alger	308.052	48.649	396.082		0	1	0	1
draa ben khedda, tizi ouzou	406.268	66.25	395.607		0	1	0	1
draa el hadja, m'sila	545.624	219.647	250.332		0	0	1	1
draa el mizane, tizi ouzou	404.07	78.093	311.476		0	1	0	1
El attaf, Ain defla	159.571	203.773	555.778		1	0	0	1
el bouni, annaba	869.842	543.865	166.16		0	0	1	1
el hadjar, annaba	864.165	538.188	160.483		0	0	1	1
El khroub, constantine	709.04	383.063	22.035		0	0	1	1
guidjel, sétif	593.967	271.55	120.828		0	0	1	1
hamma bouziane, constantine	705.619	379.642	13.472		0	0	1	1
hammedi, boumerdes	331.81	16.117	364.032		0	1	0	1

hassi messaoud, ouargla	1007.753	973.932	721.646			0	0	1	1
hassi r'mel, laghouat	545.813	536.868	647.343			0	1	0	1
hussein- dey, alger	326.008	26.171	380.887			0	1	0	1
hydra, alger	324.013	33.427	388.143			0	1	0	1
jijel, Jijel	631.177	305.2	133.79			0	0	1	1
kechida, Batna	710.588	384.611	109.085			0	0	1	1
khemis el khechna, Boumerdes	342.787	16.81	356.843			0	1	0	1
larbaa, Blida	326.956	30.613	378.046			0	1	0	1
mesra, Mostaganem	7.285	349.195	701.2			1	0	0	1
Zone industrielle, Ferdjioua	649.597	323.62	91.67			0	0	1	1
oran, Oran	88.52	431.813	783.818			1	0	0	1
oued rhiou, Relizane	124.38	261.662	613.667			1	0	0	1
ouled sabor, Setif	586.437	260.46	122.77			0	0	1	1
Ouled Yaich, Blida	289.562	59.793	411.798			0	1	0	1
oumache, Biskra	695.416	420.453	248.325			0	0	1	1
La Petite Zone, La Petite Zone Industrielle, Skikda	793.193	467.216	89.511			0	0	1	1
reghaia, Alger	342.488	2.051	369.556			0	1	0	1
Route de Biskra, Batna	715.184	389.207	113.681			0	0	1	1
All Stores Constantine, diaf de batna n2, route, Guelma	704.385	378.408	7.054			0	0	1	1
Bordj Bou Arreridj	508.328	182.351	187.581			0	0	1	1
Guelma	797.735	471.758	110.73			0	0	1	1
sétif	576.691	250.714	121.764			0	0	1	1
Rue Sidi fredj, Oran	108.151	432.335	784.34			1	0	0	1
sidi moussa, Alger	319.946	32.008	379.442			0	1	0	1
telemcen, Telemcen	208.668	532.852	884.857			1	0	0	1
tiaret, Tiaret	145.258	285.761	588.468			1	0	0	1

Complexe Sidérurgique de Bellara, El-Milia	743.908	417.931	78.598		0	0	1	1
laiterie NUMIDIA, Zone industrielle chaabers'sas B.P N°237, Constantine	699.274	373.297	7.127		0	0	1	1
Es Sénia, Oran	101.391	426.078	778.083		1	0	0	1
Elsewedy cables Algeria, Aïn Defla	200.426	170.247	522.252		1	0	0	1
Zone Industrielle, Didouche Mourad	713.288	387.311	21.141		0	0	1	1
ZI Mascara, Mascara	74.126	403.39	755.395		1	0	0	1
Zone Industrielle de Rouiba, Rouiba	335.468	2.562	363.545		0	1	0	1
Zone Industrielle Msila, Zone Industrielle de M'sila, M'Sila, M'sila	526.138	219.826	247.796		0	0	1	1
Zone industrielle, eon eindustrielle Palma, Constantine	693.251	367.274	0.18		0	0	1	1
ZI, Sétif	579.977	254	123.16		0	0	1	1
				Somme	11	22	28	
							Distance Tot	7496.018
					1	1	1	
							Nbre de structure	3
					64	64	64	
							Coût de transport par Km	75.3185524
							Coût Tot de transport	564589.224

## Annexe C : Résultats de la méthode de Weber.

Commune	sidi abdelmoumen, Mascara	DC-Alger	DC-Constantine		sidi abdelmoumen, Mascara	DC-Alger	DC-Constantine	Somme
ain abid, constantine	754.835	407.917	46.889		0	0	1	1
Ain mlila, oum-el-bouaghi	727.212	380.294	38.678		0	0	1	1
Ain oulmene, sétif	594.587	247.669	153.602		0	0	1	1
ain touta, batna	699.103	352.185	144.124		0	0	1	1
bab ezzouar, alger	352.297	17.777	372.493		0	1	0	1
baraki, alger	338.771	25.314	380.03		0	1	0	1
beni amrane, boumerdes	394.808	33.849	338.082		0	1	0	1
beni tamou, blida	306.151	60.623	412.628		0	1	0	1
bir el djir, oran	69.897	435.074	787.079		1	0	0	1
bir mourad rais, alger	341.31	30.913	385.629		0	1	0	1
blida, blida	302.35	60.832	412.837		0	1	0	1
boumerdes, boumerdes	380.21	19.251	355.233		0	1	0	1
zone industrielle de bounoura, Ghardaia	618.568	621.965	732.44		0	1	0	1
dar el beida, alger	351.297	13.814	368.53		0	1	0	1
douéra, alger	328.993	48.649	396.082		0	1	0	1
draa ben khedda, tizi ousou	427.209	66.25	395.607		0	1	0	1
draa el hadja, m'sila	566.565	219.647	250.332		0	0	1	1
draa el mizane, tizi ousou	425.011	78.093	311.476		0	1	0	1
El attaf, Ain defla	180.512	203.773	555.778		1	0	0	1
el bouni, annaba	890.783	543.865	166.16		0	0	1	1
el hadjar, annaba	885.106	538.188	160.483		0	0	1	1
El khroub, constantine	729.981	383.063	22.035		0	0	1	1
guidjel, sétif	614.908	271.55	120.828		0	0	1	1
hamma bouziane, constantine	726.56	379.642	13.472		0	0	1	1
hammedi, boumerdes	352.751	16.117	364.032		0	1	0	1

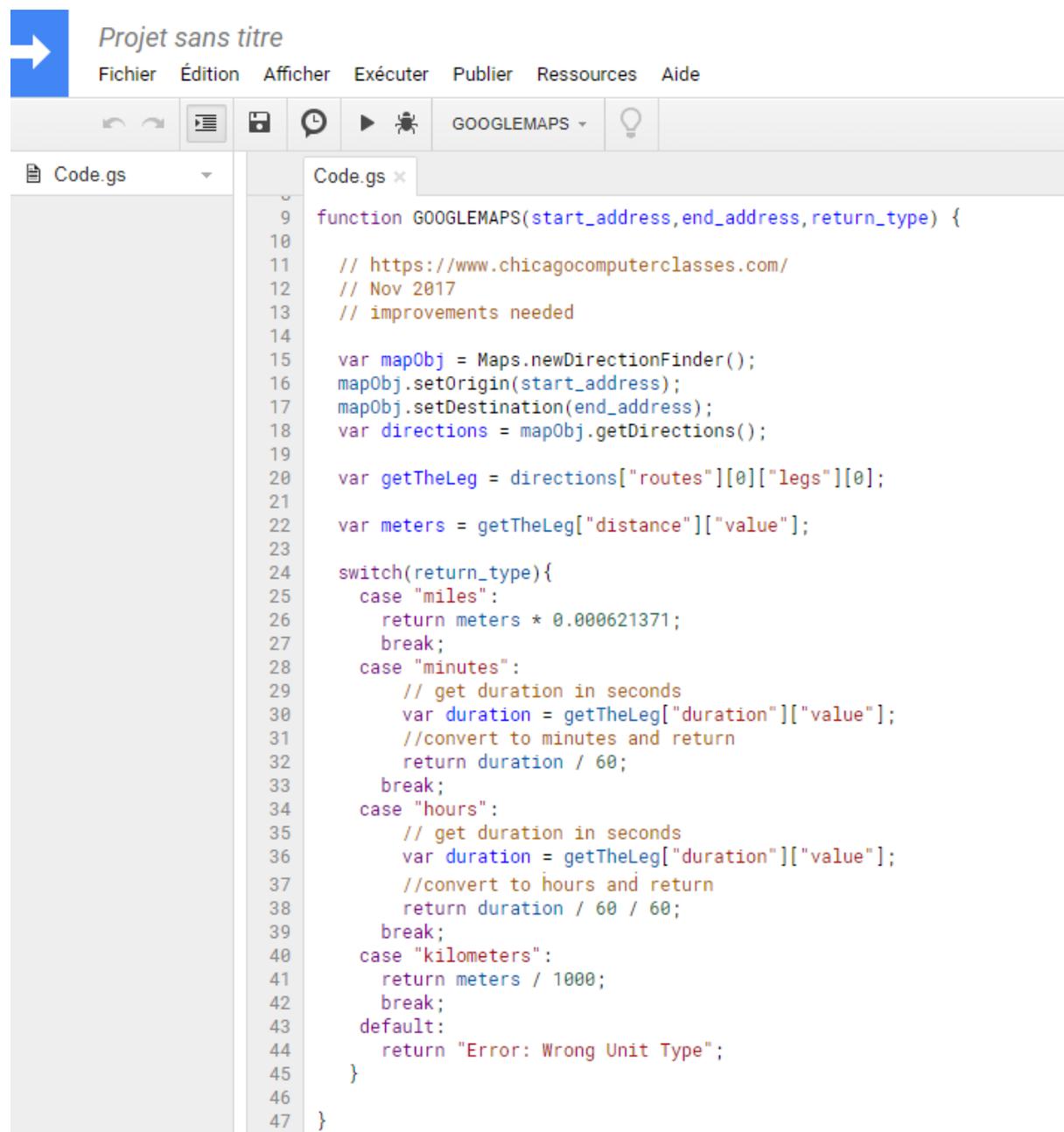
hassi messaoud, ouargla	995.411	973.932	721.646			0	0	1	1
hassi r'mel, laghouat	533.471	536.868	647.343			0	1	0	1
hussein- dey, alger	346.949	26.171	380.887			0	1	0	1
hydra, alger	344.954	33.427	388.143			0	1	0	1
jijel, Jijel	652.118	305.2	133.79			0	0	1	1
kechida, Batna	731.529	384.611	109.085			0	0	1	1
khemis el khechna, Boumerdes	363.728	16.81	356.843			0	1	0	1
larbaa, Blida	347.897	30.613	378.046			0	1	0	1
mesra, Mostaganem	38.146	349.195	701.2			1	0	0	1
Zone industrielle, Ferdjioua	670.538	323.62	91.67			0	0	1	1
oran, Oran	75.31	431.813	783.818			1	0	0	1
oued rhiou, Relizane	145.321	261.662	613.667			1	0	0	1
ouled sabor, Setif	607.378	260.46	122.77			0	0	1	1
Ouled Yaïch, Blida	310.503	59.793	411.798			0	1	0	1
oumache, Biskra	716.357	420.453	248.325			0	0	1	1
Complexe Sidérurgique de Bellara, El-Milia	764.849	417.931	78.598			0	0	1	1
laiterie NUMIDIA, Zone industrielle chaab ers'sas B.P N°237. Constantine	720.215	373.297	7.127			0	0	1	1
Es Sénia, Oran	79.363	426.078	778.083			1	0	0	1
Elsewedy cables Algeria, Aïn Defla	221.367	170.247	522.252			1	0	0	1
Zone Industrielle, Didouche Mourad	734.229	387.311	21.141			0	0	1	1
ZI Mascara, Mascara	50.558	403.39	755.395			1	0	0	1
Zone Industrielle de Rouiba, Rouiba	356.409	2.562	363.545			0	1	0	1

Complexe Sidérurgique de Bellara, EI-Milia	764.849	417.931	78.598		0	0	1	1
laiterie NUMIDIA, Zone industrielle chaabers'sas B.P N°237, Constantine	720.215	373.297	7.127		0	0	1	1
Es Sénia, Oran	79.363	426.078	778.083		1	0	0	1
Elsowedy cables Algeria, Aïn Defla	221.367	170.247	522.252		1	0	0	1
Zone Industrielle, Didouche Mourad	734.229	387.311	21.141		0	0	1	1
ZI Mascara, Mascara	50.558	403.39	755.395		1	0	0	1
Zone Industrielle de Rouiba, Rouiba	356.409	2.562	363.545		0	1	0	1
Zone Industrielle Msila, Zone Industrielle de M'sila, M'Sila, M'sila	547.079	219.826	247.796		0	0	1	1
Zone industrielle, eon eindustrielle Palma, Constantine	714.192	367.274	0.18		0	0	1	1
ZI, Sétif	600.918	254	123.16		0	0	1	1
				Somme	11	22	28	
							Distance Tot	7506.984
				Y	1	1	1	
							Nbre de structure	3
				Y*N	64	64	64	
							Coût de transport par Km	75.3185524
							Coût Tot de transport	565415.168

### Annexe D : Le système de zonage de l'entreprise pour le secteur de la santé.

Zone	Client	Qte/semaine (bouteille)	Qte/semaine de la zone (bouteille)	Distance totale pour chaque zone (Km)	Distance totale (Km)
Zone 1	5	24	48	11.78+28.85+30.20 =70.83	901.46
	3	24			
Zone 2	6	40	54	28.91+32.55+49.27 =110.73	
	9	14			
Zone 3	8	19	49	2.30+19.34+72.85+66.63 =161.12	
	7	2			
	2	28			
Zone 4	1	3	21	222.89+55.75+280.14 =558.78	
	4	18			

## Annexe E : L'algorithme de Google Maps pour ressortir la matrice des distances.



The image shows a screenshot of a code editor window titled "Projet sans titre". The editor displays a JavaScript function named `GOOGLEMAPS` that calculates distance and duration between two addresses. The function uses the Google Maps API's `DirectionsService` to get directions and then processes the results based on the requested unit type (miles, minutes, hours, or kilometers). Comments in the code indicate it was last updated in November 2017 and that improvements are needed.

```
9 function GOOGLEMAPS(start_address,end_address,return_type) {
10
11 // https://www.chicagocomputerclasses.com/
12 // Nov 2017
13 // improvements needed
14
15 var mapObj = Maps.newDirectionFinder();
16 mapObj.setOrigin(start_address);
17 mapObj.setDestination(end_address);
18 var directions = mapObj.getDirections();
19
20 var getTheLeg = directions["routes"][0]["legs"][0];
21
22 var meters = getTheLeg["distance"]["value"];
23
24 switch(return_type){
25 case "miles":
26     return meters * 0.000621371;
27     break;
28 case "minutes":
29     // get duration in seconds
30     var duration = getTheLeg["duration"]["value"];
31     //convert to minutes and return
32     return duration / 60;
33     break;
34 case "hours":
35     // get duration in seconds
36     var duration = getTheLeg["duration"]["value"];
37     //convert to hours and return
38     return duration / 60 / 60;
39     break;
40 case "kilometers":
41     return meters / 1000;
42     break;
43 default:
44     return "Error: Wrong Unit Type";
45 }
46 }
47 }
```