

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



Département de Génie
Industriel Option : Management
Industriel

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Industriel

Amélioration de la performance des stations-services et optimisation de la Supply Chain des carburants à travers le recours aux technologies IoT :

Application à la triade Station-service Garidi, Algeria Smart Grid et NAFTAL

KECHIDI Tanya

KERDJOUDJ Fella

Sous la direction de M. Iskander Zouaghi Maître de Conférences

Et

M. Nacer Greffou PDG de l'entreprise Algeria Smart Grid

Présenté(e) et soutenue publiquement le (02/07/2019)

Composition du Jury :

Président	Mme. Sabiha Nait Kaci (MAA)	ENP
Promoteur	M. Iskander Zouaghi (MCB)	ENP
Examineur	Mme. Bahia Bouchafaa (MCA)	ENP

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



Département de Génie
Industriel Option : Management
Industriel

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Industriel

Amélioration de la performance des stations-services et optimisation de la Supply Chain des carburants à travers le recours aux technologies IoT :
Application à la triade Station-service Garidi, Algeria Smart Grid et NAFTAL

KECHIDTanya

KERDJOUDJ Fella

Sous la direction de M. Iskander Zouaghi Maitre de Conférences

Et

M. Nacer Greffou PDG de l'entreprise Algeria Smart Grid

Présenté(e) et soutenue publiquement le (02/07/2019)

Composition du Jury :

Président	Mme. Sabiha Nait Kaci (MAA)	ENP
Promoteur	M. Iskander Zouaghi (MCB)	ENP
Examineur	Mme. Bahia Bouchafaa (MCA)	ENP

Dédicaces

A mes parents

A mes sœurs : Halima, Sabrina, Fadhela

A tous mes amis,

Avec toute ma reconnaissance et ma profonde affection.

Fella.

À mes parents, pour m'avoir toujours soutenu et cru en moi,

A mon frère,

A tous ceux qui me sont chers.

Tanya

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier notre encadreur, Mr Iskander Zouaghi, Maitre de conférences à l'ENP d'Alger, 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 Nacer Greffou pour nous avoir accueilli au sein de son équipe et proposé le thème de notre projet.

Nous souhaitons également remercier le personnel de la station-service de Garidi Alger, en particulier Zahir, Tarik, et Riadh, pour toute l'accessibilité aux informations et les facilités qu'ils nous ont accordées pour mener à bien ce travail. Sans oublier, Abdelmounaam Benhouria de l'entreprise Brainiac, pour le temps qu'il nous a consacré, et pour toute l'aide qu'il nous a apporté.

Nous remercions également l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'Ecole Nationale Polytechnique, plus particulièrement, les enseignants du département du génie industriel auxquels nous devons notre formation d'ingénieurs.

Nous adressons nos vifs remerciements à Mme Sabiha Nait Kaci et Mme Bahia Bouchafaa, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions enfin, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو اقتراح حلول ونماذج لتحسين أداء محطة خدمة غاريدي أثناء استخدام تقنيات إنترنت الأشياء. بعد تشخيص تم إجراؤه في المحطة، ظهرت ثلاثة مجالات لتحسين سلسلة إمدادات الوقود:

- التحكم في الطلب : بعد الحصول على البيانات المتعلقة بالتغيرات في مستوى المخزونات، في الوقت الفعلي، باستخدام منصة Fuel-Prime، توصلنا إلى توقعات تسمح لنا بتحديد الطلب.
- إدارة المخزون : بمجرد تحديد الطلب وتحديد فترة التسليم، توقعنا مخاطر التمزق أو التخزين الزائد من جهة، وتقليل وقت توقف المحطة من ناحية أخرى.
- تحسين توزيع الوقود : لقد اقترحنا نموذجًا رياضيًا، تم حله من خلال نظام إرشادي يعمل على تحسين تخطيط جولات الشاحنات التي تحمل أنواعًا وكميات مختلفة من الوقود.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء، التحسين، سلسلة اللوجستيات، التنبؤ، إدارة المخزون، التوزيع.

Abstract:

The objective of this work is the proposal of solutions and models related to improving the performance of the Garidi gas station while using IoT technologies. After a diagnosis made at this station, three axes of fuel supply chain improvements emerged:

- Demand Control: After obtaining real-time inventory of level change data, using the Fuel-Prime platform, we have made a forecast to control demand.
- Inventory management: Once the demand has been identified and the delivery period has been determined, we have anticipated the risk of breakdowns or over storage on the one hand and reduced downtime on the other.
- Optimization of fuel distribution: we have proposed a mathematical model solved from a heuristic that optimizes the planning of tours of trucks carrying different types and quantities of fuels.

Key words: IoT, Optimization, Supply Chain, Prevision, Inventory Management, Distribution

Résumé:

L'objectif de ce chapitre, est la proposition de solutions et modèles relatifs à l'amélioration de la performance de la station-service de Garidi tout en ayant recours aux technologies IoT. Après un diagnostic effectué à la station, trois axes d'améliorations de la Supply Chain des carburants se sont dégagés :

- La maîtrise de la demande : Après avoir obtenu les données relatives aux variations du niveau des stocks, en temps réel, en ayant recours à la plateforme Fuel-Prime, nous avons réalisé une prévision nous permettant de cerner la demande
- La gestion des stocks : Une fois la demande cernée et la de délai de livraison déterminé, nous avons anticipé sur les risques de ruptures ou de sur stockage d'une part, et réduit les temps d'arrêts de la station d'autre part.
- L'optimisation de la distribution du carburant : nous avons proposé un modèle mathématique, résolu à partir d'une heuristique qui optimise la planification de tournées des camions transportant différents types et quantités de carburants.

Mot clés : IoT, Optimisation, Chaine logistique, Prévision, Gestion des stocks, Distribution.

Table des matières

Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des Figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	12
Chapitre 1 Présentation des entreprises et état des lieux.....	15
I- Introduction.....	16
II- Présentation des entreprises.....	16
II-1- Présentation de l'entreprise Algeria Smart Grid (ASG)	16
II-2- Présentation et état des lieux de la station-service de GARIDI	18
II-3- Présentation et état des lieux de l'entreprise « NAFTAL-Algérie ».....	20
III- Diagnostic des flux et des pratiques	26
III-1- Calcul des pertes subies par la station-service	30
III-2- Les pistes d'amélioration	36
IV- Problématique	36
Chapitre 2 Etat de l'art	38
I- Introduction.....	39
II- Concepts fondamentaux et optimisation de supply chain.....	39
II-1- Définition et structure d'une supply chain	39
II-1- Enjeux et niveaux de décisions de la supply Chain.....	41
II-3- Optimisation de la supply chain des station services	45
III- Caractérisation de la demande et gestion des stocks	47
III-1- Caractérisation de la demande.....	48
III-2- Prévision de la demande.....	49
III-3- Gestion de stocks.....	54
III-4- Technologies IoT.....	61
IV- Concepts et optimisation de la supply chain aval.....	62
IV-1- Définition d'un réseau de distribution et d'un plan de tournées	62
IV-2- Problèmes d'optimisations	63
IV-3- Optimisation de la distribution du carburant aux stations-services.....	65

V- Conclusion.....	66
Chapitre 3 Amélioration de la réactivité de la station-service	68
I- Introduction	69
II- Amélioration de la gestion interne de la station-service.....	69
II-1- Réduction des pertes liées aux ruptures de stocks.....	69
II-2- Réduction des pertes liées aux sur stockage.....	81
II-3- Résolution des problèmes liés aux arrêts de l'activité de la station-service.....	82
III- Amélioration de la performance externe de la station-service (supply chain aval) ...	85
III-1- Modèle mathématique	86
III-2- Résolution du problème	90
III-3- Schéma explicatif de l'heuristique	97
IV- Conclusion.....	99
Conclusion générale	101
Références bibliographiques	104
Annexes	106

Liste des tableaux

Tableau 1 :Variation du niveau de stock du réservoir diesel 1 du 31/01/2019.....	28
Tableau 2:Variation du niveau de stock du réservoir diesel 2 du 08/02/2019.....	28
Tableau 3:Variation du niveau de stock du réservoir diesel 1 du 26/01/2019.....	29
Tableau 4:Variation du niveau de stock du réservoir diesel 2 du 05/01/2019.....	29
Tableau 5: Récapitulatif des critères de sélection.....	76
Tableau 6: Ordre de fusion des compartiments d'un camion.....	95

Liste des Figures

Figure 1: Installation du système Fuel-Prime	17
Figure 2: Organigramme de la station-service.....	19
Figure 3: Organigramme de l'entreprise NAFTAL.....	23
Figure 4: Répartition des activités de la branche carburant de NAFTAL	24
Figure 5: Circuit de distribution direct de NAFTAL	26
Figure 6: historique du réservoir diesel 1	27
Figure 7: historique du réservoir diesel 2	27
Figure 8 : Consommation par heure du diesel 1	31
Figure 9: Test de racine unitaire	32
Figure 10: Résultat du test de Dickey Fuller	33
Figure 11: Structure d'une Supply Chain.....	41
Figure 12: Coûts engendrés par la réactivité	43
Figure 13: Réalisation de l'alignement stratégique.....	43
Figure 14 : Pyramide des niveaux de décisions.....	45
Figure 15: Structure e la supply chain dans le secteur des hydrocarbures	46
Figure 16: Choix de la stratégie de prévision.....	49
Figure 17: Typologie des modèles de prévision	50
Figure 18: Etapes relatives à la méthodologie de Box et Jenkins.....	53
Figure 19: Prévision de la demande et la gestion des stocks.....	54
Figure 20: Différentes politiques de réapprovisionnement.....	56
Figure 21: Politique de réapprovisionnement fixe périodique	56
Figure 22: Méthode de point de commande.....	57
Figure 23: Méthode de re-complètement périodique.	58
Figure 24: Les différentes méthodes d'optimisation	63
Figure 25: Graphe de la série chronologique consommation	70
Figure 26 : Test de stationnarité de Dickey-Fuller	72
Figure 27: Corrélogramme de la série chronologique consommation.....	74
Figure 28: MAPE du modèle ARMA(7,1).....	77
Figure 29: MAPE du modèle ARMA(7,1).....	77

Figure 30: Corrélogramme donné par le modèle ARMA(7,1)	78
Figure 31: Résultats de la prévision	78
Figure 32: MAPE du modèle final	79
Figure 33: Taux de réalité du modèle final.....	79
Figure 34: Test de normalité de la droite de Henry	80
Figure 35: Affectations des commandes aux brigades	97
Figure 36: Détermination de la liste finale	98
Figure 37: Affectation des commandes aux camions	99
Figure 38:ALEVEL 03	107
Figure 39: OKO 55.....	107
Figure 40 : AMPLI 68	108
Figure 41: Console FP	108
Figure 42: Modèle ARMA (7,1).....	109
Figure 43: Modèle ARMA(14,7).....	109
Figure 44: Modèle ARMA (1,14).....	110
Figure 45: Programme décrivant les étapes de l'heuristique de distribution	111

Liste des abréviations

ACF : Auto Correlation Fonction

AR: Auto Regressive

ARIMA: Auto Regressive Integrated Moving Average

ARMA: Auto Regressive Moving Average

ASG: Algeria Smart Grid

ATG: Automatic Tank Gauging

DS: Difference stationary

ESCO: Energy Service Company

FIFO: First In First Out

FRC: Formulaire Réception Commande

GD: Gestion Directe

GL : Gestion Libre

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

IoT : Internet of Things

MA : Moving Average

MAPE : Mean Absolute Pourcentage Error

MCO : Moindres Carrées Ordinaires

PACF : Partial Auto Correlation Fonction

POS : Plan d'occupation des sols

PVA : Point de Vente Agréée

RFID : Radio Frequency Identification

SARIMA: Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

SARL: Société à responsabilité limitée

SCM: Supply Chain Management

SKU: Stock-Keeping Unit

SS: Stock de Sécurité

TR: Taux de Réalité

TRps: Taux de Rupture d'un produit d'une station

TS: Trend Stationary

WSR: Wet Stock Reconciliation

SONATRACH: Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures

DA: Dinars Algérien

Introduction générale

Le secteur des hydrocarbures représente l'un des plus importants secteurs industriels en Algérie. En effet, l'économie algérienne en demeure très fortement dépendante puisque ce secteur représente la principale source de revenus du pays. De plus, étant producteur et exportateur de carburant, il se doit de prendre en charge la demande locale et étrangère.

La consommation algérienne de ces dernières années en carburant n'a fait qu'augmenter jusqu'à atteindre les 15 millions de tonnes annuellement (Lamriben, 2018). Cette progression est due à l'accroissement de la taille du parc automobile national avec la démultiplication des modèles et marques automobiles, l'apparition des voitures Low cost, l'ouverture du constructeur automobile Renault en Algérie, etc. Par conséquent, le nombre de véhicule est passé de plus de 3 millions en 2008 à près de 6 millions de véhicules en 2017, soit une augmentation de 61% en environ 10 ans (La rédaction, 2018). Sachant que les véhicules s'alimentent exclusivement de carburants, ils doivent donc s'approvisionner dans les seuls points de ventes qui sont les stations-services. Ces dernières doivent satisfaire la demande des clients en assurant un taux de service satisfaisant, et en l'occurrence, en réapprovisionnant leurs cuves régulièrement pour garder un volume minimum. Ce volume est d'autant plus difficile à déterminer car il dépend de plusieurs paramètres internes et externes aux stations-services. Le fournisseur, généralement en situation de monopole ou d'oligopole, est chargé du réapprovisionnement d'un grand nombre de stations-services. Certaines de ces dernières sont gérées par le fournisseur en question (Les stations-services GD), tandis que d'autres sont gérées par des privés (Stations PVA). Ceci rend la logistique de ce fournisseur de plus en plus complexe et difficile à gérer et par conséquent, impacte la performance des stations-services.

La prestation et le taux de service des stations GD dépend principalement de la gestion des paramètres internes, c'est-à-dire, la compréhension de la demande ainsi que sa nature (par rapport aux types de véhicules (camions, bus, voitures, motos, engins, etc.), et par rapport à chaque type de carburant (gasoil, sans plomb, super, etc.), la fréquence d'approvisionnement, la quantité moyenne réapprovisionnée (plein, moitié, quart, etc.), les périodes où il y a le plus de demandes (matin, midi, soir), le choix du modèle de prévision, la capacité de la station-service, la gestion du stock, etc. Alors que la prestation des stations PVA dépendent non seulement des paramètres internes déjà énoncés mais aussi des paramètres externes liés au fournisseur et au marché (délais de livraison, quantités approvisionnées, etc.), en d'autres termes à la chaîne logistique.

De plus, la production et la distribution de carburants ne dépend pas seulement de la demande provenant des stations-services, mais aussi celles émanant de certaines entreprises et institutions, dont le domaine d'activité nécessite un approvisionnement en carburant quotidien et à grande quantité. Ces dernières peuvent concerner plusieurs secteurs très divers, à savoir le transport fluvial de marchandise, le transport aérien, la navigation maritime, les exploitants agricoles, les usines concessionnaires de production d'énergie électrique, les boulangeries, les artisans, les établissements hospitaliers, l'armée, les unités de dessalement d'eau de mer, et les

Introduction générale

autres industries. Les carburants sont aussi présents dans les domiciles pour l'utilisation des chaudières, des tondeuses à gazon, des réchauds à gaz butane, etc. La diversification de la demande, et la variété des types de carburants rend l'activité des producteurs et des distributeurs, encore plus complexe, ce qui nécessite une structure appropriée et une planification adéquate.

En vue des contraintes, il est nécessaire pour la station-service de maîtriser les paramètres internes en adaptant un système de prise de décision adéquat qui permettra de déterminer les écarts entre les paramètres actuels et les paramètres optimaux, les analyser, les expliquer puis les maîtriser et/ou les améliorer. Ainsi la station assurera un meilleur taux de service, et par conséquent une meilleure réactivité. Ce qui nous amène à nous poser comme question : En fonction des ressources existantes, comment améliorer la réactivité de la station-service? Quant au distributeur, il devra couvrir tous les paramètres de la chaîne logistique qui la caractérisent, à savoir, les coûts engendrés, les fréquences de transport, les contraintes techniques par rapport au transport, etc. Une solution plausible serait donc, d'élaborer un modèle qui nous permettra une meilleure maîtrise et optimisation des flux qui soit adaptés au contexte réel dans lequel évolue cette chaîne. En d'autres termes, que serait ce modèle qui optimisera la performance du distributeur et quelle serait sa solution ?

Cette problématique est d'autant plus visible dans les stations-services en Algérie qui interagissent avec NAFTAL filiale de SONATRACH et qui représente le principal distributeur de carburant dans le pays.

Pour se faire, en tenant compte des demandes journalières exprimées par la station-service, la disponibilité de l'information en temps réel est exigée. Il est donc nécessaire d'avoir recours à un système technologique IoT qui nous permettra la collecte, l'analyse et l'exploitation de données afin de déterminer le comportement de la demande ainsi que les mesures à prendre pour l'optimisation des paramètres internes et externes.

Pour se faire, le présent travail a été structuré en trois chapitres comme suit :

Le premier est dédié à la présentation de l'entreprise où le projet de fin d'études a été mené, à savoir « Algeria Smart Grid », qui avait comme objectif l'optimisation de la performance de la station-service qui se situe au niveau de Garidi. Nous présenterons donc cette station, ainsi que son unique distributeur « NAFTAL » auquel elle est étroitement liée. Puis, nous élaborerons un diagnostic afin de détecter les éventuelles pistes d'améliorations de la station-service.

Le deuxième chapitre permet de cerner le cadre théorique de notre étude, qui concernera les principaux concepts de la chaîne logistique ainsi que les outils nécessaires à l'optimisation de cette dernière, à savoir le recours aux outils de prévision, de planification de la demande et de gestion de stocks, ainsi que l'apport et la mobilisation des technologies IoT.

Quant au troisième chapitre, il sera consacré, d'une part, à la résolution des problèmes de gestion internes que rencontre la station-service à savoir, les ruptures de stocks, les sur-stockages, ainsi que les arrêts de la station dus aux réapprovisionnements en carburant, et aux

Introduction générale

problèmes d'optimisation de la Supply Chain aval que rencontre le distributeur de la station-service d'autre part.

Enfin, une conclusion générale qui synthétisera notre travail et présentera les différentes perspectives afin d'anticiper sur des projets futurs.

Chapitre 1

Présentation des entreprises et état des lieux

I- Introduction

Le présent projet a été effectué au sein de l'entreprise « Algeria Smart Grid », qui a eu pour mission d'optimiser la rentabilité de la station-service de « Garidi, Alger ». Cette optimisation s'étend de sa gestion interne à l'optimisation de la distribution en amont de cette station (gestion externe). Après avoir présenté les entreprises auprès desquelles, nous avons intervenu dans le cadre de notre travail: Algeria Smart Grid, SARL Garidi et NAFTAL, nous passerons à l'essentiel de ce chapitre, qui est la détection des pistes d'améliorations dans la station-service, prenant comme point de départ l'analyse des ventes de cette dernière.

II- Présentation des entreprises

Nous présenterons dans cette partie, les entreprises auxquelles nous avons apporté notre contribution, à savoir Algeria Smart Grid (ASG), la station-service SARL Garidi et enfin le distributeur des carburants algérien NAFTAL.

II-1- Présentation de l'entreprise Algeria Smart Grid (ASG)

A.S.G est une société de droit Algérien créée en mars 2012 par Mr Nacer GREFFOU, et qui se positionne sur le marché des services énergétiques (ESCO) et des services liés aux mesures en temps réels et aux performances des systèmes énergétiques et industriels.

propose un éventail de solutions, comprenant :

- **L'intégration de solutions Smart Grid :**
 - Évaluation et mesure des impacts de l'injection d'énergie nouvelles sur les réseaux, ou d'appels de puissance de sites industriels, Mesure de la Qualité de l'Énergie ;
 - Comptage dynamique et compteurs intelligents ;
 - Automatisation de procédés de production industrielle.
- **L'implémentation de Solutions de Mesures en temps réel et Wireless :**
 - Monitoring à distance et analyse de données ;
 - Gestion en ligne des stocks liquides, Mesure des pressions ... ;
 - Détection de fuites dans les conduites, débits, Optimisation des flux, et Workflows.

A ce titre, ASG intègre :

- L'expertise nationale comme un atout qui permet de proposer des solutions optimisées pour atteindre les meilleurs niveaux de performances techniques et économiques.
- Des Projets Pilotes et des partenariats avec des grands acteurs industriels ayant une expertise complémentaire (bâtiments intelligents_intégration informatique_interfaces utilisateurs industriels etc.
- Parallèlement, ASG participe activement à la diffusion et au partage de l'expertise et de l'expérience, y compris Key Note speeches, coaching de Start Up et le Mentoring

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

d'ingénieurs (ENP_EMP_USTHB.) de façon à préparer l'avenir et de relever les défis qui attendent notre pays.

Le projet le plus récent de l'entreprise ASG est l'installation du système ATG présenté comme suit :

Le système ATG (Automatic Tank Gauging) permet de mesurer le niveau de liquide dans les cuves de stockage et d'effectuer un état de rapprochement des stocks en temps réel (WSR Wet Stock Reconciliation). Le système comprend une sonde magnétostrictive ou sondes de pression, des dispositifs de transmission et une console informatique.

La Console Fuel-Prime gère la collecte, le traitement et l'affichage des données d'une station-service pour en fournir une vue d'ensemble. Une alarme est intégrée et aide à garder le personnel au courant dans les situations d'urgence.

Des interfaces matérielles et logicielles multiples permettent de connecter divers dispositifs externes (par exemple contrôleur ATG, contrôleur de distribution, POS, capteurs de fuite, sirène d'alarme, imprimante).

Le schéma de la figure1 :Installation du système Fuel-Prime, décrit l'installation de du système qui se fait comme suit:

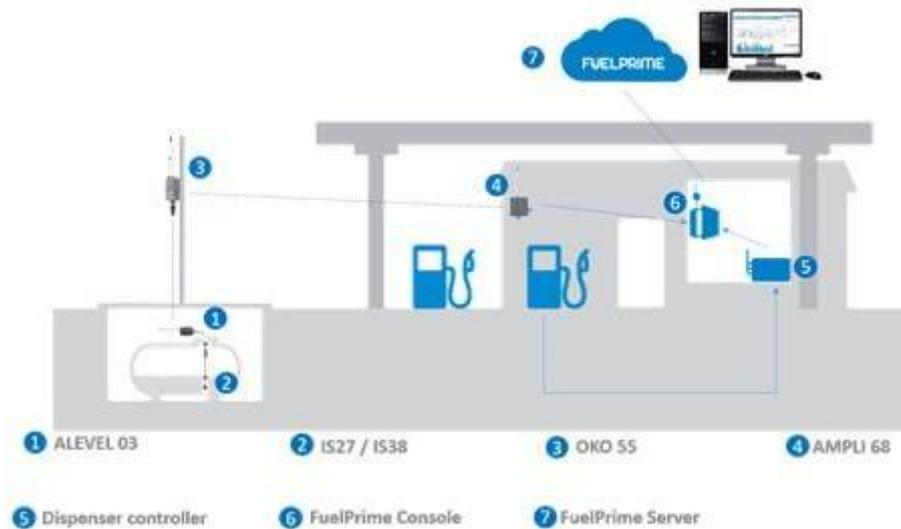


Figure 1: Installation du système Fuel-Prime

Le système est basé sur des sondes de pression (voir Annexe 1) (notée IS27) ou magnétostrictives (notée IS38) (2). Ces dernières seront connectées au dispositif ALEVEL 03 (voir Annexe 2) (1) qui recueille les mesures de la sonde et transmet les données par radio (433MHz) à OKO 55 (voir Annexe 3) (3). Cet appareil peut collecter des données à partir de 5 appareils ALEVEL 03 au maximum.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

L'OKO 55 retransmet les données à l'AMPLI 68 (voir annexe 4) (4) connecté à la console Fuel-Prime (6). Si la station est équipée d'un contrôleur de distribution (5) supporté par la console FP (voir annexe 5), elle peut également être connectée.

La console FP recueille par la suite et calcule les données de toutes les sources présentées et les envoie au serveur dédié Fuel-Prime (4). Les données seront présentées dans le portail auquel on peut accéder depuis n'importe quel appareil connecté à Internet.

La console peut également être utilisée localement (avec un moniteur externe ou intégré) pour surveiller le niveau du réservoir, l'état de rapprochement des livraisons et (s'il est connecté au contrôleur du distributeur) au contrôle des ventes.

L'entreprise Algeria Smart Grid a choisi la station-service de Garidi pour la première application de ce système en Algérie. Nous utiliserons les données fournies par cette technologie, à savoir le niveau de stocks en temps réel des carburants en cuves, comme base d'analyse puis de résolution des problèmes détectés à partir du diagnostic établi à la station-service en question.

II-2- Présentation et état des lieux de la station-service de GARIDI

La station-service de Garidi située à Kouba au niveau de la rocade d'Alger, est une station privée indépendante construite sur une superficie de 16 000 m². C'est une société à responsabilité limitée (SARL) dotée d'un chiffre d'affaire de 1 000 000 400 (Da). Elle a été fondée juridiquement en 1989, mais a débuté officiellement son activité le 1 octobre 1992. Cette activité fut principalement la commercialisation en détail des carburants-terres et gaz de pétrole liquéfié. Les principaux clients de cette station sont les automobilistes, les chauffeurs de bus, d'engins, de motos, etc., son unique distributeur est l'entreprise nationale « NAFTAL-Algérie » chargée de l'approvisionnement de la station de tous types de carburants commercialisés.

II-2-1- Etat des lieux de la station-service de GARIDI

- Services proposés par la station-service :
 - La commercialisation des quatre types de carburants (Gas-oil, sans plomb, super, GPL).
 - Services de vidanges et de graissages
 - Services de vulcanisations des pneus
 - Services après ventes : Réparations mécaniques, scanners, réparations et remplacements de pare brises, etc.
 - Restauration et cafétéria.
- Les moyens humains mises à dispositions de la station-service sont illustrés dans la Figure 2 comme suit :
 - Un gérant et un co-gérant représentant les propriétaires de la station-service
 - Un responsable logistique : Chargé de la prise de commande, du choix de la politique de réapprovisionnement, de la réception de la livraison, de la gestion des stocks (niveau de stock des cuves), etc.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

- Un responsable administratif : S'occupe de la coordination entre ses différents services de la station, s'occupe de la facturation des commandes, l'émission de bons de commande, de la rémunération des employés, etc.
 - Un ingénieur informatique
 - 24 pompistes répartis en 3 groupes, travaillant un nombre fixe d'heures par jour.
 - 3 employés chargés de la vulcanisation.
 - 2 employés chargés de la vidange.
 - 8 agents de sécurité répartis en deux groupes (un groupe de jour et un groupe de nuit).
 - 2 employés chargés du lavage automobile.
- Quant aux moyens matériels, la station dispose de:
- 6 cuves souterraines contenant des carburants-terres (2 cuves pour chaque type).
 - Une cuve en surface contenant du gaz de pétrole liquéfié (GPL).
 - 6 volucompteurs dédiés au gasoil, 4 au super, 4 au sans plombs et 2 consacrés au GPL.
 - Un bâtiment construit sur deux niveaux tel que : Le premier niveau est dédié aux infrastructures hors vente de carburant (vidange, lavage auto, vulcanisation, etc.). Quant au deuxième niveau, il est consacré aux bureaux administratifs.

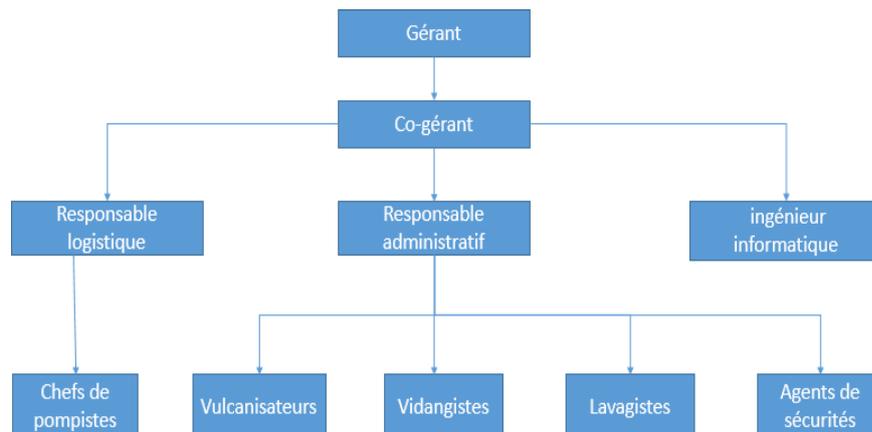


Figure 2: Organigramme de la station-service

II-2-2- Politique de réapprovisionnement de la station-service

La politique de réapprovisionnement de la station-service dépend du type du carburant. En effet, celle appliquée aux carburants-terres concerne la politique VF « quantités variables et périodes fixes ». Quotidiennement, le responsable logistique de la station-service estime la quantité à commander pour chaque type de carburant. Cette estimation se fait suivant le niveau des stocks mesuré chaque matin et leurs prévisions de la consommation durant la même journée. Cette prévision se fait suivant la moyenne des historiques de ventes, sans avoir recours à un modèle de prévision précis. Cette méthode est considérée la plus optimale par la station compte tenu de son expérience dans le domaine. Par conséquent, elle ne maîtrise pas totalement sa demande et s'expose souvent à des erreurs d'estimation (Un grand écart entre la quantité

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

estimée et la quantité réelle). Une fois avoir déterminé la quantité à approvisionner, la station-service lance une commande auprès de son distributeur, ayant pour données les quantités pour chaque type de carburant-terre ainsi que le jour de réception prévu. Cette commande est lancée quotidiennement et réceptionnée le jour suivant. A l'exception du jeudi, où elle est lancée pour les trois jours suivants (une commande à réceptionner le vendredi, une autre le samedi et une dernière le dimanche). Ce regroupement est due à l'absence de l'activité du service administratif de NAFTAL.

Quant à la politique de réapprovisionnement du GPL, étant donné le nombre réduit des stations pouvant commercialiser ce type de carburant (raison de sécurité), la station n'a pas d'autre choix que d'adopter une politique imposée par NAFTAL, qui est une politique de complètement périodique. C'est-à-dire, un camion dédié à la distribution du GPL, uniquement, fait une tournée quotidienne pour compléter le niveau de gaz de la cuve. Par conséquent, la station n'a pas à lancer de commande ni de prévoir ses ventes.

La différence entre les deux politiques cités précédemment (entre les carburants-terres et le GPL), est liée aux caractéristiques des camions citernes du distributeur de la station. En effet ces derniers sont compartimentés pour ceux dédiés à la distribution du carburant-terre, les compartiments n'ayant pas un débitmètre, ils doivent être vidés entièrement pour réapprovisionner les cuves. La capacité de ces compartiments doit donc correspondre aux quantités commandées par les stations. Contrairement aux camions citernes consacrés au GPL. En effet, ces derniers possèdent une jauge, qui indique le niveau de pression de la quantité présente dans la citerne. Ainsi, la quantité approvisionnée, peut être déduite à partir des données de la jauge. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de compartimenter ce camion, ni de lancer une commande indiquant les quantités à approvisionner par les stations-services.

II-3- Présentation et état des lieux de l'entreprise « NAFTAL-Algérie »

Avant la mondialisation des hydrocarbures, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers en Algérie dépendaient entièrement des grandes sociétés multinationales telles que « ESSOS », « SHELL », et « BRITISH PETROLIUM ».

Créé par le décret N°80101 du 06 avril 1980, l'entreprise « ERDP-NAFTAL » est entrée en activité le 1er Janvier 1982. Elle est chargée de l'industrie du raffinage et de la distribution des produits pétroliers.

En 1987, l'activité de raffinage est séparée de l'activité de distribution par le décret N°87199 du 27 Aout en deux entreprises :

- NAFTEC : chargée du raffinage du pétrole.
- NAFTAL : chargée de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers.

NAFTAL est une entreprise algérienne, filiale à 100 % de SONATRACH dotée d'un capital social de 15 650 000 000 (DA). Elle est chargée de la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien et tunisien. Elle est spécialisée dans la conception, l'élaboration et la distribution de lubrifiants pour moteurs (deux-roues, automobiles et autres véhicules).

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Les principales missions de NAFTAL sont :

- Organiser et développer l'activité de commercialisation et de distribution des produits pétroliers et ses dérivés ;
- Stocker, transporter tous les produits pétroliers commercialisés sur le territoire national ;
- Veiller à l'application et au respect des mesures relatives à la sécurité industrielle, la sauvegarde et la protection de l'environnement ;
- Procéder à toute étude de marché de consommation des produits pétroliers.
- Définir et développer une politique en matière d'Audit ;
- Concevoir et mettre en œuvre des systèmes d'informations ;
- Développer et mettre en œuvre les actions visant à une utilisation optimale et rationnelle des moyens et infrastructures ;
- Veiller à l'application et au respect des mesures liées à la sûreté interne de l'entreprise, conformément à la réglementation.

II-3-1- Etat des lieux de NAFTAL-Algérie

Pour accomplir ses missions, NAFTAL dispose d'un potentiel humain et matériel considérable qui se compose comme suit :

- a- Potentiel humain : Le personnel mis à disposition de cette entreprise est constitué de 27915 agents dont :
 - 20189 agents permanents représentant 72,3 % de l'ensemble des agents. Ils sont répartis en:
 - 2615 cadres (13 % des agents permanents).
 - 7394 maîtrises (36,6 % des agents permanents).
 - 10180 exécutions (50,4 % des agents permanents).
 - 7726 agents temporaires qui représentent 27,7 % de l'ensemble des agents. Ils sont répartis en :
 - 437 cadres (5,6 % des agents temporaires).
 - 1149 maîtrises (14,9 % des agents temporaires).
 - 6140 exécutions (79,5 % des agents temporaires).
- b- Potentiel matériel : Pour assurer sa mission principale de distribution et commercialisation des carburants, l'agence commerciale s'est dotée d'un parc de transport réparti comme suit :
 - 67 centres de dépôts de distribution et de stockage de carburants, lubrifiants et de pneumatiques.
 - 44 usines d'emplissage GPL.
 - 16 unités de formation de bitumes.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

- 55 dépôts de ravitaillement d'aéronef et centres marins.
- 59 dépôts relais de stockage GPL.
- 576 stations-services dont 901 privées avec 80 % de la consommation nationale des produits pétroliers sont commercialisés à travers le réseau stations-services.
- 3250 véhicules de distribution et 1750 engins de manutention et de maintenance.
- 14550 points de ventes de GPL.
- 380 Km de pipe-lines multi-produits et de GPL.

L'organisation de NAFTAL illustrée dans l'organigramme de la Figure 3 se fait comme suit :

- Direction générale : Chargée de la politique et des orientations générales, de la coordination et de la cohérence du groupe de pilotage. Elle est assurée par un président directeur général assisté par :
 - Un comité exécutif
 - Un comité directeur
 - Des conseillers
- Direction exécutive : Chacune dans son domaine d'activité, sont chargées de :
 - Définir la politique et la stratégie de la société
 - Anticiper les tendances
 - Concevoir et mettre en place les instruments de pilotage et les outils de contrôles
 - Assurer et assister à la coordination et la cohérence de groupe.
 - Assurer les structures opérationnelles (branche commercialisation, branche carburant et branche GPL)
- Direction centrale : C'est un centre d'expertise (estimation) pour les activités marketing, recherche et développement d'audit (analyse et contrôle de la gestion et de la comptabilité de l'entreprise,)
- Direction de soutiens : Assure la gestion administrative du siège social de la société.

Les différentes structures opérationnelles reposent sur trois principales branches :

- i- Branche carburant : Elle est constituée de 10 districts (composé d'un nombre défini de dépôts de carburant), des dépôts d'aviation et des centres marine.
- ii- Branche commercialisation : Elle est constituée de 12 districts (regroupant un nombre défini de centres de distribution, de centres lubrifiant/pneumatique et d'un réseau stations-services).
- iii- Branche GPL : Elle est constituée de 19 districts regroupant un nombre défini de centres vrac, de centres emplisseurs et de dépôts relais.

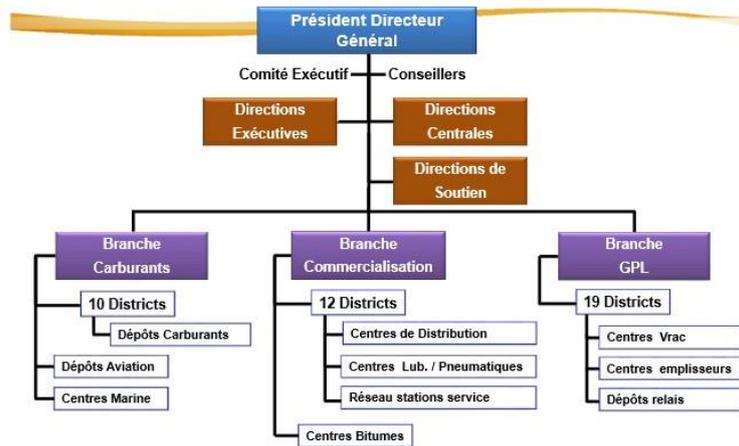


Figure 3: Organigramme de l'entreprise NAFTAL

II-3-2- Présentation de la branche carburant

La Branche carburant est l'une des structures opérationnelles de NAFTAL. Elle est chargée des activités d'approvisionnement, de stockage et de livraison des carburants Aviation (Jet-A1 et Methmix), Marine (Gas-oil et fuel-oils) et Terre (Essences Super, normal et sans plomb, Gas-oil), ainsi que les lubrifiants et graisses aviation et marine. NAFTAL possède 57 centres et dépôts de distribution et de stockage de carburants, dont deux au district d'Alger (kharouba et El-Harrach). Selon l'organisation de NAFTAL, une branche carburant regroupe différentes divisions, regroupant à leurs tour différents districts constitués de plusieurs centres carburants.

Notre étude sera limitée au niveau du district carburant terre. Les missions et tâches de ce dernier est de :

- Diriger et contrôler les dépôts carburants et veiller à la maintenance de canalisations et matériels roulants.
- Gérer les flux « approvisionnement » et « ravitaillement » du produit à destination des dépôts qui lui sont rattachés.
- En plus des tâches mentionnées, certains districts comme Bechar, Ouargla et Batna, se chargent de l'activité de distribution.

Quant au centres de carburants, le chef de centre carburants, sous l'autorité de son district est chargé de :

- Gérer, contrôler et mesurer les flux, en quantité et qualité, de produits carburants, à destination et au départ de son centre ;
- Assurer la maintenance et la sécurité industrielle des installations et autres moyens du centre ;
- Etablir et contrôler la journée comptable.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

L'infrastructure de la branche carburant de NAFTAL est divisée en 3 activités distinctes :

- Activités Aviation : 28 Centres et dépôts Aviation opérationnels
- Activités Marine : 06 Centres Marine opérationnels ;
- Activités CBRT : 24 dépôts carburants terre ;

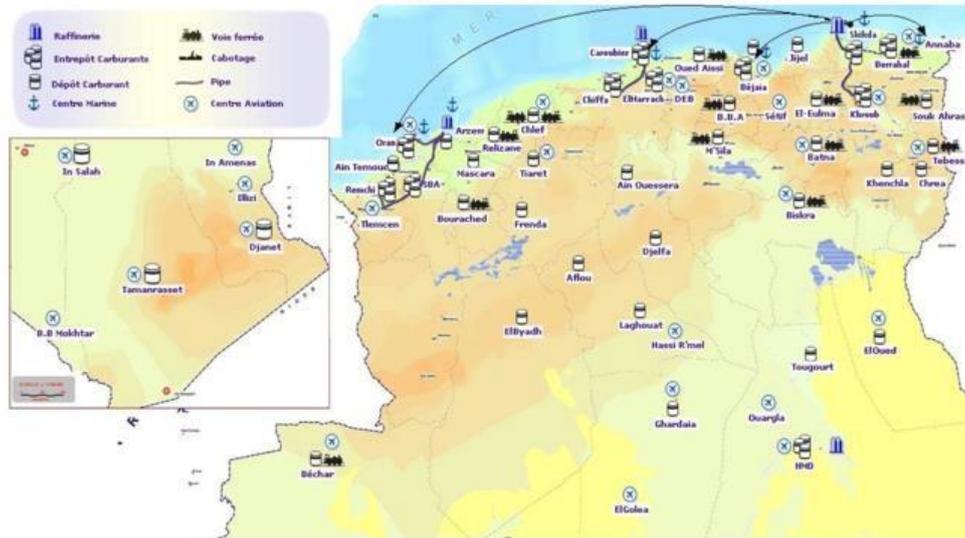


Figure 4: Répartition des activités de la branche carburant de NAFTAL (Boumazza, 2015, p 9)

II-3-3- Politique de distribution de NAFTAL

NAFTAL, est une entreprise de distribution et de commercialisation, des produits pétroliers, son objectif est de rapprocher ses produits à ses clients par son propre moyen ou bien par des moyens privés. La clientèle de NAFTAL est classée en deux grandes catégories :

- **Clientèle réseaux** : Cette clientèle se divise en plusieurs parties, en fonction de ses liens juridiques avec NAFTAL
 - Stations-services en Gestion Directe (GD) : ce sont des stations gérées directement par NAFTAL à l'aide d'un personnel salarié.
 - Stations-services en Gestion Libre (GL) : ce sont des stations appartenant à NAFTAL dont les fonds de commerce sont confiés en location gérance à des particuliers.
 - Points de Ventes Agréés (PVA) : stations-services réalisées entièrement par des investisseurs.
- **Gros consommateurs** : Ce sont principalement des consommateurs disposant de grandes capacités de stockage (clients qui disposent des bacs ou réservoirs pour stocker le produit).
 - Les entreprises publiques et privées
 - Les administrations et les collectivités locales;
 - Les hôpitaux ;
 - La défense nationale ;
 - Le secteur agricole, domestique, etc....

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Le processus du traitement de la commande se fait comme suit :

a- La réception de commande:

Cette opération débute chaque jour à 8h00 du matin et fini à 13h00. La réception se fait par téléphone, par faxe, par bon de commande ou par présence des clients au sein de NAFTAL.

Après cette réception des commandes, elles sont enregistrées dans un formulaire FRC (formulaire réception commande). Ce dernier contient les différentes informations concernant les clients (nom, prénom, code client, quantité demandé, date de commande, nom de transporteur, nom de station). La satisfaction des commandes se fait un jour après (j+1), c'est-à-dire, les clients font leur commande et les reçoivent le jour suivant.

b- Le dispatching :

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

Pour se faire, il faut prendre en considération les points suivants:

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

Le plan se fait par un logiciel de dispatching qui donne l'affectation des camions aux stations-services. Ce logiciel n'étant pas optimal, une intervention humaine est donc indispensable.

c- La facturation :

Après avoir établi le plan de distribution, une copie de formulaire FRC est transmis au poste programmation, où un bon de sortie est envoyé à son tour, au poste de facturation pour obtenir un bon de livraison. Au niveau de la facturation, les opérations se font à l'aide du logiciel de dispatching qui fournit un formulaire se composant en deux parties :

- Partie facturation: Elle regroupe les informations qui concernent le client.
- Partie caisse: C'est la partie où le client paye sa facture.

La principale préoccupation de NAFTAL, est de satisfaire le consommateur final. Pour y parvenir, la société a naturellement eu recours à la distribution, assurant ainsi, la disponibilité des produits NAFTAL sur le marché, en mettant en place une politique de réapprovisionnement basée sur un circuit de distribution direct au client final, comme illustré dans la Figure 5. Dans ce circuit, l'entreprise a un contrôle total et direct sur toutes les fonctions de la distribution. La société vend directement ses produits aux clients finaux à travers ses GD, GL et PVA. Pour y

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

parvenir, le consommateur doit signaler sa volonté d'acheter un produit NAFTAL (lancement prise de commande)



Figure 5: Circuit de distribution direct de NAFTAL

Ce type de circuit présente des avantages pour NAFTAL comme pour ses clients :

- NAFTAL a un contrôle direct sur la distribution ainsi qu'une maîtrise de la vente, du fait qu'elle soit en contact direct avec les consommateurs finaux;
- Elle a le libre choix de mettre en œuvre la stratégie de distribution qui lui paraît la mieux appropriée;
- Elle peut saisir rapidement les réactions du marché, ce qui lui permet de modifier sa stratégie de vente;
- La rapidité de la distribution.

En revanche ce type de circuit engendre des coûts financiers faramineux, dû à la mise en place d'importants moyens logistiques, afin de garantir la distribution du carburant pour chaque station-service individuellement.

III- Diagnostic des flux et des pratiques

La station-service de GARIDI est considérée comme étant une station stratégique par la variété de services qu'elle propose, son ancienneté et son positionnement géographique (au niveau de la rocade sud d'Alger), elle se trouve dans l'obligation de satisfaire une demande colossale. Ce qui implique une maîtrise de la demande absolue.

L'activité de la station-service étant principalement la vente de carburant, la disponibilité de ce dernier est primordiale quant au fonctionnement de la station-service. L'unique source de réapprovisionnement étant son distributeur NAFTAL, elle dépend intégralement de l'organisation de ce dernier. La station-service se doit donc d'être réactive à la demande de ses clients par la disponibilité du produit. Le seul moyen d'agir sur cette disponibilité est l'optimisation de sa gestion interne, autrement dit, une intervention sur la maîtrise de la demande par une prévision fiable, une gestion optimale des stocks et une élimination des causes d'arrêts de la station.

Après nous être entretenues avec le responsable logistique de la station-service, nous avons été informé que la station n'arrivait pas à satisfaire l'ensemble de la demande des clients. Afin de détecter les causes de cette insatisfaction, certaines informations sur l'historique des flux entrants et sortants de la station en temps réel sont exigées.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Pour se faire, nous avons proposé de faire une analyse sur la variation des stocks du réservoir de diesel. Le choix de ce type de carburant a été imposé par la station-service, car il représente selon son gérant, le type de carburant le plus demandé par les clients. Par conséquent celui qui connaît des variations plus importantes de la demande et donc nécessite une gestion plus rigoureuse et précise. Ainsi, nous avons retenu l'historique du volume de carburant des deux cuves diesel donné par la plateforme « Fuel-Prime » (qui a été présentée plus en détail dans la 1^{ère} partie du chapitre) illustrés dans les Figures 6 et 7. Nous avons choisi un axe temporel d'une durée d'un mois (du 07/01/2019 au 07/02/2019) pour faciliter le cadre de notre étude.

Les résultats de l'analyse sont les suivants :



Figure 6: historique du réservoir diesel 1



Figure 7: historique du réservoir diesel 2

Les résultats de l'analyse sont les suivants :

- L'importante augmentation du volume du réservoir est dû à un approvisionnement qui se fait d'une manière journalière (comme nous pouvons le constater à partir de la durée écoulée entre deux pics successifs des deux Figures 6 et 7).
- La diminution progressive du volume du réservoir est dû à une consommation du carburant par les véhicules de type diesel. Ce qui correspond à une réalisation de vente.
- Le cas où le volume du carburant est constant, se traduit par l'absence d'activité de la station-service. En effet, la station n'est plus en activité de 23h00 à 6h00, ce qui explique la constance du volume.

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

- Les pics observés le 31/01/2019 et le 08/02/2019 (comme illustrés dans les deux Figures 6 et 7) ainsi que les quantités commandées et approvisionnées durant cette période sont synthétisées dans les tableaux suivants :

Tableau 1: Variation du niveau de stock du réservoir diesel 1 du 31/01/2019

	Quantité en stock le : 31/01/2019	Quantité commandée (Litres)	Quantité approvisionnée (Litres)	Capacité maximale (Litre)	Quantité minimale (Litre)
Diesel 1	3 552	-	15 000	48 000	3000
Diesel 2	3 925	-	15 000	48 000	3000
Total	7 477	41 000	30 000	96 000	6000

Tableau 2: Variation du niveau de stock du réservoir diesel 2 du 08/02/2019

	Quantité en stock le : 08/02/2019	Quantité commandée (Litres)	Quantité approvisionnée (Litres)	Capacité maximale (Litre)	Quantité minimale (Litre)
Diesel 1	4 834	-	20 000	48 000	3000
Diesel 2	3 398	-	15 000	48 000	3000
Total	8 232	41 000	35 000	96 000	6000

D'après les tableaux précédents, nous pouvons conclure, que les deux réservoirs étaient en ruptures de stocks sur les deux périodes. En effet, le réservoir diesel 1 contient seulement, 7.4% de la capacité de sa cuve, quant au réservoir diesel 2, il ne contient que 7.07% de sa capacité totale. Il est à noter que la station-service se considère en rupture de stock dès que le volume de ses cuves atteint les 10%.

Cette rupture était dû d'une part à une estimation incorrecte de la consommation journalière du diesel, et à la livraison tardive du carburant d'autre part. De plus, la quantité approvisionnée par leur distributeur NAFTAL, est différente de la quantité commandée. En effet, la capacité totale des cuves étant de 96 000 litres, la quantité approvisionnée le 31/01/2019 était de 30 000 litre pour une consommation de 26 556 litres et un lancement de commande de 41 000 litres, donc l'incertitude revient à l'instabilité de la quantité approvisionnée. Tandis que pour le 08/02/2019, nous remarquons que le délai de réapprovisionnement est très important 36h (la commande a été lancée le 07/02/2019 à 8h00 et a été réceptionnée le 08/02/2019 à 20h02), dans ce cas l'incertitude est due à l'instabilité du délai de livraison.

Il est à souligner que les cuves de la station-service ont une capacité réelle de 50 000 litres. Cependant, pour éviter toute explosion dû à une éventuelle sur pression des gaz, la station-service considère la capacité théorique de chacune de ses cuves à 48 000 litres, ce qui correspond à 96% de la capacité réelle.

- Les pics observés le 26/01/2019 et le 05/02/2019 ainsi que les quantités commandées et approvisionnées durant cette période sont synthétisé dans les deux tableaux suivants :

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Tableau 3: Variation du niveau de stock du réservoir diesel 1 du 26/01/2019

	Quantité en stock le : 26/01/2019	Quantité commandée (Litres)	Quantité approvisionnée (Litres)	Capacité maximale (Litre)	Quantité minimale (Litre)
Diesel 1	47 954	-	16 209	48 000	3 000
Diesel 2	47 896	-	24 696	48 000	3 000
Total	95 850	43000	40 905	96 000	6 000

Tableau 4: Variation du niveau de stock du réservoir diesel 2 du 05/02/2019

	Quantité en stock le : 05/02/2019	Quantité commandée (Litres)	Quantité approvisionnée (Litres)	Capacité maximale (Litre)	Quantité minimale (Litre)
Diesel 1	47 883	-	22 448	48 000	3 000
Diesel 2	47 927	-	25 563	48 000	3 000
Total	95 810	54000	48 011	96 000	6 000

D'après les deux tableaux précédents, nous pouvons conclure que les deux réservoirs diesel étaient en sur-stockage sur les deux périodes. En effet, le réservoir diesel 1 contient 99.7% de la capacité maximale, et de 99.8% pour le réservoir du diésel 2. Il est à noter que, pour des raisons de sécurité, la station se considère en sur stockage arrivée à un niveau de 96%, en se laissant une marge de 4% à laquelle une fois arrivée à ce niveau (100% de la capacité), la station est dans l'obligation d'arrêter le réapprovisionnement des cuves.

Tout comme les ruptures de stocks, le sur stockage est dû à la mauvaise estimation de la consommation. En effet, sur les deux périodes les quantités approvisionnées sont inférieurs aux quantités commandées : 40 905 contre 43 000 soit une différence de 2095 litre retournée le 26/01/2019 et 48 011 contre 54 000 litres. Donc, une différence de 5989 litres retournée le 05/02/2019. Sachant que la quantité maximale à réapprovisionner est de 48 000 litres par réservoir, et que tout dépassement de cette limite engendre un retour du carburant, des coûts supplémentaires causés par des pénalités doivent être versés au distributeur.

En plus de l'analyse faite sur la variation des stocks, nous avons établi un contact avec le gérant ainsi que le responsable logistique de la station-service. Ces derniers ont soulevé un dysfonctionnement qui engendre un manque à gagner qu'ils ont estimé à plus de 2 millions de dinars par an dû à la l'incertitude de la période de livraison, c'est-à-dire qu'entre le moment de la prise de commande et le moment de l'approvisionnement, la durée est indéterminée et très instable, c'est à tout moment de la journée que la distribution peut être assurée.

Pour approfondir les causes de l'instabilité des délais de livraisons, nous nous sommes rapprochées du distributeur NAFTAL de la station-service. Nous avons par la suite, pris contact avec le responsable du transport, qui nous a informé qu'ils planifiaient leurs tournées en utilisant un logiciel de dispatching, qui prend en compte principalement le paramètre FIFO (First In First Out) des commandes enregistrées, sans tenir compte de l'optimisation des distances. De ce fait, la planification nécessite plusieurs interventions humaines pour ajuster

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

l'organisation des tournées. Par conséquent, nous pouvons constater qu'il y a une sous-optimalité de la distribution.

De plus, généralement, les camions de distribution arrivent dans une période de la journée, où il y a le plus de clients, au lieu des horaires de fermeture de la station. Cela est d'autant plus pénalisant, car la station doit arrêter toute son activité pendant le déchargement, perdant, ainsi, un nombre important de clients potentiels, pendant une durée pouvant s'étendre à plus de 2h.

III-1- Calcul des pertes subies par la station-service

A partir du diagnostic établi précédemment, nous pouvons constater que les dysfonctionnements que rencontre la station-service sont liés à son organisation interne d'une part, soit la maîtrise de la demande, la gestion des stocks, et des arrêts de l'activité de cette station dû au réapprovisionnements. Et à la mauvaise organisation externe liée au distributeur d'autre part.

Pour estimer les coûts totaux supportés par la station-service, nous calculerons dans un premier temps, les coûts liés à la mauvaise gestion de stocks (rupture et sur stockage), puis les coûts les liés aux arrêts de la station dû aux réapprovisionnements. Pour se faire, nous introduisons les notations suivantes :

- *Créap* : Coûts non directs liés à l'arrêt de l'activité de la station-service en dehors des heures de fermeture (DA) ;
- *Crupt* : Coûts non directs engendrés par les ruptures de stocks (DA) ;
- *Csurst* : Coûts directs engendrés par les pénalités dû au sur stockage (DA) ;
- T_c : Taux de consommation par heure (Litre/heure) ;
- N : Le nombre moyen d'heures d'arrêt de la station hors service (heure);
- P_d : Prix de vente unitaire du diesel (Da/Litre) ;
- N_{hr} : Nombre d'heure en rupture de stock (heure);
- N_{surp} : Nombre de litres en surplus (Litres) ;
- P_L : Coût unitaire engendré par la pénalité (Da/Litre).

$$Crupt = T_c * N_{hr} * P_d; \quad (1)$$

$$Créap = T_c * N * P_d; \quad (2)$$

$$Csurst = N_{surp} * P_L; \quad (3)$$

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Application numérique :

Après avoir déterminé les dysfonctionnements de la station-service, nous avons calculé par la suite, le montant des coûts engendrés par les ruptures de stocks, des sur-stockages ainsi que des coûts liés aux arrêts de l'activité de la station-service du 21/01/2019 au 21/02/2019.

1- Calcul des pertes liés aux ruptures de stocks :

Ces coûts sont causés par la non disponibilité du produit à commercialiser. En effet, en cas d'absence de produit, la station-service n'est pas en mesure de satisfaire la demande des clients. Plus la durée de la rupture est importante, plus coûts correspondants sont conséquents. Ainsi, pour calculer ces pertes, il est nécessaire d'avoir comme données le taux de consommation par heure, ainsi que le temps passé en rupture de stock par la station-service, autrement dit, estimer le manque à gagner causé par la non disponibilité du produit.

Pour se faire, nous allons dans un premier temps, estimer le taux de consommation du diesel par heure, puis calculer la durée où la station-service est en rupture de stock.

1-1- Calcul du taux de consommation :

Pour calculer le taux de consommation, nous avons déduits à partir de l'historique des stocks du réservoir diesel 1, la consommation du diesel par heure. Nous obtenons la série chronologique « Consommation par heure » suivante :

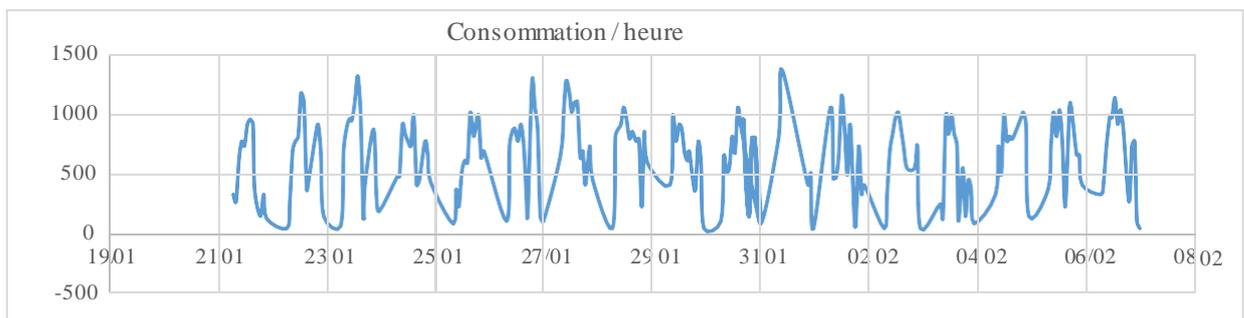


Figure 8 : Consommation par heure du diesel 1

Estimation du modèle :

$$Y_t = \Phi Y_{t-1} + b * t + c + \varepsilon_t ;$$

Φ : Paramètre de la racine unitaire ;

Y_t : Variable endogène ;

t : Variable exogène (temps) ;

b : Coefficient tendanciel ;

c : constante ;

ε_t : Variable erreur ;

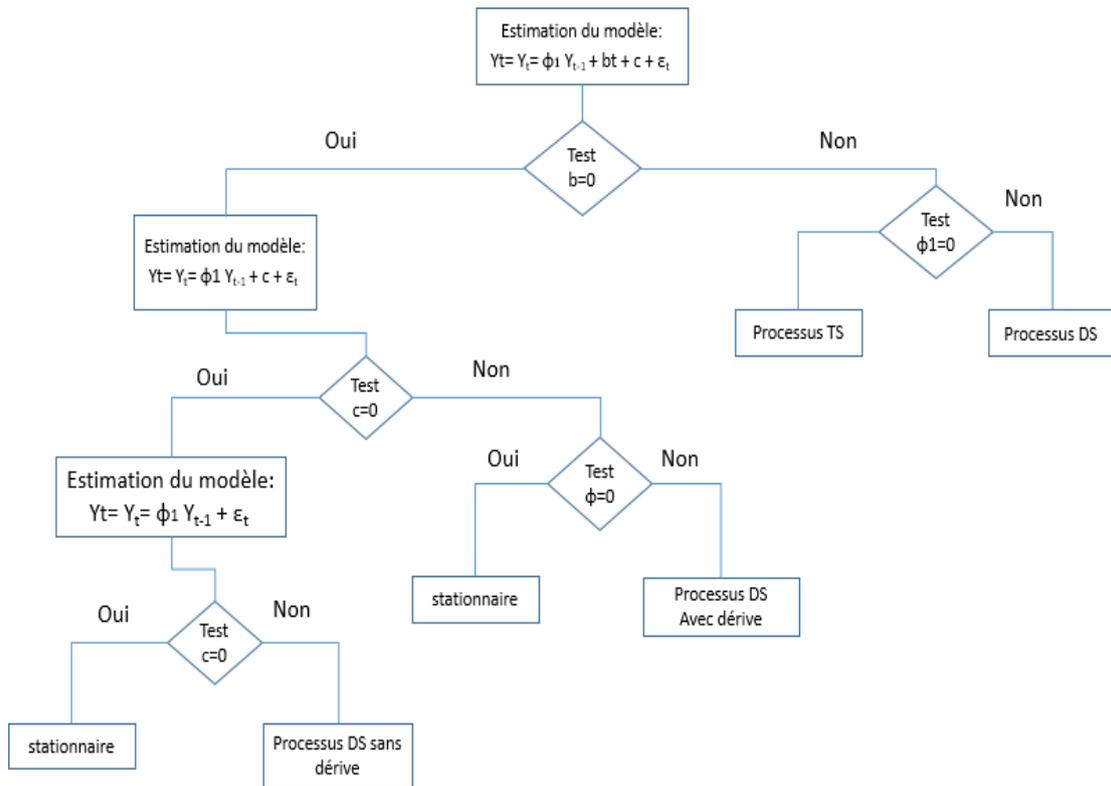


Figure 9: Test de racine unitaire

Afin de nous assurer de la stationnarité de la série chronologique, nous avons utilisé à partir du logiciel Eviews, le test de stationnarité de Dickey Fuller (Unit root test – Trend and Intercept) sur la série de base « Consommation par heure », qui nous a donné les résultats illustrés dans la Figure 10. Ces résultats peuvent être interprétés comme suit :

- Prob (@Trend) = 0,3968 > 0,05 ; donc $b=0$;
- Prob (C) = 0,000 < 0,05 ; donc $c \neq 0$;
- Prob (Augmented Dickey Fuller test statistic) = 0,000 < 0,05 ;
De plus, t-statistic (5%) = -3,46109 < t-tabulée = 1,96; donc $\phi=0$;

Nous pouvons conclure à partir des résultats donnés par les deux Figures 9 et 10 que la série chronologique répond aux critères de la stationnarité ($b=0$; $c \neq 0$; $\phi=0$).

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

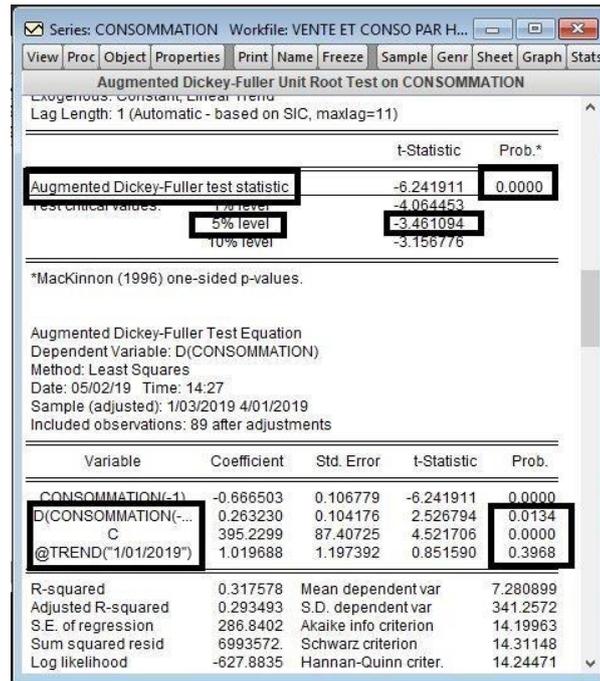


Figure 10: Résultat du test de Dickey Fuller

Une fois avoir vérifié la stationnarité, nous pouvons ainsi calculer la valeur du taux de consommation d'un réservoir comme suit :

$$T_{ci} = 624,03 \text{ litres/heures.}$$

T_{ci} : Taux de consommation par réservoir ;

i : L'indice du réservoir ;

$$T_c = 2 * T_{ci} = 1248,06 \text{ litres/heures ; (n= 2 réservoirs) ;}$$

Il est à noter que Les réservoirs de chaque type de carburant ont la même capacité, donc le même taux de consommation.

1-2- Calcul de la durée de la rupture de stock :

Afin d'obtenir cette donnée, nous nous sommes référées à l'historique des deux réservoirs de diesel (Figures 6 et 7 vu précédemment), pour connaître le niveau de stock à tout instant. Nous avons constaté que ce niveau est à son minimum pendant un laps de temps de 144 minutes. Ainsi nous obtenons la donnée relative au nombre d'heures passées en rupture de stock ($N_{hr} = 2,41$ heures).

1-3- Calcul des pertes liées à la rupture de stock :

Les coûts non directs causés par les ruptures de stocks durant le mois de janvier sont calculés comme suit :

- **Calcul des pertes liées à la rupture de stock du 31/01/2019 (Crupt1) :**

Données : $N_{hr} = 2,41$ heures ; $T_c = 1242,06$ (Litres/heure) ; $P_d = 23,06$ Da/Litre

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

$$\begin{aligned}Crupt1 &= T_c * N_{hr1} * P_d; \\ &= 2,41 * 1242,06 * 23,06 \\ &= 69\,072,632 \text{ Da} ;\end{aligned}$$

- Calcul des pertes liées à la rupture de stock du 08/02/2019 (Crupt2) :

Données : $N_{hr} = 1,5$ heures ; $T_c = 1242,06$ (Litres/heure) ; $P_d = 23,06$ Da/Litre ;

$$\begin{aligned}Crupt2 &= T_c * N_{hr2} * P_d \\ Crupt2 &= 1,5 * 1242,06 * 23,06 \\ Crupt2 &= 42\,962,855 \text{ Da} ;\end{aligned}$$

Résultat du coût total de rupture :

Les coûts engendrés par les ruptures de stocks durant le mois de janvier s'élèvent à :

$$\begin{aligned}Crupt &= Crupt1 + Crupt2; \\ Crupt &= 69072,632 + 42962,855 \\ Crupt &= 112\,035,487 \text{ Da}.\end{aligned}$$

2- Calcul des pertes liés aux sur stockages :

Lors de la distribution, si la quantité commandée est supérieure à la capacité des cuves, la station se trouve dans l'obligation de verser une pénalité sur le retour du camion en fonction de la quantité retournée. Comme vu précédemment (Figure 6 et 7), durant le mois de janvier, la station a connu deux périodes de sur stockage (Le 26/01/2019 et le 05/02/2019). Les résultats des pénalités de sur stockage sont donnés comme suit :

- Calcul des pertes liés au sur stockage du 26/01/2018 :

Données : Quantité commandée : 43 000 litres ; Quantité approvisionnée : 34450 litres ;
Prix unitaire de la pénalité par litre $P_L = 0,4 * P_d$ Da ; avec $P_d = 23,06$ Da

$$\begin{aligned}N_{surp1} &= \text{Quantité commandée} - \text{Quantité approvisionnée} ; \\ N_{surp1} &= 43\,000 - 34450 = 8550 \text{ litres} ; \\ P_L &= P_d * 40\% = 23,06 * 0,4 = 9,244 ;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{surst1} &= N_{surp1} * P_L ; \\ C_{surst1} &= 8550 * 9,224 = 78\,865 \text{ Da} ;\end{aligned}$$

- Calcul des pertes liés au sur stockage du 05/02/2019 :

Données :

$$\begin{aligned}N_{surp2} &= 41\,000 - 40730 = 1270 \text{ litres} ; \\ P_L &= 1270 * 9,224 = 11\,714 \text{ da} ;\end{aligned}$$

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Résultat total des coûts de sur-stockage :

Les coûts engendrés par les sur stockage durant le mois de janvier s'élèvent à :

$$N_{surp2} = N_{surp2} + N_{surp2} = 78\,865 + 11\,714 = 90\,579 \text{ Da.}$$

Les calculs effectués, relatifs aux ruptures de stocks et aux sur stockages, représentent des pertes qu'engendre un seul type de carburant pour une durée d'un mois seulement. De plus, le mois étudié dans notre diagnostic, ne comporte que deux périodes de ruptures et deux périodes de sur stockages. En accumulant ces pertes sur une durée de plusieurs mois, voire plusieurs années, pour tous les types de carburant, et en multipliant les éventuels risques de sur stockages ou de ruptures de stocks, ces pertes connaissent une amplification considérable pouvant atteindre la barrière des 10 millions de dinars. En optimisant la gestion des stocks, ces pertes se transformeront en gains pouvant être investis en infrastructures, salaires, recrutement, etc.

3- Les coûts indirects engendrés par les approvisionnements :

Pour des raisons de sécurité, la station-service se trouve dans l'obligation d'arrêter son activité durant toute la période du réapprovisionnement. Cet arrêt génère un manque à gagner, que nous avons calculé prenant comme référence, le mois janvier, comme suit :

$$Créap = T_c * N * P_d ;$$

$$N = 42.50 \text{ heures} ; T_c = 1242,06 \text{ Litres/heures} ; P_d = 23,06 \text{ Da} ;$$

$$Créap = 42,50 * 1242,06 * 23,06 ;$$

$$Créap = 1\,217\,280,903 \text{ Da.}$$

Les coûts relatifs aux arrêts de réapprovisionnement n'ont pas de liens direct avec la mauvaise gestion de la station-service en termes de prévision de vente, de maîtrise de la demande, etc. Mais a un rapport avec la disposition des zones de réception de commandes. Par conséquent il est possible d'éliminer la totalité de ces pertes en investissant dans l'une des solutions possibles (ces solutions seront plus détaillées dans le 3^{ème} chapitre),

4- Coûts totaux :

Le coût total supporté par la station-service durant le mois de janvier s'élève à :

$$CT = Créap + Crupt + Csurst ;$$

$$CT = 1\,217\,280,903 + 112\,035,487 + 90\,579 ;$$

$$CT = 1\,419\,895,39 \text{ Da}$$

La consommation totale du gasoil entre le 21/01/2019 et le 21/02/2019 de la station-service s'élève à : $Con_T = 1084642,75$ litres ;

Donc la recette totale des ventes s'élève à : $R_T = Con_T * P_d = 1084642,75 * 23,06 \text{ Da}$,
donc :

$$R_T = 2\,501\,1861,8 \text{ Da.}$$

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

Nous pouvons déduire que les pertes représentent 5,6% de la recette totale soit près de 6%. Ce pourcentage intègre les pertes du a la mauvaise maitrise des flux d'une part, et à la mauvaise disposition de la station-service d'autre part, que nous pouvons réduire voire éliminer, en ayant recours aux outils de gestion de stocks et aux investissements matériels.

Il convient de noter que les pertes subis par la station-service calculées précédemment ne représentent qu'un seul type de produit soit le gasoil, pour une période d'un mois. Ces pertes s'élèvent à près 1,5 million de dinars par mois pour le gasoil. Donc, prenant en considération tous les types de carburant, ces pertes subissent une amplification considérable pris en charge par la station-service.

III-2- Les pistes d'amélioration

D'après le diagnostic effectué précédemment les principaux problèmes que rencontre la station-service sont liés :

- A la maitrise de la demande ;
- A la gestion de ses stocks ;
- Aux arrêts de la station-service dû aux réapprovisionnements ;
- Aux retards de livraisons ;
- A la variation des quantités à approvisionner ;

Les pistes d'améliorations principales détectés lors de notre analyse sont de:

- Réduire les coûts engendrés par les ruptures de stocks ;
- Réduire les pénalités générées par les sur-stockages ;
- Stabiliser les délais de livraison ;
- Maitriser la demande et prévoir de manière optimale les quantités à commander ;
- Maitriser l'instabilité des quantités réapprovisionnés par le distributeur ;
- Réduire les temps d'arrêt de la station-service lors des réapprovisionnements.

IV- Problématique

La station-service de « Garidi », considérée comme une station stratégique, en vue de sa demande importante, de sa taille, de son positionnement géographique, et de sa variété de services, rend la gestion de cette dernière très complexe, et par conséquent, nécessite une gestion rigoureuse.

En effet, les pertes liées à la mauvaise gestion de cette station peuvent atteindre près de 6% de la recette des ventes totale. Ces pertes proviennent d'une part, de dysfonctionnements internes à savoir : la gestion des stocks peu adaptée à son activité, des écarts important entre les de prévision et les ventes effectives, le choix perfectible de la politique de réapprovisionnement, la compréhension plus fine de la demande. Et de dysfonctionnements

Chapitre 1 : Présentation des entreprises et états des lieux

externes d'une autre part, résultant d'une gestion non-optimale de la distribution de carburant, ce qui représente un facteur de risque que la station-service doit prendre en charge. Ceci nous amène à formuler les questions suivantes : Comment peut-on améliorer la performance de gestion de la station-service en terme de réactivité? Comment peut-on cerner la demande et anticiper la gestion des flux ? Et enfin, comment stabiliser les délais de livraisons du carburant provenant du distributeur en amont de la station-service ?

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre présent travail. L'objectif est de réduire voire éliminer les pertes subies par la station-service, ceci en agissant sur la maîtrise de la demande d'une part et sur l'instabilité du fournisseur d'autre part. Et ce, en instaurant les mesures de sécurité nécessaires quant à la disponibilité du produit en quantité et au moment voulu.

Pour répondre à cette problématique, nous allons dans un premier temps traiter la partie interne qui concerne la prévision et la gestion des stocks, puis la partie externe qui consiste à maîtriser et stabiliser les délais de réapprovisionnement ainsi que les incertitudes des quantités distribuées.

Chapitre 2

Etat de l'art

I- Introduction

L'objectif de notre projet est d'optimiser la chaîne logistique d'une station-service en agissant sur les différents paramètres qui la caractérisent. Ces paramètres concernent principalement la maîtrise de la demande, l'optimisation de la gestion des stocks et enfin l'optimisation de la chaîne logistique aval, à savoir la distribution du carburant. Pour se faire, nous présenterons dans un premier temps dans ce chapitre, d'une manière générale les concepts de la Supply Chain, puis les différentes notions et méthodes permettant l'optimisation de chacun des paramètres la caractérisant, à savoir les méthodes de prévision de la demande, les outils de la gestion des stocks et enfin, les outils d'optimisation de la distribution des carburants. Nous intégrerons aussi, l'impact de la disponibilité de la donnée en temps réel sur l'optimisation de la Supply Chain.

II- Concepts fondamentaux et optimisation de supply chain

II-1- Définition et structure d'une supply chain

Les définitions de la Supply Chain varient essentiellement selon les limites fixées de la chaîne logistique: Aux bornes de l'entreprise, des partenaires principaux, et entendues au réseau global. Nous pouvons distinguer trois grandes catégories de définition :

« Une chaîne logistique est le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients ». (Poirier et Reiter, 2001).

L'entreprise est l'élément fondateur de la supply Chain, dans ce cadre, une entreprise est une succession de fonctions, pouvant être assimilée à une chaîne logistique interne.

« Une chaîne d'approvisionnement est un réseau d'installations qui achètent des matières premières, les transforment en bien intermédiaires, puis en produits finis, et livrent les produits aux clients via un système de distribution. » (Lee et Billington, 1995).

La chaîne logistique peut aussi être définie de façon plus fonctionnelle. Elle s'étend du fournisseur au client : C'est un réseau d'installation qui assure, l'approvisionnement en matières premières, les transforme en composants puis en produits finis distribués aux clients.

"Un ensemble d'acteurs, où chacun est à la fois le client de l'acteur amont et le fournisseur de l'acteur aval, qui interagissent et enchainent un certain nombre de processus de façon cohérente" (Dupont, 2003).

La Supply Chain peut aussi être définie comme la chaîne logistique, intégrant le fournisseur des fournisseurs et le client des clients, elle est caractérisée comme un système dont les composants sont les fournisseurs, les usines de production, les services de distribution, et les clients. Ces composants sont reliés entre eux par des flux matières de l'amont vers l'aval, et des flux d'informations dans l'autre sens. Cette définition permet d'étendre son rôle au-delà des

Chapitre 2 : Etat de l'art

limites de l'entreprise, et de la chaîne fournisseur, entreprise, client. Nous pouvons ainsi définir Supply Chain comme un ensemble d'entités allant du premier fournisseur au dernier client.

Quant au Supply Chain Management (SCM), c'est une approche qui consiste, non pas, à optimiser chaque stade du processus indépendamment des autres, mais à rechercher une performance globale au profit du client final, par conception et pilotage d'un système intégré ou coordonné, où la priorité est donnée à l'optimisation de l'ensemble plutôt qu'à chacun de ses éléments pris séparément.

Comme nous ne pouvons pas atteindre tous les objectifs stratégiques simultanément, pour un niveau de qualité déterminé, il faut souvent faire le choix fondamental entre la recherche du coût total minimum et l'obtention de la meilleure flexibilité. (Fisher, 1997).

Il est important d'avoir une connaissance et une compréhension explicite de la configuration de la structure d'une chaîne logistique. Les trois principaux aspects structurels d'une chaîne d'approvisionnement sont les suivants :

- **Les membres de la Supply Chain** : Ce sont les entités intervenant tout au long de la chaîne logistique. Les entités qui génèrent le plus de valeur sont considérées comme membres focales. Quant aux entités restantes de la chaîne logistique, elles représentent les membres de soutiens.
- **Dimension structurelle** : Cette dimension concerne le nombre d'échelons de chacune des supply chain amont et aval (structure verticale), et le nombre d'entités par échelon (structure horizontale).
- **Type de liens** : Il existe quatre types de liens en fonction de l'importance de la gestion et l'intégration des processus de l'entreprise focale : Liens des processus gérés (processus jugé important à intégrer et gérer), non-gérés (les processus ne sont pas jugés important à intégrer), contrôlés (processus moins importants mais devant être gérés d'une manière appropriée), et enfin des processus des non-membres (processus externe à la supply chain ayant un impact indirect).

La structure de la Supply chain (selon Lambert et al., 1998) est illustrée dans la Figure 11.

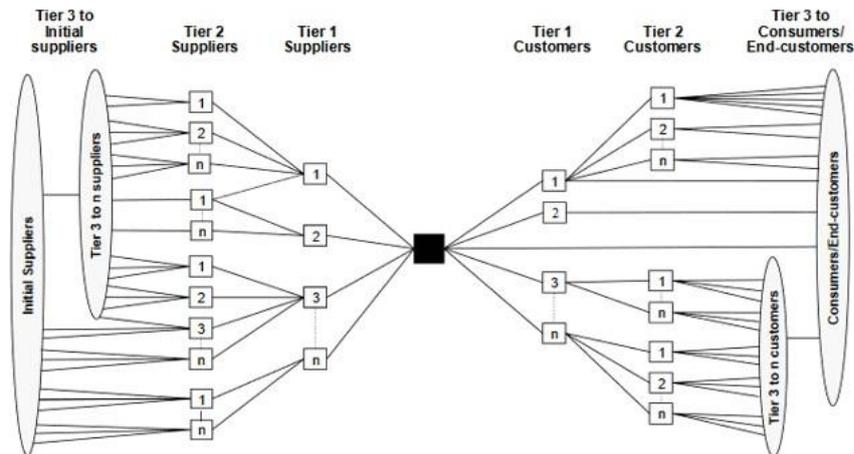


Figure 11: Structure d'une Supply Chain (Lambert et al., 1998)

II-1- Jeux et niveaux de décisions de la supply Chain

L'amélioration de la performance de la supply chain passe nécessairement par la maîtrise des flux physiques et financiers mais aussi par des flux d'information qui innervent les réseaux de circulation de ces deux derniers, permettant ainsi l'interaction et la coordination entre les différents maillons de la chaîne logistique, par conséquent, améliorer le taux de satisfaction des clients. Par ailleurs, l'amélioration de la performance de la supply chain dépend de la stratégie et des niveaux de décisions à adopter selon des objectifs déterminés, tout en tenant compte des différents enjeux qui caractérisent cette chaîne.

1- L'importance de l'information :

Etant donnée la complexité de la supply chain et son étendue, cette dernière nécessite l'utilisation de l'information circulant tout au long de la chaîne logistique qui permettra la coordination des différentes entités qui la constitue. Dans ce sens (Véronneau et al., 2008) souligne que : « *Les entreprises se doivent de concevoir de nouvelles structures pour assurer le bon fonctionnement de leur chaîne logistique mondiale. L'accès à des informations clés en continu qui facilitent la prise de décisions rapides et appropriées apparaît comme étant un atout essentiel pour les chaînes logistiques d'aujourd'hui* ».

En effet, la circulation et la bonne gestion des flux d'informations tout au long de la chaîne logistique va permettre de s'adapter, maîtriser ou comprendre la demande, et donc de conditionner le caractère stratégique de la supply Chain, ainsi que ses objectifs.

La supply Chain pourra donc faire face à la concurrence ardue du marché, en intégrant l'information.

Chapitre 2 : Etat de l'art

2- Enjeux de la supply chain :

Les modèles traditionnels de stratégie industrielle et logistique se sont complexifiés dans tous les secteurs, avec le développement de la compétition et la globalisation. Selon Bruel et *al.* (2005) les acteurs de la supply chain doivent faire face aux enjeux suivants :

- **Les prix / les coûts** : La pression permanente sur les prix, oblige les producteurs à améliorer régulièrement leur productivité et à revoir, en conséquence, leur organisation industrielle. Cette tendance les a amenés à agir sur tous les coûts.
- **La qualité des produits** : La qualité n'est plus vraiment un objectif dans la mesure où elle se présente comme un prérequis pour pouvoir être compétitif. La question ne se pose plus sous la forme du niveau de qualité à atteindre, mais plutôt de la qualité totale et du coût pour y parvenir.
- **Le délai de service au client** : Le délai se définit comme le temps s'écoulant entre la demande du client et la réception du produit commandé. Dans une entreprise industrielle, de services ou de distribution, pour l'utilisateur, le délai est plus souvent perçu comme le temps entre la constatation de son besoin et le moment où il peut commencer à le satisfaire. Cet écart intègre des opérations réalisées par le fournisseur (préparation de la commande, expédition, etc.), mais également des tâches internes (constatation du besoin, contact avec le service achats, passation de la commande, puis réception et contrôle).
- **La flexibilité** : C'est la capacité à réagir à des variations de la demande, soit à s'adapter aux variations de la demande en quantité ou au délai nécessaire,
- **Le niveau de service** : On entend par niveau de service la probabilité de satisfaire la demande dans un délai donné.

Ce sont ces enjeux qui vont nous permettre de concrétiser la stratégie concurrentielle à adopter, c'est à dire, la domination par les prix (et donc les coûts) ou différenciation.

3- Stratégies de la supply chain :

En vue d'un environnement complexe et dynamique, les organisations se doivent d'adopter des modes de fonctionnement leurs permettant une réactivité et une efficacité quasi immédiate, mais la stratégie à adopter diffère d'une supply Chain à une autre.

La nature de la demande est une clé essentielle pour bien choisir la stratégie concurrentielle, et atteindre, par a suite, un alignement stratégique. Une supply chain efficiente est plus appropriée en cas de demande prévisible, elle doit donc privilégier l'efficacité des flux de matières ou de services c'est à dire le maintien du stock à un niveau minimal. Compte tenues des marchés où la société évolue, les entreprises conçoivent des produits ou des services a longue durée de vie. Les nouveaux produits sont ainsi peu fréquents et de gammes limitées. Généralement ce type d'entreprise adoptant une supply chain efficiente, produit pour des

Chapitre 2 : Etat de l'art

marchés ou les commandes dépendent essentiellement du prix. Par conséquent les marges sur coûts variables sont faibles. Ainsi les priorités concurrentielles pour une entreprise sont des opérations à faibles coûts et une qualité constante tout en respectant les délais. En revanche pour la supply chain réactive, elle est plus adaptée lorsqu'une entreprise propose une large gamme de produits ou de services, et que la prévisibilité de la demande est faible. En outre, la demande peut être de courte durée, la supply chain réactive privilégie le temps de réaction de manière à éviter des stocks coûteux et rapidement obsolète. L'objectif de cette stratégie est d'améliorer le taux de services pour répondre au mieux aux exigences des clients, ce qui nécessite des coûts conséquents.

Chaque facteur de service entraînant une meilleure réactivité engage des coûts parallèles. Par conséquent, plus le niveau de réactivité augmente, plus les coûts liés aux services sont élevés (Chopra et Meindl, 2013) comme le montre la Figure 12.

Après avoir cerné la nature de la demande, et identifié les capacités de la supply chain en termes de respect des délais, d'amélioration du taux de service et de réponse à la variété des quantités demandées, il se doit de faire correspondre la réactivité de la chaîne logistique à l'incertitude implicite de la demande (la nature de la demande). L'objectif de cet alignement est de cibler une réactivité à une demande avec une incertitude élevée, et une efficacité pour une demande confrontée à une faible incertitude (Meindl & Chopra, 2001) comme le montre la Figure 13.

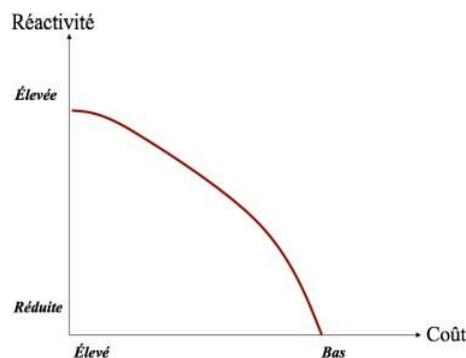


Figure 12: Coûts engendrés par la réactivité (Chopra et Meindl, 2013, p 38)

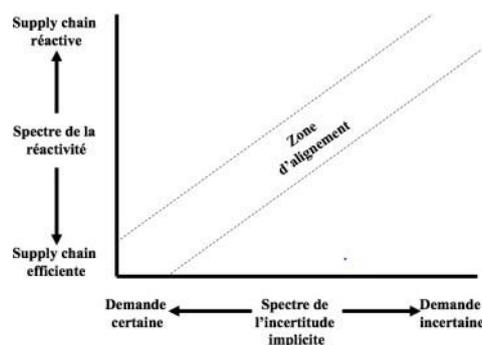


Figure 13: Réalisation de l'alignement stratégique (Chopra et Meindl, 2013, p 38)

Chapitre 2 : Etat de l'art

C'est dans ce cadre que nous pouvons définir la Supply Chain réactive comme étant la capacité à réagir de manière ciblée et dans un délai approprié à la demande du client ou aux changements du marché, afin de créer ou de conserver un avantage concurrentiel. Ou une stratégie efficiente dans le cas où l'accent était mis sur la réduction des coûts et qu'aucune ressource n'était gaspillée pour des activités sans valeur ajoutée. Chacune de ses deux approches présente des avantages concurrentiels en fonction du contexte dans lequel évolue l'entreprise (Minnich & Maier).

Une fois la stratégie concurrentielle choisie, vient son application. Ce qui implique des décisions à prendre tout au long de la chaîne logistique. Il est donc important de classer ces décisions selon la responsabilité et la nature de la décision.

4- Niveaux de décision de la supply chain :

La conception d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions. Ces dernières sont ordonnées sur trois niveaux hiérarchiques, nécessitant des compétences, des outils de gestion et de différents modes d'interventions. Les caractéristiques de chaque décision sont présentées comme suit:

- Les décisions stratégiques:

Les décisions stratégiques définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, une durée s'étalant souvent sur plusieurs années. Elles comprennent toutes les décisions de conception de la chaîne logistique. De ce fait, elles ont une influence importante sur la stratégie concurrentielle et donc sur la viabilité à long terme de l'entreprise. Ce sont ces décisions qui configurent la chaîne logistique. Elles sont généralement prises par la direction de l'entreprise.

- Les décisions tactiques :

Les décisions tactiques sont généralement prises sur un horizon de moins de 18 mois. Il s'agit de produire au moindre coût, pour des demandes prévisibles, avec connaissance des ressources matérielles et humaines. Cela consiste en effet, de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau stratégique.

- Les décisions opérationnelles :

Les décisions opérationnelles sont prises pour un horizon de très court terme, pour assurer la gestion des ressources et le fonctionnement au jour le jour de la chaîne logistique. Dans ce cadre, les entreprises ont besoin à tout moment de prendre des décisions avec un temps de réponse très court. La réactivité de la prise de décisions opérationnelles est un élément de mesure de la performance de la chaîne logistique. Au niveau opérationnel, la configuration de la chaîne logistique est déjà fixée, et les politiques de planifications déjà définies. Il y a moins d'incertitudes sur les informations concernant la demande car nous devons prendre les décisions en un laps de temps très court (minutes, heures, jours). Avec moins d'incertitudes, l'objectif à ce niveau est de répondre aux requêtes des clients d'une façon optimale en respectant les

Chapitre 2 : Etat de l'art

contraintes établies par les configurations et les politiques de planification choisies aux niveaux stratégiques et tactiques.

En raison de la complexité du problème d'optimisation de décisions, ces dernières sont traitées de manières séquentielles et hiérarchiques. Néanmoins, il est important de prendre en compte l'impact des décisions stratégiques sur les niveaux tactiques et opérationnel. En effet, la solution optimale d'un de ces niveaux dépend de la solution prise au niveau stratégique. De la même manière, les décisions opérationnelles et tactiques peuvent influencer la prise de décisions au niveau stratégique lors de la conception même de la chaîne. La Figure 14 illustre parfaitement cette hiérarchisation basée sur la portée temporelle des activités et sur la pertinence des décisions.

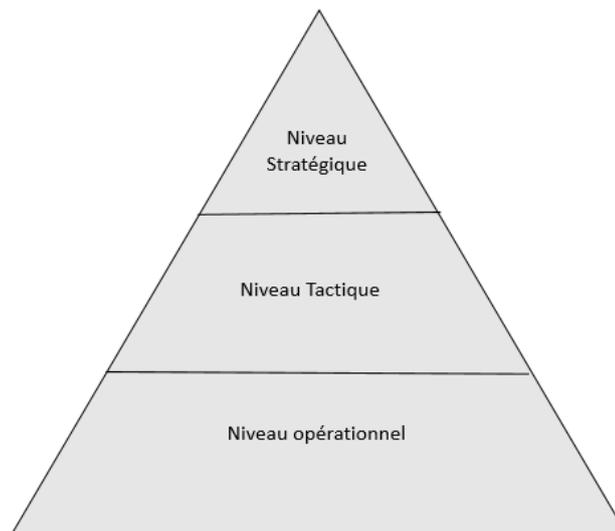


Figure 14 : Pyramide des niveaux de décisions

L'optimisation de la Supply Chain dépend de la synchronisation des flux d'informations, du choix de la stratégie à adopter, des différents enjeux qui s'y attachent, et niveaux de décisions à prendre tout au long de la chaîne logistique. C'est dans ce cadre, que nous présentons dans ce qui suit, la supply chain des stations-services qui s'étend jusqu'à son distributeur. Pour l'optimisation de cette dernière, il est nécessaire de synchroniser les flux d'informations (quantités commandées, délais de livraisons, type de carburant...) entre le distributeur et la station-service, d'adopter la meilleure stratégie permettant d'assurer la satisfaction du client final, tout en faisant face aux différents enjeux, à savoir le temps de réponse, la flexibilité, le niveau de service, la qualité du produit, etc. Enfin, de classer les décisions selon leurs portées tout au long de la chaîne logistique, et les responsabilités de ces dernières.

II-3- Optimisation de la supply chain des station services

La chaîne logistique en hydrocarbures est intégrée verticalement et couvre des activités allant de l'exploration à la transformation dans les raffineries, et à la distribution de produits avec un réseau logistique étendu. Toute la chaîne d'approvisionnement est divisée en amont et en aval. En vue de la complexité et des interactions de la chaîne logistique des hydrocarbures,

Chapitre 2 : Etat de l'art

une sous optimalité de l'un des maillons constituant cette chaîne peut impacter l'ensemble des activités de cette dernière.

Les activités en amont comprennent l'exploration, la production du pétrole brut, et le raffinage. Quant aux activités en aval, elles comprennent le stockage du carburant en entrepôts, le transport, et la distribution des différents types de carburants. La Figure 15: Structure e la supply chain dans le secteur des hydrocarbures (Ankalikar et al., 2013, p 3), illustre parfaitement ces propos :

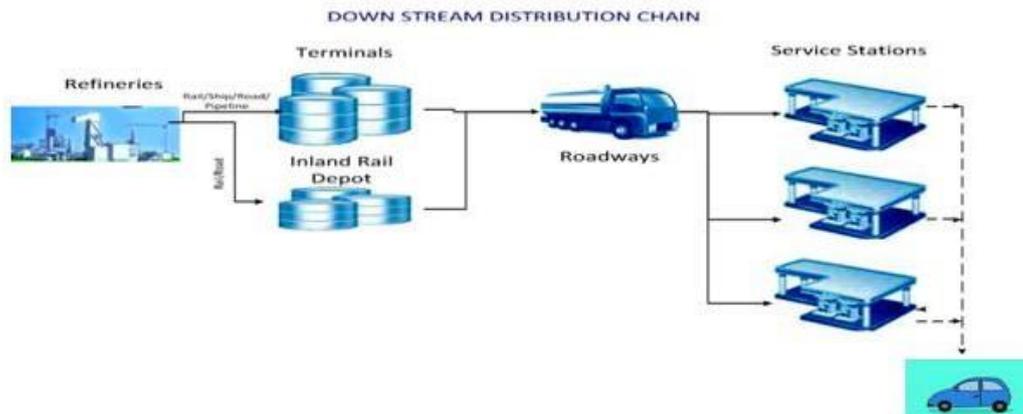


Figure 15: Structure e la supply chain dans le secteur des hydrocarbures (Ankalikar et al., 2013, p 3).

Notre travail se concentrera sur la partie aval de cette chaîne logistique c'est-à-dire, le stockage du carburant en entrepôt, le transport de ce dernier et la distribution au client final (stations-services) :

- **Le stockage:** Le stockage du carburant est un moyen de collecter le produit avant de me distribuer aux stations-services, il est donc stocké dans des centres de dépotage, après avoir été transformé et traité dans les centres de raffineries.
- **Le transport :** Il s'agit du transport du carburant, des centres d'entrepotage jusqu'aux stations-services. Ceci étant assuré via des camions citernes, qui approvisionnent leurs réservoirs, à partir des commandes reçues.
- **La distribution aux stations-services:** La distribution du carburant représente l'étape de réapprovisionnement des stations-services, qui consiste à les livrer en tenant comptes de leurs exigences et de leurs éventuelles contraintes en terme de délais et quantités.

De ce fait, l'objectif des entreprises de distribution est de satisfaire toutes les commandes, en termes de quantités et de délais, autrement dit, livrer les quantités demandées dans les meilleurs délais. Ce défi implique une Supply Chain réactive qui réagit rapidement à la demande et qui est capable d'adapter rapidement les volumes et la variété des produits aux exigences des stations-services, tout en tenant compte des éventuelles contraintes de ces dernières. Le distributeur s'appuiera sur l'optimisation de la distribution du carburant aux stations-services pour pouvoir satisfaire des commandes a un délai déterminé. L'optimisation de la distribution requiert donc une organisation scrupuleuse et des ressources considérables (planification de tournées, affectation des camions aux stations-services et répartitions optimal

Chapitre 2 : Etat de l'art

des quantités à livrer). Le deuxième défi des distributeurs de carburants, est de répondre à la demande des stations-services à tout moment, tout en maîtrisant leurs stocks (éliminer les ruptures de stocks), et donc accroître leur taux de service, ce qui nécessite une supply chain réactive.

Quant à l'objectif des stations-services, ce dernier est d'une part d'arriver à synchroniser les flux émanant du distributeur, et ceux émanant des clients, et d'agir rapidement sur la demande, en s'assurant de la disponibilité du produit à chaque instant, afin d'accroître le taux de satisfaction des consommateurs d'autre part. Pour se faire, les stations-services se doivent de constituer un stock permettant d'anticiper sur les risques relatifs aux sur stockages et aux ruptures de stocks, et ce, en ayant recours à un stock de sécurité. L'intégration de ces risques, permettra d'assurer au mieux la disponibilité du produit, qui assurera à son tour un taux de service satisfaisant, ainsi une meilleure réactivité.

Afin d'assurer une meilleure coordination entre le distributeur et les stations-services, les flux d'informations deviennent l'élément essentiel de synchronisation. En effet, l'intégration de l'information va permettre aux station services et à leur distributeur de fiabiliser les différents échanges existants, autrement dit, les informations relatives aux quantités commandées, aux types de produits demandés et aux délais à respecter. Il faut maîtriser ces informations avant d'agir sur les stocks et sur la distribution. Cette maîtrise impliquera une meilleure planification de la demande.

III- Caractérisation de la demande et gestion des stocks

La gestion de la supply chain dans le secteur des hydrocarbures, plus précisément au niveau des stations-services, devient de plus en plus complexe. En effet, la stratégie adoptée par ces stations tend plus vers la réactivité qu'à l'efficience. La demande des clients, en plus d'être en perpétuelle augmentation, peut varier de jour en jour, de semaine en semaine ou de saison en saison. De ce fait, la complexité de la gestion de la chaîne logistique des stations-services revient principalement aux incertitudes liées à la demande qui peut s'étendre à un niveau plus important en amont de ces stations. Cette complexité engendre par la suite, des difficultés à prévoir les ventes futures ainsi que des difficultés à contrôler et à gérer les stocks. Ainsi, cerner la nature de cette demande devient plus que primordiale afin d'assurer le meilleur taux de service ainsi qu'une meilleure fidélisation possible des clients.

Pour mieux cadrer la structure de la demande, et réduire les risques de non-satisfaction de la clientèle, les stations-services peuvent d'une part, se protéger des cas de ruptures en constituant des stocks de sécurité, limitant par ailleurs les coûts liés aux sur stockages, et d'autre part, anticiper les fluctuations de la demande en utilisant les outils de prévisions permettent une connaissance plus fine de la composition de la demande à venir (tendance, saisonnalité, aléas...). Et ce, par le traitement des données historiques sur l'environnement dans lequel évolue la station. Par conséquent, les outils de prévisions et de gestion des stocks sont parfaitement complémentaires. La prévision permettra de prévenir la gestion des approvisionnements, de la même façon que la constitution des stocks de sécurité permettra d'apporter une précaution en cas de présence de prévision imparfaite (anticiper sur les erreurs de prévisions).

Chapitre 2 : Etat de l'art

Afin d'appliquer ces outils nous permettant une meilleure optimisation de la supply chain des stations-services, la disponibilité de l'information est plus que primordiale. En effet, la demande exprimée par les stations étant journalière, les données concernant les flux entrants et sortants en cuve, en temps réels, de carburant sont exigées. D'où la nécessité d'avoir recours à un dispositif pour la collecte, l'analyse le transport et l'exploitation de ces données nous permettant ainsi de déterminer le comportement de la demande.

III-1- Caractérisation de la demande

La demande englobe, l'ensemble des besoins exprimés par les clients, de façon prévisionnelle (les prévisions, la demande future non encore confirmée) et ferme, les commandes confirmées en quantité et délai.

La planification de la demande quant à elle, a pour objectif d'estimer la demande future qui permettra, par la suite, de piloter l'ensemble de la chaîne logistique, de façon à optimiser la réactivité d'une entreprise quant à la satisfaction des clients.

Dans de nombreuses industries, certaines entreprises sont contraintes de faire face à plusieurs types d'incertitudes quant à la gestion de leur chaîne d'approvisionnement. La qualité de cette gestion est principalement liée à la fiabilité des prévisions de la demande. En effet, l'objectif principal des entreprises est d'aligner la nature de cette demande aux capacités de la supply chain, d'où l'importance de la compréhension de l'évolution de cette demande ainsi que les capacités mises à disposition lors de la conception d'une stratégie supply chain.

Le besoin permanent d'établir un plan fiable et précis de la demande, pour anticiper sur la dynamique des flux, est de prendre les bonnes décisions en matière de coût, qualité, délai, flexibilité et innovation. L'estimation de la demande pour certains produits est nettement plus délicate que pour d'autres, dans la mesure où elle doit tenir compte de multiples facteurs tels que l'évolution de l'environnement, les budgets et les plans financiers, l'augmentation des parts de marchés en déployant la bonne quantité au bon moment, le décalage entre la décision d'achat et la satisfaction du client, etc.

Pour ce faire, l'équipe chargée de la gestion des demandes est tenue de développer une approche de prévision appropriée. Celle-ci sera considérée comme un des éléments les plus importants dans la prise de décision. Pour cela, elle doit déterminer les sources de données nécessaires pour générer chaque prévision. Ceux-ci peuvent inclure des données historiques des ventes, des plans de promotion, des données de parts de marchés, etc. Puis, définir la méthode appropriée en fonction de l'environnement dans lequel la prévision est réalisée, autrement dit, en fonction du volume et de la variabilité de la demande.

Afin de prendre les décisions les plus adaptées concernant les différentes approches de prévision, l'entreprise devra segmenter son produit en fonction de la variabilité ainsi que du volume de la demande comme montré dans la Figure 16.

Chapitre 2 : Etat de l'art

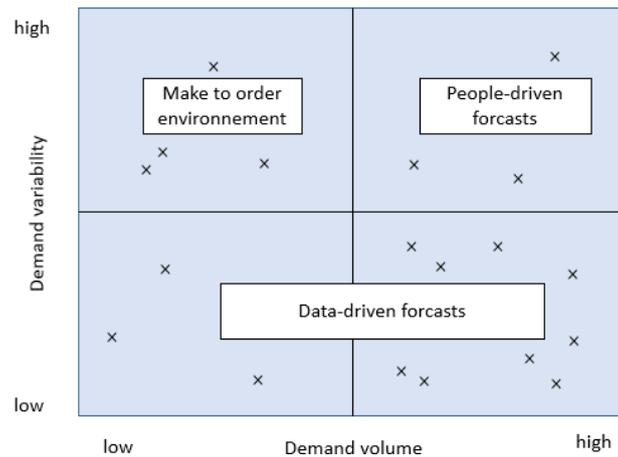


Figure 16: Choix de la stratégie de prévision (Croxtton et al., 2002).

Des méthodes quantitatives basées sur des données historiques sont utilisées pour les produits à faible variabilité de la demande (Data-driven forecast). Les produits à forte variabilité et à fort volume nécessitent davantage un rapprochement avec les clients pour mieux comprendre leurs besoins et attentes (People-driver forecast). Quant aux produits à faible volume et grande variabilité, une fabrication sur commande est plus judicieuse (Make to order), ce qui évite de prévoir des prévisions au niveau SKU et permet à la direction de se concentrer sur une prévision agrégée pour les matières premières ou les composants (Croxtton et al., 2002).

III-2- Prévision de la demande

La prévision représente un outil important lors de la prise de décision, c'est le point de départ de toute planification. Les activités de production, de stockage, d'assemblage et de distribution sont fondées sur des commandes fermes et des prévisions de commandes. Plus nous nous éloignons de l'horizon de planification, plus le besoin de prévision est présent. C'est donc un moyen d'anticiper l'évolution du marché et de prendre des décisions en vue d'équilibrer les charges/capacités, tout en optimisant la réponse à la demande.

La prévision est définie selon Leveuille Estival (2009), comme : « *La fonction permettant d'estimer la demande future pour les biens et les services offerts par l'entreprise* ». La prévision est établie soit mathématiquement (données historiques), soit intuitivement (connaissance du marché), soit en combinant les deux méthodes. Leveuille Estival (2009) a défini la prévision de ventes quant à elle comme : « *Le processus par lequel l'entreprise planifie et donc adapte ses capacités à ses activités futures en fonction de l'estimation des demandes établie* ».

III-2-1- Les méthodes de prévisions

Une fois le besoin en prévision exprimé, et les données nécessaires définies et disponibles, nous pouvons sélectionner une méthode de prévision et définir un processus à suivre pour chacune de ces prévisions. La méthode de prévision utilisée doit être caractérisée par :

Chapitre 2 : Etat de l'art

- Des éléments d'incertitudes ;
 - Des tendances et saisonnalités passées ;
 - De l'analyse des données connues ou historiques ;
 - Des facteurs pouvant l'influencer (événements causaux).
 - Un traitement du futur sur un horizon de temps déterminé. Cet horizon dépendra du niveau de décision à prendre :
- Prévion à long terme : Ce sont des prévisions qui ont comme but la prise de décision au niveau stratégique de l'entreprise (investissement, produits nouveaux, etc.)
 - Prévion à moyen terme : Ces prévisions permettront de définir et de maîtriser les capacités globales de production et d'approvisionnement (acquisition machine, embauche de personnel, etc.)
 - Prévion à court terme : L'objectif des prévisions à court terme, est une anticipation sur les activités opérationnelles de production. (: cycle de production, planification, etc.)

Nous présentons dans cette partie, les principales méthodes de prévisions pour un horizon de planification à court terme impactant ainsi la gestion de production, la gestion des stocks, l'ordonnancement des tâches, etc. Les méthodes de prévisions peuvent être divisées en deux parties, méthodes quantitatives et méthodes qualitatives, comme montré dans la Figure 17.

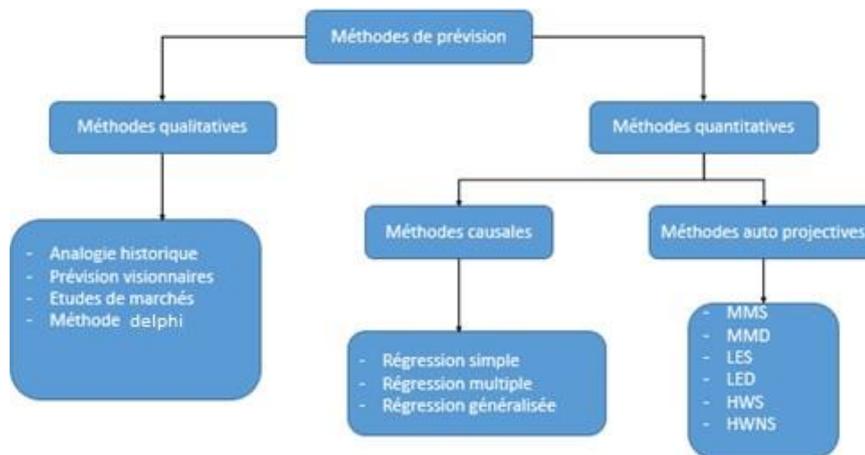


Figure 17: Typologie des modèles de prévision

1- Les méthodes qualitatives

Ces méthodes sont basées sur des avis d'experts, enquêtes des consommateurs ou les données non quantifiables. Elle utilise donc, des données subjectives se fiant principalement aux : Opinions des vendeurs, ceux des consommateurs et des experts.

La prévision qualitative donne à la direction la souplesse nécessaire pour utiliser des sources de données non numériques, telles que l'intuition et le jugement de responsables expérimentés, de professionnels de la vente et d'experts du secteur. Ce type de prévision est aussi utile lorsque les données sont ambiguës ou inadéquates. Néanmoins, les méthodes qualitatives permettent aux événements récents d'influencer les perceptions des événements

Chapitre 2 : Etat de l'art

futurs et peuvent ignorer les informations pertinentes susceptibles d'entrer en conflit avec leur vision de l'avenir.

2- Les méthodes quantitatives

Ces méthodes sont basées sur des données historiques ou sur des associations entre les variables de l'environnement. Elles ont comme avantage la rapidité de traitement une fois le modèle développé. Cependant, ces méthodes présentent l'inconvénient de ne pas tenir compte de tous les facteurs étant donné le nombre de paramètres à prendre en considération limité, de façon à réduire la complexité du modèle. De plus, le recueil de données pour l'application de ces méthodes peut parfois impliquer des investissements conséquents.

Il existe deux grandes familles de méthodes quantitatives :

a. Les méthodes causales

Ce sont des méthodes reliant une variable Y_t expliquée à prédire, dite endogène, avec des variables explicatives : $(X_t = (x_{1t}; x_{2t}; \dots ; x_{nt}))$ prédictives, dites exogènes. En d'autres termes, ce sont des méthodes permettant d'établir une relation de cause à effet entre des variables exogènes. Les méthodes les plus utilisées pour les prévisions causales sont :

- **La régression simple** : Cette méthode est utilisée dans le cas où, une variable endogène est expliquée par plusieurs variables exogènes, mais seulement, une d'entre elles est dominante. Ainsi, les autres variables non dominantes seront incluses dans la variable d'erreur u_t . La forme mathématique de la régression simple est la suivante :

$$Y_t = f(X_t) + u_t.$$

- **La régression multiple** : Cette méthode est utile lorsque plus d'une variable exogène explicative est dominante. Ainsi, la formulation mathématique de la régression multiple devient :

$$Y_t = f(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}) + u_t.$$

- **La régression généralisée** : Cette méthode est utilisée lorsque les deux régressions précédentes ne sont pas applicables. Le but est donc de trouver une transformation du modèle présent de façon à pouvoir appliquer les méthodes de régressions usuelles.

b. Les méthodes auto-projectives

Ces méthodes permettent de prévoir la demande en fonction du temps et des historiques préalablement fixés. Les données nécessaires à la réalisation des modèles auto-projectifs sont écrites sous forme de séries chronologiques. L'efficacité des modèles auto-projectifs existants dépend des différentes composantes constituant cette série, à savoir les deux composantes tendancielles et cycliques qui matérialisent l'évolution de la demande sur le long et moyen

Chapitre 2 : Etat de l'art

termes, la composante saisonnière qui intègre l'ensemble des variations périodiques influencées par le temps (saisons, mois, jours, ...), et enfin la composante résiduelle qui permet de mettre en évidence l'ensemble des variations qui ne sont pas influencées par des facteurs identifiés. Cette dernière est caractérisée par une espérance mathématique nulle, une symétrie de la distribution par rapport à la moyenne et une constance de la variance.

Les méthodes les plus utilisées pour les prévisions auto projectives sont :

- **Moyenne mobile simple** : Ce modèle est connu pour sa simplicité ainsi que la fiabilité des résultats dans les conditions restrictives suivantes : La série chronologique ne doit présenter aucune saisonnalité, changement de structure ou de tendance. Ce modèle donne des prévisions positives pour des lois d'évolution horizontales.
- **Moyenne mobile double** : Contrairement à la moyenne mobile simple, ce modèle permet de corriger une éventuelle tendance si elle existe. L'objectif est donc d'appliquer deux fois la moyenne mobile simple sur la série chronologique de base.
- **Lissage exponentiel** : Le lissage permet une pondération particulière des données passées. Il est adéquat pour des séries sans saisonnalité ni tendance apparentes (séries stationnaires). Par lissage des observations historiques, nous parvenons à éliminer leur contenu aléatoire et estimer une valeur de prévision. La méthode accorde le plus grand poids à l'observation la plus récente et des poids décroissants aux valeurs les plus anciennes.
- **Holt-Winters** : Les techniques de Holt-Winters sont des améliorations des techniques de moyennes mobiles et du lissage exponentiel. Elles traitent toujours des chroniques homogènes par rapport à la tendance et la saisonnalité. Elles ne sont donc pas toujours recommandées pour des séries de types quelconque perturbées.
- **Méthodologie de Box et Jenkins** : Cette méthode permet de déterminer, puis estimer le meilleur modèle de type ARMA (autorégressif et moyenne mobile) décrivant le processus stochastique d'une série observée ou d'une transformation stationnaire de celle-ci, puis utiliser ce modèle pour extrapoler les valeurs de la série.

III-2-2- Méthodologie de contrôle de Box et Jenkins

Contrairement aux méthodes précédentes qui traitent des chroniques assez stables, par rapport à la tendance, et à la saisonnalité, celle de Box et Jenkins est une méthode complexe qui se base sur la forme des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle de la série étudiée. Le principe de la méthodologie est de choisir un modèle sous contrôle statistique de la classe des modèles SARIMA tel que :

- AR(p) : Modèle autorégressif d'ordre p
- MA(q) : Modèle Moyenne mobile d'ordre q ;
- I: Indépendants ou non ;
- S: Saisonnier ou non.

Les étapes constituant la méthodologie de Box et Jenkins sont représenté dans la Figure 18 et seront traitées plus en détail dans le 3^{ème} chapitre.

Chapitre 2 : Etat de l'art

La technique de Box -Jenkins consiste donc, à identifier le modèle approprié susceptible de représenter la série, elle se base sur la forme des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle de la série étudiée, afin de choisir un, ou éventuellement plusieurs modèles qui seront examinés à tour de rôle, nous aurons donc besoin de critères pour le choix. La modélisation de Box et Jenkins concerne les processus ARMA, ARIMA ou SARIMA. Une fois le modèle déterminé et validé, nous pouvons appliquer une prévision et tester son efficacité économique. En fonction de l'évolution des résultats de cette prévision ainsi que sa fiabilité, le décideur aura une vision sur la nature de la demande à laquelle un produit est exposé, il pourra ainsi agir sur la prise de décision en terme d'anticipation des flux dynamiques en matière de coût, qualité, délai, flexibilité et innovation. Par conséquent, être le plus réactif possible à la demande future.

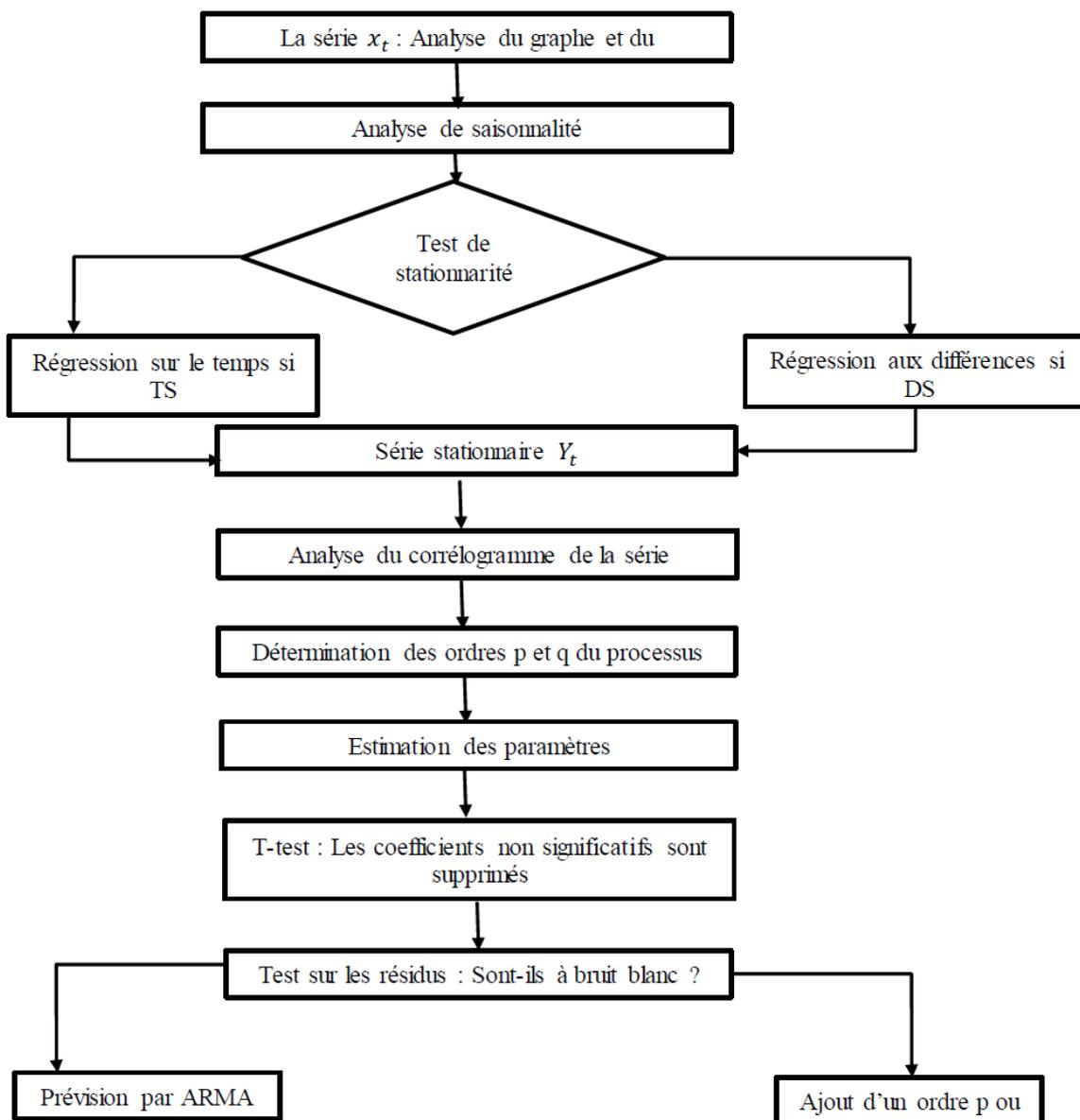


Figure 18: Etapes relatives à la méthodologie de Box et Jenkins

Chapitre 2 : Etat de l'art

La prévision étant un élément décisif pour la planification et la fixation des objectifs de chaque entreprise, elle permet aussi d'anticiper sur la gestion de stock par une adaptation optimale de l'offre à la demande. En effet, des prévisions fiables et précises favorisent une visibilité sur la demande et constitue ainsi un garant d'une gestion efficace du supply chain management (SCM), permettant ainsi de diminuer l'impact d'une fluctuation du marché et l'incertitude sur la demande.

Quant à la gestion des stocks, l'objectif est de trouver un point d'équilibre qui permettra de minimiser les stocks de sécurité tout en évitant la rupture. En effet, si la quantité détenue est beaucoup plus élevée que la demande réelle, l'excédent de production par rapport aux ventes se traduit par un sur-stockage entraînant, ainsi, des coûts supplémentaires. Dans le cas contraire, une production inférieure à la demande entraîne un coût de rupture du stock, auquel s'ajoute le coût indirect lié à l'insatisfaction des clients. La prévision de la demande cherche à limiter la marge de l'incertitude sur la demande et ainsi, contribuer à une gestion optimale du stock (Benkechcha et al.,2012) comme montré dans la Figure 19.

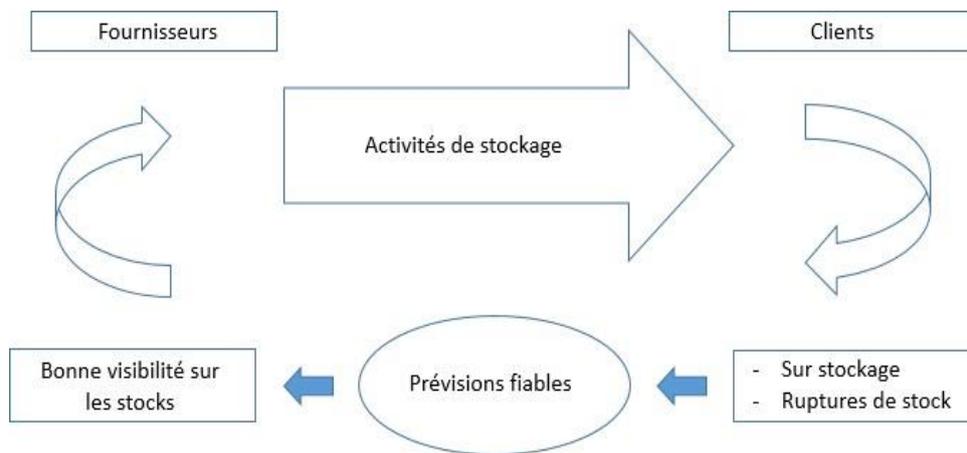


Figure 19: Prévision de la demande et la gestion des stocks (Benkechcha et al.,2012)

III-3- Gestion de stocks

Afin d'assurer une meilleure qualité de service ainsi une meilleure réactivité à la demande des clients, la disponibilité du produit à un moment déterminé avec une quantité fixée est primordiale. Cette disponibilité est assurée par une gestion du niveau de stock adéquat, de manière à éliminer les pénuries d'une part et les gaspillages d'autre part. Pour se faire, dans ce qui suit, nous aborderons quelques concepts liés à la gestion de stocks, puis nous introduirons quelques éléments nécessaires à l'optimisation de cette dernière.

III-3-1- Définition et objectif des stocks

Un stock est défini comme étant : « une quantité de biens accumulés dans l'attente d'une utilisation, en vue d'harmoniser un flux d'entrée et un flux de sortie dont les rythmes sont différents ». (Rossignol, 1997). Ces stocks peuvent concerner les matières premières, des en cours de production ou des produit finis.

Chapitre 2 : Etat de l'art

Si l'entreprise n'est pas capable de satisfaire un besoin à l'aide d'un stock correspondant, nous parlons de rupture. Par ailleurs, si les produits sont abondants et génèrent des surcoûts et des gaspillages, nous parlons de sur-stockages. La gestion des stocks a donc pour finalité de maintenir, à un seuil acceptable, un niveau de services donné de manière à assurer :

- Un meilleur service client ;
- Une réduction des niveaux de stock et des coûts de stockage ;
- Une amélioration de la capacité de la chaîne d'approvisionnement ;
- Un meilleur contrôle des coûts et moins de pression sur les flux de trésorerie ;
- Une chaîne d'approvisionnement améliorée ;
- Un temps de réponse client plus rapide.

Le stock a plusieurs fonctions, à savoir une fonction de régulation, une fonction commerciale ou logistique, une fonction économique ou financière, une fonction d'anticipation et une fonction technique :

- **Fonction de régulation** : Le stock réduit les risques de ruptures et favorise le maintien d'une activité continue. Il permet ainsi un lissage des irrégularités d'approvisionnement et de production.
- **Fonction logistique** : En maintenant les articles à proximité, il limite donc les délais d'attente.
- **Fonction économique** : Le stock permet de profiter des remises accordées pour des achats en grande quantité.
- **Fonction d'anticipation** : Le stock permet de mettre à l'abri les produits subissant une hausse de prix sur une période donnée.
- **Fonction technique** : Le stock peut être lié à un procédé de fabrication d'un produit (Exemple : Production du fromage).

III-3-2- Méthodes de réapprovisionnements

Afin de maintenir, à un seuil acceptable, le niveau stock d'un produit fixé, il faudrait déterminer quelles quantités commander et à quelles dates ? Afin que le coût global soit le moins élevé possible. Ce problème peut être traduit par le choix d'une méthode de réapprovisionnement adéquate. Cette politique doit faire preuve de souplesse quant aux erreurs de prévisions sur laquelle la méthode est fondée.

Les différents modes d'approvisionnement s'articulent autour de la quantité à commander et de la période de réapprovisionnement comme le montre la Figure 20.

Quantité (Combien ?)	Période (Quand ?)	Période fixe	Période variable
Quantité fixe		Méthode de réapprovisionnement fixe périodique	Méthode du point de commande
Quantité variable		Méthode de complètement périodique	Approvisionnement par date et quantité variables

Figure 20: Différentes politiques de réapprovisionnement

i- Méthode de réapprovisionnement fixe périodique :

Le principe de cette méthode est de commandée la même quantité Q d'un produit au bout d'une unité de temps T fixe comme le montre la Figure 21. Le réapprovisionnement fixe périodique est utilisé pour les articles dont la consommation est régulière et un délai de réapprovisionnement stable.

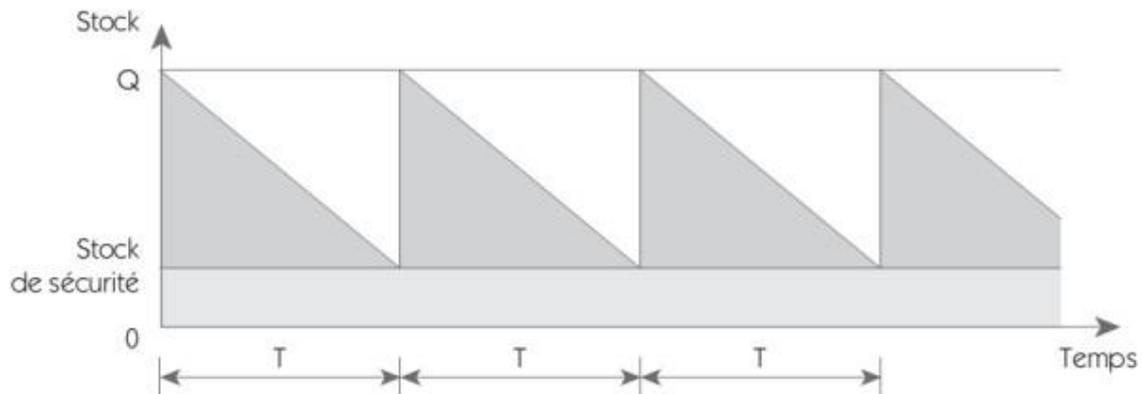


Figure 21: Politique de réapprovisionnement fixe périodique (Courtois et al., 2003).

Cette méthode est très simple pour la mise en œuvre, nécessite peu de suivi régulier des articles en stocks, et peut faire bénéficier l'entreprise des économies d'échelles. Elle présente néanmoins des risques de ruptures ou de sur stockages.

ii- Méthode du point de commande :

Le principe de cette méthode, est de déclencher l'ordre de lancement de commande lorsque le stock atteint un niveau déterminé, permettant ainsi de couvrir les besoins en stock durant le délai de réapprovisionnement. Cette méthode est appliquée lorsqu'un produit connaît une demande irrégulière et un délai de livraison stable.

La Figure 22 illustre le cycle de commande. Il convient de souligner que lorsque la quantité en stock atteint le niveau d'alerte (points M_i ; $1 \leq i \leq 4$; comme illustré dans la Figure 22), on déclenche une commande.

Chapitre 2 : Etat de l'art

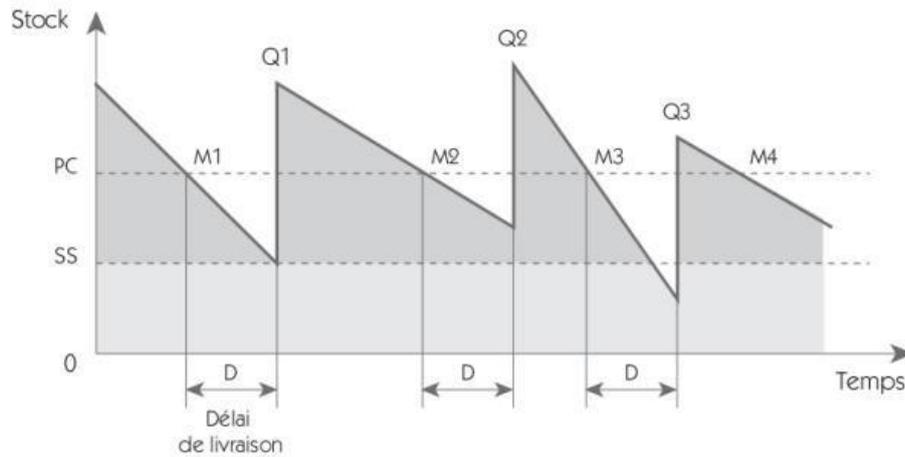


Figure 22: Méthode de point de commande (Courtois et al., 2003).

Avec :

C_{DL} : Quantité consommée pendant le délai de livraison ;

TC : Taux de consommation par unité de temps ;

D_L : Délai de livraison moyen.

PC : Point de commande ;

SS : stock de sécurité ;

D : délai de livraison ;

Q_i : niveau de stock après approvisionnement.

$$PC = SS + C_{DL} ; \quad C_{DL} = D_L * TC ;$$

Les quantités commandées peuvent être calculées grâce à la formule de la quantité économique donnée par Wilson comme suit :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 D C_t}{C_p}} ;$$

C_t : Coût de passation de commande ;

C_p : Coût de possession.

Cette méthode est appliquée pour des articles caractérisés par une demande régulière et un délai de livraison instable. Elle présente un risque faible de rupture ou de sur stockage, mais nécessite un suivi permanent, et risque d'avoir un sur dimensionnement du stock de sécurité.

iii- Méthode du re-complètement périodique :

Cette méthode consiste à re-compléter de façon régulière le stock pour atteindre une valeur de re-complètement que nous noterons S_{max} tel que :

$$S_{max} = Q^* + SS + C_{DL} ; \quad C_{DL} = D_L * TC$$

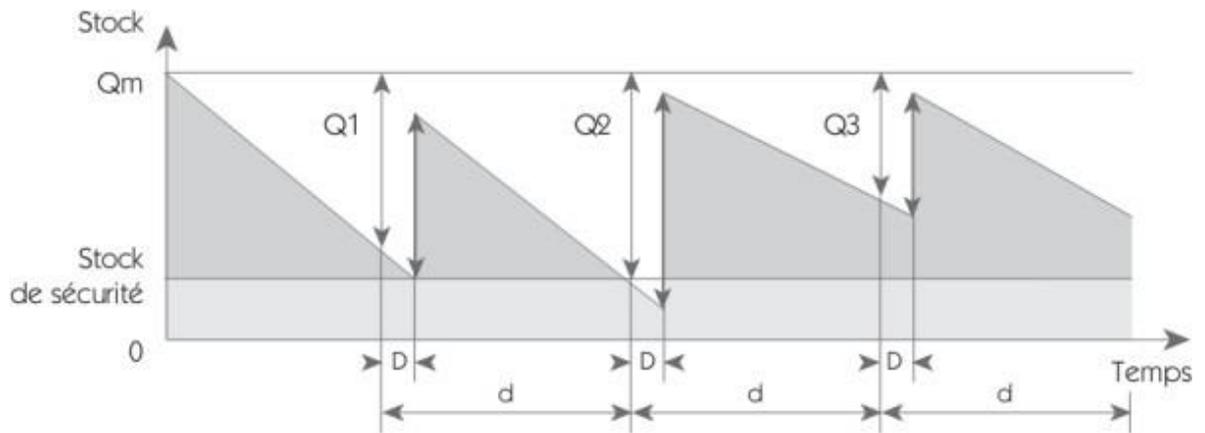


Figure 23: Méthode de re-complètement périodique (Courtois et al., 2003).

Cette méthode est facile à mettre en œuvre, mais présente un risque élevé de ruptures de stocks.

iv- Méthode d'approvisionnement par date et par quantité variable :

Cette méthode correspond à une association entre la méthode de point de commande et celle du réapprovisionnement périodique. En effet, il s'agit de lancer un ordre de commande périodiquement, afin de re-compléter le stock au seuil maximum déterminé S_{max} , (ce qui correspond à la méthode de re-complètement périodique), tout en se dotant d'un seuil de commande pour lequel, une fois le niveau atteint ce point, la quantité économique est lancée (ce qui correspond à la méthode du point de commande).

Cette méthode est utilisée lorsqu'un article présente une forte irrégularité de la demande d'une part, et une forte instabilité des délais de livraisons d'autre part.

$$PC = SS + C_{DL} ; \quad C_{DL} = D_L * TC ; \quad S_{max} = Q^* + SS + C_{DL}$$

Cette méthode réduit les de ruptures et de sur stockages, permet une certaine réactivité par rapport aux fluctuations du marché. Mais elle nécessite un suivi continu, et présente un risque élevé de surdimensionnement du stock de sécurité.

III-3-3- Stock de sécurité

Le stock de sécurité est le niveau de stock qui permet, de limiter les ruptures de stock dû aux variations aléatoires de la demande et des délais de livraison. Il permet aussi de se protéger des prévisions non conformes à la demande réelle. Ce stock de sécurité est dimensionné en fonction de plusieurs critères :

- L'importance relative des coûts de stockage et des coûts d'opportunité : Plus les coûts de stockage sont importants par rapport aux coûts d'opportunité, moins le niveau du stock de sécurité sera élevé ;
- Le niveau des aléas : Plus les aléas sont importants, plus le niveau du stock de sécurité sera élevé ;

Chapitre 2 : Etat de l'art

- Le niveau de service souhaité : Plus on recherche une qualité de service importante (nombre de commandes livrées dans les temps), plus le niveau du stock de sécurité sera élevé.

Le calcul de la valeur du stock de sécurité dépend de variation de la demande d'une part, et celle des délais de livraisons d'autre part. Pour la détermination de ce stock de sécurité, plusieurs approches sont proposées :

i- Approche selon la loi normale avec variation de la demande seulement :

Considérons un intervalle de temps T comprenant un assez grand nombre de périodes sous les hypothèses suivantes :

- D_L Le délai de livraison fixe.
- La consommation varie autour d'une moyenne D sur une période x donnée et selon une loi normale d'écart type σ_x
- Sur le laps de temps T, on considère que les périodes sont indépendantes. Il y a donc additivité des variances : $\sigma_{x,D_L}^2 = \sigma_x^2 D_L$
- Z coefficient de service.

Le stock de sécurité est donc égal à :

$$SS = Z * \sigma_{x,D_L} = Z * \sigma_x * \sqrt{D_L}$$

ii- Approche selon la loi normale avec variation de la demande et intégration d'une erreur de prévision :

Considérons sur le même laps de temps T comprenant un assez grand nombre de périodes les hypothèses suivantes :

- D_L Le délai de livraison fixe.
- La consommation varie autour d'une moyenne D sur une période x donnée et selon une loi normale d'écart type σ_x
- e_i : L'erreur de prévision qui est égale à la différence entre la demande réelle et la prévision pour chaque période i
- N : Le nombre de périodes totale

L'écart type de la demande s'écrit : $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N-1}}$

Le stock de sécurité est donc égal à : $SS = Z * D_L * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N-1}}$

iii- Approche selon la loi normale avec variation du délai de livraison seulement :

Chapitre 2 : Etat de l'art

Cette approche considère une consommation journalière régulière D , et un délai de réapprovisionnement suivant une loi normale de moyenne D_L et d'écart type σ_{D_L} . Dans ce cas, le stock de sécurité est égal à :

$$SS = z * D * \sigma_{D_L}$$

iv- Approche selon la loi normale avec variation de la demande et du délai de livraison :

Considérons sur un laps de temps T comprenant un assez grand nombre de périodes les hypothèses suivantes :

- Une consommation suivant une loi normale de moyenne D , et d'écart type σ_x sur une période x donnée.
- Un délai de livraison suivant une loi normale de moyenne D_L et d'écart type σ_{D_L}

Le stock de sécurité sera égal à :
$$SS = z * \sqrt{D_L * \sigma_D^2 + D^2 * \sigma_{D_L}^2}$$

Le calcul du stock de sécurité et du point de commande nous permettra d'intégrer les erreurs liées à la prévision et à la variabilité du délai de livraison. Cette intégration nous mettra par la suite, d'anticiper sur les éventuels risques liés aux ruptures de stocks et aux surstockages afin d'assurer la disponibilité d'un produit à tout moment. En effet, étant donné l'intensité et la fréquence des flux journaliers voir quasi horaires, la disponibilité des données en temps réel en devient indispensable.

III-3-4- La gestion des stocks en temps réel

Pour répondre aux attentes des consommateurs de plus en plus exigeants, la disponibilité d'un produit et le respect du délai de livraison est l'enjeu numéro un d'une supply chain réactive dans un environnement en perpétuel changement. S'assurer de l'efficacité du partage de l'état des stocks en temps réel avec les consommateurs est devenu un impératif pour les entreprises. C'est même devenu aujourd'hui un critère de choix très important pour les consommateurs. En cas de commande annulée pour cause de rupture de stock, 39 % des clients ne retourneraient pas sur le site de vente en question (Agreira, 2018). Il est donc important de fiabiliser les clients en assurant un taux de service qui s'adapte à leurs exigences. Ce dernier intégrera une multitude de paramètres à savoir, le coût, la qualité, la quantité et le délai d'obtention du produit, ainsi, pour une demande journalière voir quasi horaire importante, la satisfaction de l'ensemble de cette demande est d'autant plus difficile à atteindre. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir recours à certaines technologies permettant la récupération de données en temps réel notamment avoir recours aux technologies IoT.

III-4- Technologies IoT

Dans une chaîne logistique, les appareils IoT constituent un moyen efficace pour suivre et authentifier les produits. Ils peuvent également surveiller les conditions de stockage des produits, ce qui améliore la gestion de la qualité tout au long de la chaîne d'approvisionnement. De ce fait, il est beaucoup plus facile de comprendre où sont les marchandises, comment elles sont stockées et à quel moment on peut les attendre à un endroit spécifique.

L'internet des objets IoT (Internet of Things) peut être définie comme étant un ensemble de périphériques physiques interconnectés pouvant surveiller, générer des rapports, envoyer et échanger des données. Les appareils IoT sont généralement connectés à des ordinateurs via des réseaux de données ou Wi-Fi.

Les appareils IoT utilisent des capteurs pour mesurer des aspects spécifiques de l'environnement qui les entoure, notamment l'emplacement, la température, l'humidité, les niveaux de lumière, les mouvements, la manipulation, la vitesse de déplacement et d'autres facteurs environnementaux. Les appareils IoT sont proposés sous de nombreuses formes, notamment les puces RFID, les appareils intelligents et les capteurs mobiles.

Les appareils IoT permettent:

- De suivre la vitesse de circulation et l'arrivée des marchandises ;
- De surveiller les conditions de stockage des matières premières et des produits ;
- De rationaliser le mouvement problématique des marchandises par la planification des itinéraires ;
- D'administrer les marchandises immédiatement après réception ;
- De planification simplifiée de l'offre et de la demande, (les parties prenantes savent à quel moment elles peuvent s'attendre à recevoir et à traiter des marchandises) ;
- Une meilleure gestion de la qualité grâce au maintien des matières ;
- Une meilleure gestion de la qualité grâce au maintien des matières premières et des produits transformés dans des conditions optimales.

Etant donnée la stratégie adoptée par les stations-services réactive, elle se doit d'agir rapidement sur une très forte demande incertaine, cette dernière doit être cernée et maîtrisée. Afin d'assurer la maîtrise de cette demande, l'accès à l'information est primordiale, ce qui permettra par la suite, de constituer un historique représentant une base pour la réalisation d'une prévision. Cette prévision nous permettra, à son tour, d'anticiper sur la gestion stocks, en réduisant ainsi les risques liés aux éventuels ruptures et/ou sur stockages.

Pour se faire, la station-service a installé un système permettant d'obtenir les informations nécessaires en temps réel, à savoir les variations du niveau de stocks en cuves de chaque type de carburants. Il s'agit de la plateforme Fuel-Prime (présentée dans le 1^{er} chapitre).

L'optimisation de la gestion et la réactivité des stations-services n'est pas liée uniquement à la maîtrise des stocks, mais à la performance globale de la chaîne logistique. En effet, le point

Chapitre 2 : Etat de l'art

focal de cette chaîne représente le réapprovisionnement du produit commercialisé, c'est-à-dire, le distributeur de ces stations. Il est donc nécessaire de synchroniser les flux entrants et sortants des stations-services en intervenant directement auprès du distributeur afin d'optimiser la distribution du produit en terme de délai et de quantité.

IV- Concepts et optimisation de la supply chain aval

IV-1- Définition d'un réseau de distribution et d'un plan de tournées

Le réseau de distribution est composé d'un ensemble d'acteurs et d'activités interconnectées, ayant pour mission le transfert physique des produits finis de l'industriel vers ses clients. L'objectif est de faire en sorte que le produit souhaité par le client soit au bon endroit, à l'heure convenue, avec la quantité attendue et au meilleur coût. Le réseau de distribution est caractérisé par des flux d'informations qui pilotent et contrôlent ces opérations physiques, comme les prévisions de la demande, les opérations de planification ou encore le traitement administratif des commandes et la gestion des stocks.

Afin d'optimiser un réseau de distribution, il se doit d'adopter une démarche de planification de tournées tenant compte de certaines contraintes relatives au temps et au coût de transport, aux distances parcourues et aux délais de livraison, dans le but d'accroître le taux de satisfaction du client.

Dans ce cadre-là, nous pouvons définir un plan de tournée, comme étant un ensemble de tournées résultant de l'optimisation de la distribution, et permettant de livrer et/ou collecter des ordres de transport dans le respect des contraintes.

Il est nécessaire de s'assurer lors de la planification de tournées que le poids et le volume de l'ensemble des lots soient compatibles avec la capacité maximale du véhicule et que le positionnement géographique et les contraintes horaires de ces clients permettent d'organiser avec le véhicule un circuit qui soit compatible avec la durée allouée et les contraintes de circulation.

Une tournée se présente toujours sous la même forme : Livrer n clients à partir d'un point central, ce qui implique les opérations suivantes :

- Chargement du véhicule au dépôt.
- Se diriger vers le premier client.
- Déchargement chez le premier client.
- Parcours jusqu'au client suivant à approvisionner avec le même camion
- Refaire les mêmes étapes jusqu'au dernier client.
- Retour au dépôt.

Ces tournées peuvent être optimisées, en ayant recours à la recherche opérationnelle, autrement dit, l'utilisation de modèles mathématiques, à savoir l'utilisation de modèles

Chapitre 2 : Etat de l'art

mathématiques prenant compte des différentes contraintes relatives aux distances, aux délais et aux quantités.

IV-2- Problèmes d'optimisations

L'optimisation est devenue un domaine indispensable pour résoudre plusieurs problèmes dans divers secteurs. Son importance se justifie d'une part, par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un de ces problèmes. Les problèmes d'optimisation sont utilisés pour modéliser de nombreux problèmes dans différents secteurs de l'industrie (télécommunications, électronique, chimie, transport...) (Halim, 2013).

Une fois avoir définie la fonction à optimiser, il s'agit de choisir une méthode adaptée au problème posé. Les méthodes d'optimisation peuvent être classées de différentes manières : Nous les classerons en méthodes exactes et méthodes approchées. Les méthodes exactes sont généralement efficaces quand l'évaluation de la fonction est très rapide, ou quand la forme de la fonction est connue a priori. Les cas plus complexes (temps de calcul important, nombreux optima locaux, fonctions non-dérivables...) seront souvent traités plus efficacement par des méthodes approchées (Halim, 2013). La figure 24 illustre parfaitement la diversification des méthodes d'optimisation:

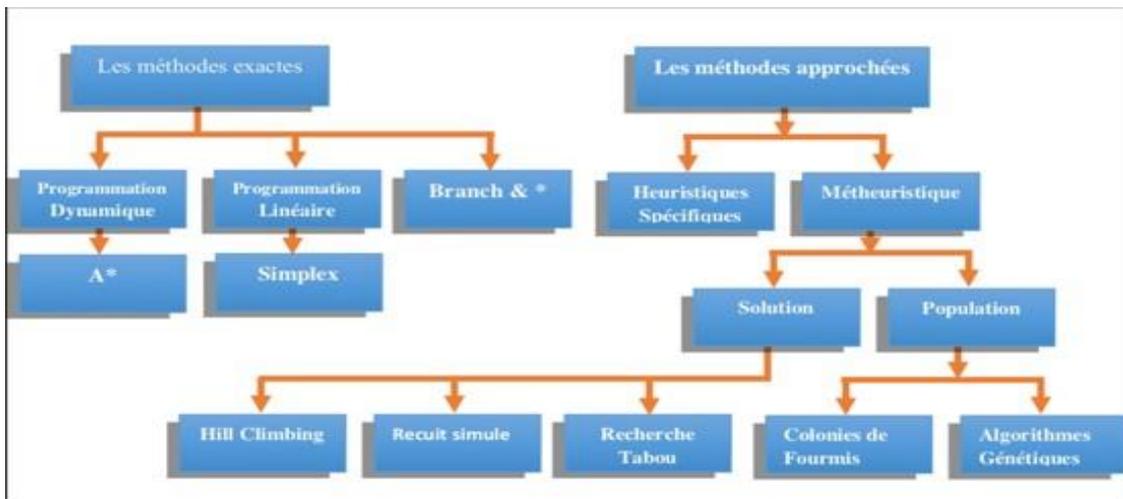


Figure 24: Les différentes méthodes d'optimisation

1- Les méthodes exactes

Les algorithmes exacts sont utilisés pour trouver au moins une solution optimale d'un problème. Les plus réussis dans la littérature appartiennent aux paradigmes de trois grandes classes : La programmation dynamique, la programmation linéaire, les méthodes de recherche arborescente (Branch & bound).

- La méthode de branch and bound :

La méthode de branch and bound consiste à énumérer ses solutions d'une manière intelligente. Ceci, en utilisant certaines propriétés du problème en question, cette technique

Chapitre 2 : Etat de l'art

arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'on recherche. De ce fait, on arrive souvent à obtenir la solution recherchée en des temps raisonnables. Dans le pire cas, nous retombons toujours sur l'élimination explicite de toutes les solutions du problème.

- Programmation dynamique:

Son concept de base est simple : une solution optimale est la somme de sous problèmes résolus de façon optimale. Il faut donc diviser un problème donné en sous problèmes et les résoudre un par un.

- Programmation linéaire:

La programmation linéaire est une technique mathématique d'optimisation (maximisation ou minimisation) d'une fonction objectif linéaire sous des contraintes ayant la forme d'inéquations linéaires. Elle vise à sélectionner parmi différentes actions celle qui atteindra le plus probablement l'objectif visé (Baumol, 1971).

2- Les méthodes approchées

Les algorithmes approchés permettent de garantir la qualité des solutions trouvées. Ces algorithmes sont une approche de résolution en temps polynomial, dont on arrive à borner la taille des solutions trouvées. Le plus souvent associé aux problèmes NP-difficiles, ces algorithmes permettent de les résoudre en temps polynomial tout en préservant une certaine qualité des solutions trouvées. Ces méthodes se divisent en deux méthodes de résolutions, soit par une heuristique ou par une métaheuristique (Phan, 2013).

- Heuristique:

Une heuristique est une technique qui améliore l'efficacité d'un processus de recherche, en sacrifiant éventuellement l'exactitude ou l'optimalité de la solution.

Pour des problèmes d'optimisation (NP-complets) où la recherche d'une solution exacte (optimale) est difficile (coût exponentiel) à atteindre, nous pouvons nous contenter d'une solution satisfaisante donnée par une heuristique avec un coût plus faible. Certaines heuristiques sont polyvalentes (elles donnent d'assez bons résultats pour une large gamme de problèmes) alors que d'autres sont spécifiques à chaque type de problème.

- Méta heuristique :

Une métaheuristique selon Osman (1996) est une heuristique générique qu'il faut adapter à chaque problème. C'est un algorithme visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficile pour lesquels on ne connaît pas de méthode classique plus efficace. Les métaheuristicues sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global, c'est-à-dire l'extremum global d'une fonction. Elles se comportent comme des algorithmes de recherche, tentant d'apprendre les caractéristiques d'un problème afin d'en trouver une approximation de la meilleure solution. Deux catégories peuvent être distinguées :

Chapitre 2 : Etat de l'art

- **Les approches solution** : manipulent une seule solution et tentent itérativement de l'améliorer grâce à des méthodes dites trajectoires, car elles construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales. Les plus connues sont la méthode de la descente, la méthode taboue et le recuit simulé.
- **Les approches population** : travaillent avec un ensemble de solutions. Les plus connues sont les colonies de fourmis et les algorithmes génétiques.

IV-3- Optimisation de la distribution du carburant aux stations-services

La distribution du carburant est une activité logistique qui a un impact économique majeur. Ce qui implique le choix d'une stratégie de distribution optimale, répondant, ainsi aux demandes (commandes) des stations-services.

D'après Taqa-Allah et al. (2000), le problème d'approvisionnement des stations d'essence consiste à déterminer comment distribuer de façon optimale plusieurs produits (principalement gasoil, sans plomb et super) vers des clients (stations d'essence) à partir d'un dépôt selon un horizon de planification choisi. Il faut donc déterminer, pour chaque période de l'horizon de planification, les stations à visiter, les tournées et les camions à utiliser, la quantité à livrer pour chaque produit et leur affectation aux camions, et ce, en s'assurant qu'aucune station cliente ne soit en rupture de stock. Les différents produits sont stockés dans des réservoirs chez les clients et sont vendues à des taux journaliers moyens. Un parc homogène de véhicules est disponible. Chaque camion possède plusieurs compartiments de mêmes ou de différentes capacités. Chaque compartiment peut transporter un ou plusieurs produits, Le contenu d'un compartiment est destiné à une seule station. L'objectif de ce problème est de tenir compte de tous ces aspects, de façon à minimiser le coût total de distribution, et de maximiser la satisfaction des clients en termes de quantités et de délais, et cela sur un horizon de planification donné. Deux politiques de réapprovisionnement sont donc possibles pour remédier aux problèmes de réapprovisionnements :

a. Cas de visites multiples:

Pour cette politique de réapprovisionnement, les véhicules peuvent visiter plusieurs clients (stations-services) au cours d'un même voyage, ce qui demande une attention particulière au moment de l'élaboration des tournées, et donc le problème de la planification des tournées des véhiculés doit être combiné à un problème d'allocation de demandes qui vise à déterminer la portion à satisfaire de chaque commande. De ce fait on doit trouver une stratégie qui permettra de livrer toutes les stations-services en respectant les quantités et les délais demandées, et cela en ayant recours à plusieurs méthodes d'optimisation, les plus utilisés pour résoudre les problèmes de réapprovisionnement se sont les heuristiques, cette approche de résolution va permettre de maîtriser et d'améliorer la supply chain val qui consiste à livrer les commandes des clients dans les plus brefs délais et avec des quantités déterminées.

Chapitre 2 : Etat de l'art

Une des premières contributions à cette politique de réapprovisionnement est celle de (Dror et *al.*, 1985) qui traitent le cas d'un produit unique. Ce problème, consiste à approvisionner un ensemble de stations-services sur plusieurs périodes à partir d'un dépôt central détenant un inventaire illimité. (Dror et *al.*, 1985) proposent et évaluent plusieurs approches pour résoudre une méthode analytique, pour approvisionner en plusieurs produits un certain nombre de stations-services à partir d'un entrepôt tout en essayant de minimiser les coûts d'inventaire et de transport. Trois heuristiques d'amélioration de la solution sont présentées et comparées. Ces procédures sont basées sur le concept d'échange de nœuds entre les différentes routes. (Dror et Ball, 1987) étudient l'effet de la longueur de l'horizon de planification et proposent des approches pour le réduire et présentent ensuite une structure générale pour résoudre différents problèmes de tournées.

b. Cas de visites simples:

Cette politique de réapprovisionnement se base sur le fait que les véhicules visitent qu'un seul client (station-service) au cours d'un même voyage, ce qui demande une planification de tournées assez simplifier car le véhicule procède au chargement du carburant à partir de l'entrepôt pour ensuite décharger la totalité de son contenu a une station-service donnée, cette quantité transportée représente exactement la quantité commandée par la station d'essence. Après le réapprovisionnement le véhicule retourne à l'entrepôt ou il charge de nouveau ses compartiments pour satisfaire une autre commande émanant d'une autre station-service. (Brown et Graves, 1981) proposent un modèle de résolution dans le cas d'une visite par voyage, ils proposent une approche composée d'une heuristique simple pour construire une solution initiale suivie d'une méthode d'amélioration basée sur l'échange de paires de camions compatibles et sur l'échange de la charge entre les compartiments d'un même camion. (Bell et *al.*, 1983) étudient le système de distribution d'un seul produit et proposent un modèle mathématique permettant de produire le plan de livraison de chaque camion à chaque jour. Ce problème est plus simple et plus simplifier car il prend en compte la distribution d'un seul type de carburant.

Dans notre présent travail, nous nous consacrerons à la politique de réapprovisionnement de plusieurs stations-services au cours d'un même voyage, avec une flotte de camions limitée, une fréquence de commande très élevée et des délais de réapprovisionnement précis à respecter.

V- Conclusion

L'objectif de ce chapitre était d'introduire les différentes notions et outils liées à l'optimisation d'une Supply Chain, en vue d'améliorer la performance d'une station-service. A savoir la maîtrise de la demande par une prévision fiable, conditionnée par la disponibilité de l'information en temps réel, et ce, en utilisant les technologies IoT adaptées. Ce qui permettra par la suite, d'anticiper sur les risques relatifs à la gestion des stocks, en instaurant un stock de sécurité et une politique de réapprovisionnement adéquate. De plus, afin d'atteindre une optimisation de la Supply Chain, il est nécessaire d'assurer une bonne coordination entre le distributeur et les stations-services. D'où l'importance de l'optimisation de la distribution du

Chapitre 2 : Etat de l'art

carburant. Et ce, en ayant recours aux outils de la recherche opérationnelle à savoir des modèles mathématiques et des heuristiques.

Chapitre 3

Amélioration de la réactivité de la station-service

I- Introduction

D'après les résultats du diagnostic effectué dans le 1^{er} chapitre, nous pouvons constater que la problématique de la station-service se divise en deux parties. Afin d'améliorer la performance de la station-service en terme de réactivité, en assurant la disponibilité des carburants commercialisés, il est nécessaire dans un premier temps d'agir sur les paramètres de gestion internes de la station-service, à savoir disposer de la quantité adéquate à la période correspondante, puis agir sur ses paramètres de gestion externes, à savoir stabiliser les délais d'obtention du carburant commandé.

II- Amélioration de la gestion interne de la station-service

Les paramètres de gestion internes de la station-service se rapportent essentiellement d'une part aux stockages, c'est-à-dire les ruptures et les sur-stockages, et d'autre part aux arrêts temporaires de la station dû aux réapprovisionnements.

II-1- Réduction des pertes liées aux ruptures de stocks

Les pertes causées par les ruptures de stocks sont liées principalement à la variabilité des délais de livraisons causés par le distributeur, ainsi que par l'erreur de prévision faite par la station-service.

Pour remédier aux problèmes liés aux ruptures de stocks, nous proposons de fixer un stock de sécurité prenant en compte d'une part l'incertitude de la demande réelle et du délai de réapprovisionnement et d'autre part, le besoin de satisfaire la demande.

Pour se faire, nous devons préalablement, connaître la nature de la demande, c'est-à-dire, prévoir la consommation journalière future. Et ce, en se basant sur un historique fourni par la station en question. Parallèlement à cette prévision, il en demeure nécessaire de déterminer la loi régissant les délais de livraisons, grâce à un historique contenant l'écart entre le moment de passation de commande, et le moment de sa réception. Une fois ces données validées, nous pourrions par la suite déterminer le stock de sécurité adéquat.

II-1-1- Prévision de la demande

La prévision de la demande représente une étape primordiale lors de la détermination du stock de sécurité. Nous avons ainsi pris comme référence la consommation journalière du diesel des trois derniers mois à partir du moins de janvier collectée par la station-service. Cette consommation représente la série chronologique que nous avons nommé « *Conso_t* ». Pour effectuer cette prévision, nous avons opté pour le logiciel « Eviews » car il représente un outil qui permet l'analyse des séries chronologiques.

La Figure 25, représente le graphe de cette série chronologique donné par ce logiciel.

Nous avons donc opté pour la méthodologie de Box et Jenkins, car cette dernière représente la méthodologie la plus générale, et la plus adaptée à tous types de modèles quels qu'ils soient,

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

prenant en compte les différents paramètres liés à la tendance, à la saisonnalité ainsi qu'aux paramètres aléatoires.

Nous avons par la suite déroulé les étapes de la prévision relatif à la méthode de contrôle de box et Jenkins (Lagari, 2012). Les résultats sont les suivants :

Etape 1 : Analyse du graphique :

D'après le graphe ci-dessous, nous pouvons remarquer que cette série ne présente aucune saisonnalité, ni de tendance apparente. Elle tourne ainsi autour d'une moyenne d'une valeur de 32 000 litres.

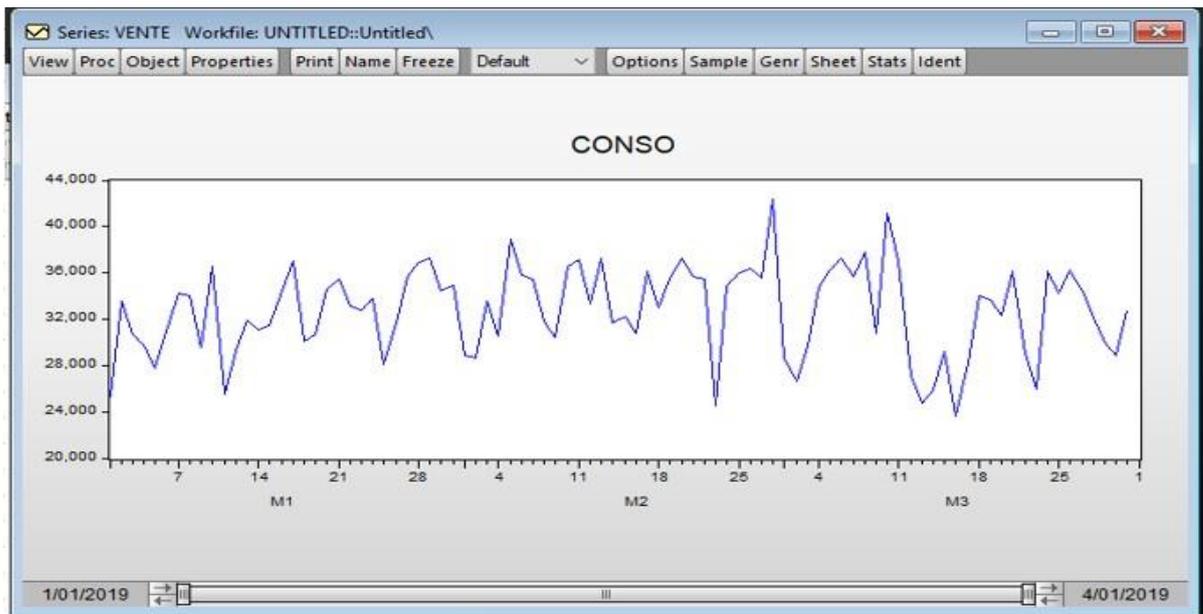


Figure 25: Graphe de la série chronologique consommation

Etape 2 : Test de stationnarité de Dickey-Fuller :

Pour pouvoir procéder à la prévision, nous devons préalablement nous assurer de la stationnarité de la série chronologique. Une série y_t est dite stationnaire, si toutes ses caractéristiques sont invariantes dans le temps, c'est-à-dire pour toute valeur de t :

- $E(y_t) = \mu$;
- $Var(y_t) = \sigma_y^2$;
- $Cov(y_t, y_{t+1}) = E[(y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu)] = \gamma_k$;

Parmi la classe des processus stationnaires, il existe des processus particuliers dont la structure est la plus simple, dits bruits blancs. Un processus aléatoire ε_t est à bruit blanc si pour toute valeur de t :

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

- $E(\varepsilon_t) = 0$;
- $Var(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2$
- $Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t+1}) = 0$;

On parle souvent de bruit blanc gaussien, il s'agit d'un bruit blanc dont la distribution marginale suit une loi normale.

Si le processus ε_t n'est pas à bruit blanc, alors la série n'est pas stationnaire et est du type DS ou TS.

i. Processus TS (Trend Stationary) :

S'écrit sous la forme : $y_t = a + bt + \varepsilon_t$. Ce processus n'est pas stationnaire car il ne vérifie pas la 1^{ère} condition de stationnarité mentionnant l'indépendance de l'espérance de la série chronologique du temps. En effet : $E(y_t) = a + bt$.

Afin de stationnariser un processus TS, nous pouvons appliquer la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

ii. Processus DS (Difference Stationary) :

La formulation mathématique de ces modèles est la suivante : $y_t = y_0 + Tb + \sum_{t=0}^T \varepsilon_t$;

Ainsi :

$E(y_t) = y_0 + Tb$; Espérance constante ;

$Var(y_t) = t \sigma_\varepsilon^2$; Dépendant du temps ; d'où la non stationnarité de la série.

Il existe 2 types de processus DS :

- Processus DS sans dérive : C'est un modèle sans constante significative, il s'écrit sous la forme : $y_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$
- Processus DS avec dérive : C'est un modèle avec constante significative, il s'écrit sous la forme : $y_t = y_{t-1} + b + \varepsilon_t$

Afin de rendre stationnaires les processus DS, il suffit d'appliquer une différenciation sur la série y_t . Une série est dite intégrée d'ordre d si elle est différenciée d fois pour arriver à la stationnarisation.

Pour tester la stationnarité de notre série chronologique, nous avons opté pour le test de Dickey-Fuller (Unit-root test) sur la série de base $Conso_t$. Grace aux résultats de ce test que nous pouvons juger qu'une série chronologique est stationnaire ou pas. Les hypothèses du test sont les suivantes :

$$\begin{aligned} & H_0: \text{Série non stationnaire:} \\ & \quad [1] \quad y_t = \Phi y_{t-1} + \varepsilon_t \\ & \quad [2] \quad y_t = \Phi y_{t-1} + c + \varepsilon_t \\ & \quad [3] \quad y_t = \Phi y_{t-1} + bt + c + \varepsilon_t, \quad \text{avec } \Phi = 1 \text{ et } \varepsilon \text{ est à bruit blanc} \\ \{ & \quad H_1 : \text{Série stationnaire: } |\Phi| < 1 \end{aligned}$$

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Avec :

Φ : Racine unitaire ; c : constance ; b : coefficient de tendance ; ε_t : erreur prévisionnelle

Le modèle [1] représente un modèle sans constante sans constante ni tendance déterministe ;

- Sous H0 : y_t suit une loi aléatoire sans dérive ;
- Sous H1 : y_t suit une loi AR(1).

Le modèle [2] représente un modèle avec constante sans tendance déterministe ;

- Sous H0 : y_t suit un processus de marche aléatoire sans dérive ;
- Sous H1 : y_t suit un processus AR(1) avec dérive.

Le modèle [3] représente un modèle avec constante et tendance déterministe.

- Sous H0 : y_t suit un processus de marche aléatoire sans dérive ;
- Sous H1 : y_t suit un processus AR(1) avec une erreur ARMA.

Une fois les tests vérifient la stationnarité de la série, l'objectif suivant est de déterminer à partir de l'observation des fonctions d'autocorrélation simple et partielle le modèle adéquat dans la famille des modèles de types ARIMA (p, d, q).

Après avoir appliqué le test de Dickey Fuller sur la série chronologique $Conso_t$ les résultats du test sont illustrés dans la Figure 26.

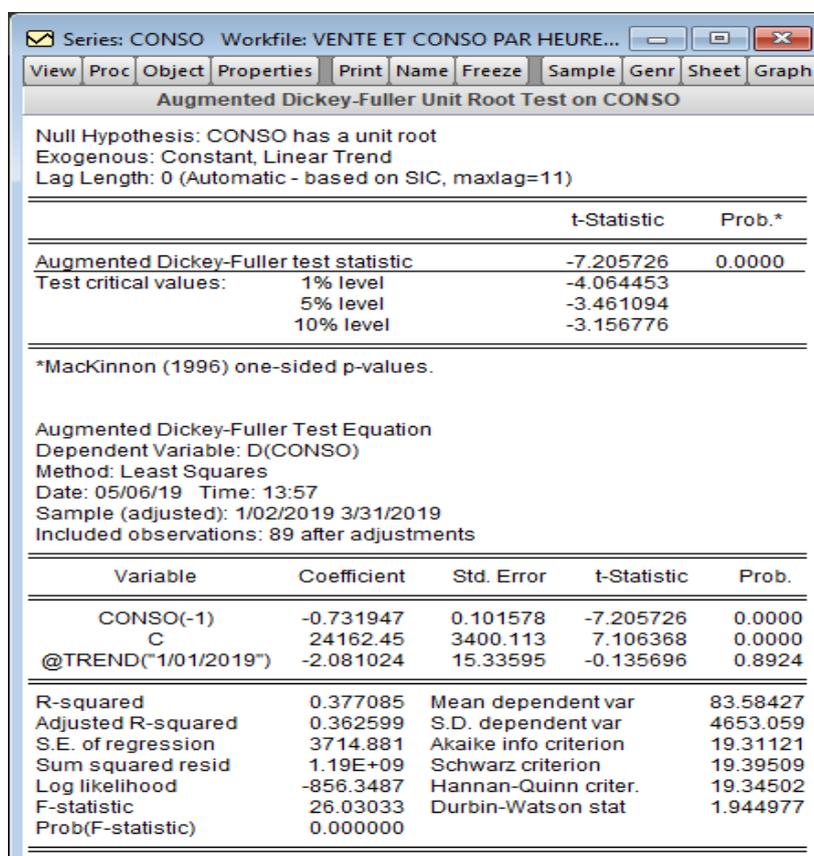


Figure 26 : Test de stationnarité de Dickey-Fuller

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

L'interprétation des résultats obtenus par Eviews est la suivante :

$$Conso_t = \Phi * Conso_{t-1} + b * t + c + \varepsilon_t$$

- Prob (@Trend) = 0,8924 (supérieur à 0,05) ; donc $b=0$;
- Prob (C) = 0,000 (inférieur à 0,05) ; donc $c \neq 0$;
- Prob (Augmented Dickey-Fuller test statistic) = 0,000 (inférieur à 0,05) ;
De plus, t-statistic (5%) = -3,46109 < t-tabulée = 1.96; donc $\varphi=0$;

A partir des résultats obtenus ($b=0$; $c \neq 0$; $\varphi=0$), la série chronologique répond aux critères de la stationnarité.

Étape 3 : Analyse des autocorrélations simples et partielles :

Les fonctions d'autocorrélations simples et partielles correspondent au corrélogramme de la série chronologique. La fonction d'autocorrélation simple (Auto Correlation Fonction (ACF)), mesure la corrélation de série avec elle-même décalée de k périodes. Quant à la fonction d'autocorrélation partielle (Partial Auto Correlation Fonction (PACF)), elle mesure la corrélation entre y_t et y_{t-k} en retirant l'influence des autres variables ($y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t+k+1}$).

La Figure 27 qui correspond au corrélogramme de la série chronologique $Conso_t$, c'est-à-dire, à l'autocorrélogramme de la série (ACF), et à son autocorrélogramme partiel (PACF). Ces fonctions présentent les modèles AR(p) potentiels, quant à ceux du PACF présentent les modèles MA(q) potentiels tel que :

i- Les Modèles AR (p) :

C'est un modèle qui est représenté par un corrélogramme simple exponentiellement décroissant, et un corrélogramme partiel caractérisé par ses p premiers termes nuls. Un processus autorégressif d'ordre p , (AR(p)) est un processus stationnaire y_t qui satisfait l'équation :

$$y_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad ; \text{avec } |\Phi_i| < 1.$$

ii- Modèle MA (q) :

Contrairement aux modèles autorégressifs, les modèles de moyennes mobiles sont caractérisés par les q premières composantes nulles du corrélogramme simple, et une décroissance exponentielle du corrélogramme partielle.

Un processus moyennes mobiles d'ordre q (MA(q)) est un processus stationnaire y_t qui satisfait l'équation :

$$y_t = \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad ; \text{avec } \theta_i = \Phi_i^{-1} \quad \text{et } \Phi_i \text{ inversible.}$$

iii- Le modèle ARIMA (p, d, q) :

Ce modèle est la combinaison des deux modèles précédents, le « d » représente le degré de différenciation ou d'intégration si y en a, dans le cas contraire nous aurons un modèle ARMA.

Pour l'identification des p et q , après analyse de chacune des courbes données par l'ACF et le PACF, nous retenons uniquement les pics sortant de l'intervalle de confiance des corrélogrammes puis, à partir des valeurs retenus nous pouvons faire les combinaisons AR (p), MA (q), ARMA (p, q) possibles.

D'après les deux courbes données par le corrélogramme de la série chronologique (ACF et PACF) illustrées dans la Figure 27, les modèles AR(p) et MA(q) potentiels sont les suivants :

- Les modèles AR(p) tel que $p = \{1 ; 7 ; 14 ; 21 ; 28\}$
- Les modèles MA(q) tel que $q = \{1 ; 7 ; 14\}$

Il est à noter que les modèles ARMA (p, q) (*AutoRegressive–Moving-Average*) sont des modèles autorégressifs d'ordre p (AR (p)) et à moyenne mobile d'ordre q (MA (q)).

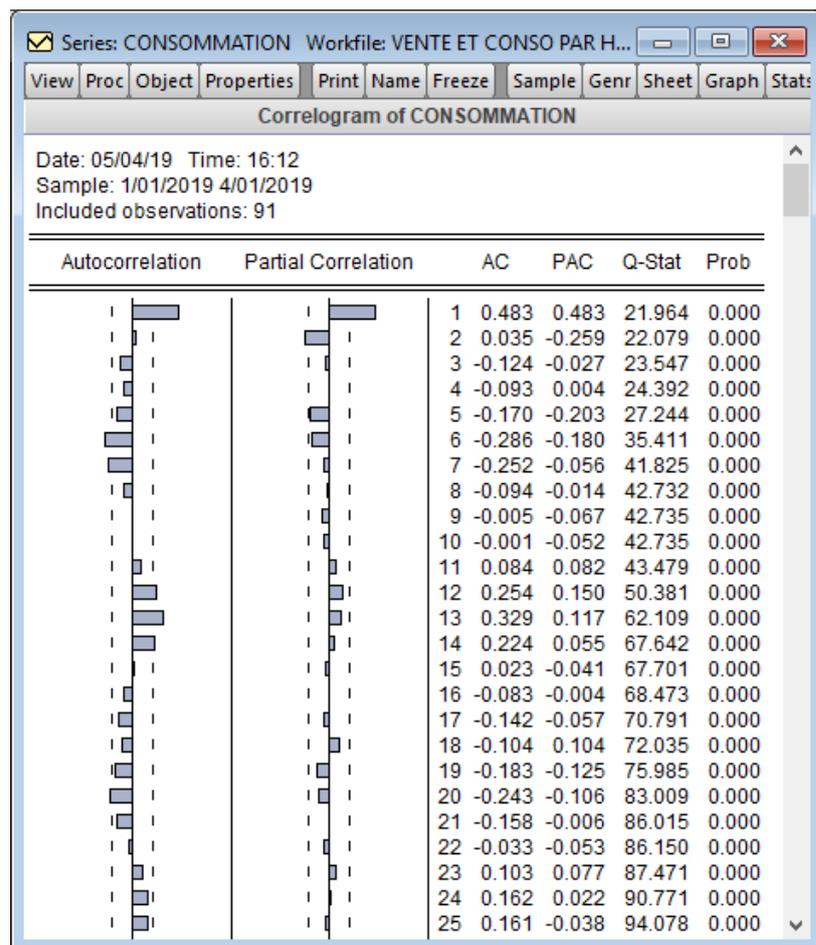


Figure 27: Corrélogramme de la série chronologique consommation

Etape 4 : T-test sur les paramètres :

Afin de tester la significativité des paramètres, nous pouvons effectuer un test de Student sur ces dernières à un risque de 5%. Les hypothèses du test sont les suivantes :

$$\begin{cases} H_0: \text{Les paramètres sont significatifs} \\ H_1: \text{Les paramètres ne sont pas significatifs} \end{cases}$$

Pour se faire, en fonction de la comparaison de la valeur de Student calculée à celle tabulée au risque de 5% soit 1,96 :

- Si le t de Student calculé est supérieur à 1.96 alors les paramètres sont considérés comme étant significatifs ainsi ils seront acceptés
- Sinon les paramètres ne sont pas significatifs et sont donc refusés.

Si la t-statistic du modèle AR(p) ou MA(q) est supérieur à 1.96, ce qui correspond à la valeur tabulée de la table de Student à un risque de 5%, et si de plus, la probabilité des modèles est inférieure à 5%, alors H0 est acceptée. Sinon c'est H1 qui sera acceptée.

Après avoir testé plusieurs combinaisons des modèles ARMA (p, q) telles que : $p=\{1 ; 7 ; 14 ; 21 ; 28\}$ et $q=\{1 ; 7 ; 14\}$. Nous avons retenu que les modèles qui répondait à la première hypothèse H0, soit : MA (1), AR (1), AR (14), ARMA (1,1), ARMA (1, 14), ARMA (14,1), ARMA (14,7), ARMA (7,1), ARMA (7,7).

Etape 5 : Test sur les résidus :

Une fois le test de Student validé, nous avons effectué sur les modèles retenus précédemment les tests sur les résidus concernant leurs normalités et leurs blancheurs.

Nous avons choisi d'utiliser le test de Jarque-Bera, car la statistique de Jarque-Bera est conçue uniquement pour tester la normalité des résidus des séries chronologiques. Les hypothèses de la normalité des résidus sont les suivantes :

$$\begin{cases} H_0: \text{Les résidus suivent une loi normale} \\ H_1: \text{Les résidus ne suivent pas une loi normale} \end{cases}$$

Si la statistique de Jarque-Bera est inférieure à la valeur de $\chi^2_{(0.05)}(2)$, ($\chi^2_{(0.05)} = 5.995$) alors H0 est acceptée, ainsi le résiduel du modèle suit une loi normale, sinon H1 est acceptée et le modèle est rejeté.

Quant au test de blancheur, nous nous sommes référées au corrélogramme Q-statistic. Les hypothèses sont les suivantes :

$$\begin{cases} H_0: \text{Les résidus sont à bruit blanc} \\ H_1: \text{Les résidus ne sont pas à bruit blanc} \end{cases}$$

Si toutes les valeurs de la probabilité de Q-stat sont supérieures à 0.05, H0 est acceptée, donc le modèle est à bruit blanc. Sinon, H1 est acceptée, et nous rejetons le modèle.

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Les modèles qui confirment la normalité et la blancheur sont les suivants : ARMA (7,1) ; ARMA (14,7) ; ARMA (1,14) (Voire annexe)

Etape 6 : Choix du modèle ARMA (p, q) :

A partir des trois modèles retenus précédemment, nous avons procédé à un classement selon les différents critères suivants :

- R² : Coefficient de corrélation multiple ;
- R² ajusté : Coefficient de détermination ajusté ;
- AIC : Critère d'information d'Akaike ;
- SBIC : Critère d'information de Schwarz et Bayenia ;
- HBIC : Critère d'information de Hannan-Quinn.

Pour choisir le modèle le plus optimal, nous devons choisir celui qui maximise tous les critères cités précédemment. (voir les Annexes 6, 7 et 8)

Tableau 5: Récapitulatif des critères de sélection

	R ²	R ² ajusté	AIC	SBIC	HBIC
ARMA (7,1)	0,47	0,51	20,07	20,15	20,10
ARMA (14,7)	0,43	0,46	20,11	20,19	20,14
ARMA (1,14)	0,29	0,32	19,73	19,81	19,76

D'après le Tableau 5, nous déduisons que le modèle qui maximise les critères de sélection est le modèle : ARMA (7,1).

Après avoir effectué une prévision temporaire sur ce modèle tel que, pour un modèle ARMA (p, q), la prévision s'écrit comme suit :

$$\hat{y}_{t+h} = \hat{\Phi}y_{t+h-1} + \hat{\Phi}y_{t+h-2} + \dots + \hat{\Phi}y_{t+h-p} - \hat{\theta}\epsilon_{t+h-1} - \hat{\theta}\epsilon_{t+h-2} - \dots - \hat{\theta}\epsilon_{t+h-q}$$

- $\hat{\Phi}$; $1 \leq i \leq p$; estimation des paramètres d'autocorrélations
- $\hat{\theta}$; $1 \leq j \leq q$; Estimations des paramètres de moyennes mobiles

Il est nécessaire de valider la performance de ce dernier. Nous avons utilisé pour cette validation, l'indicateur de performance concernant la moyenne du pourcentage d'erreur absolue MAPE (Mean Absolute Pourcentage Error), et calculé le taux de réalité (TR) tel que :

$$- \text{MAPE} (\%) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{d_t}}{n} * 100$$

$$- \text{TR} (\%) = 100 - \text{MAPE}$$

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Nous avons ainsi obtenu une erreur avoisinant 18%. Nous en déduisons donc, un taux de réalité de 82%. Ces résultats sont illustrés dans les deux Figures 28 et 29 suivantes :

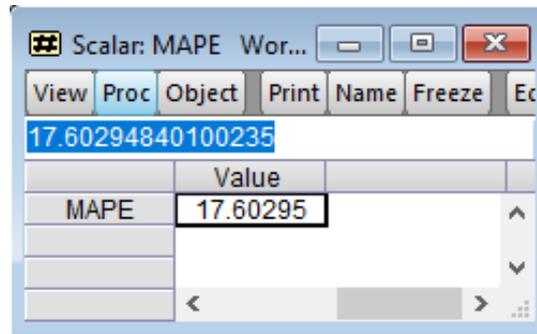


Figure 28: MAPE du modèle ARMA(7,1)

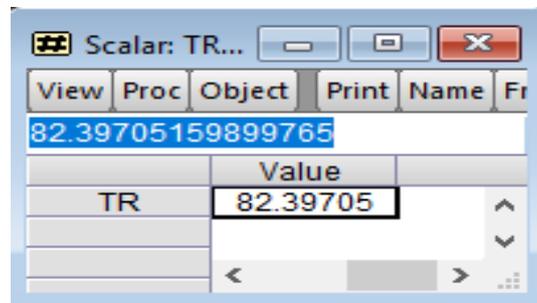


Figure 29: MAPE du modèle ARMA(7,1)

Pour améliorer ce modèle, nous avons choisi d'intégrer plus d'informations en prenant en considération le corrélogramme donné à partir du test de résidus Q-stat de la Figure 30.

Les informations pouvant être intégrées pour un meilleur modèles sont : AR (2) ; AR (7) ; MA (2) ; MA (7) ; MA (9).

Après avoir testé les paramètres et les résidus sur les combinaisons possibles, partant du modèle AR (7) MA (1). Nous avons conclu que le modèle le plus optimal répondant à tous les critères et donnant le meilleur taux de réalité était le modèle : AR (7) AR (2) MA (1) MA (7).

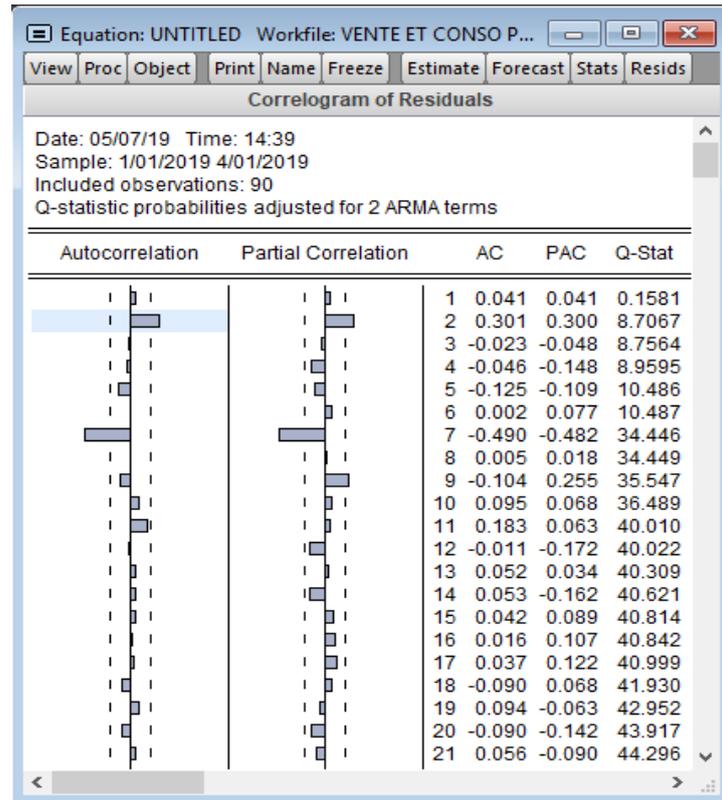


Figure 30: Correlogramme donné par le modèle ARMA(7,1)

Etape 7 : Calcul et évaluation de la prévision de la demande :

Une fois le meilleur modèle choisi et validé, nous passons à la prévision suivant l'horizon de planification h voulu, en d'autres termes déterminer les valeurs de $(y_{t+1}, y_{t+2}, \dots, y_{t+h})$

Le modèle AR (7) AR (2) MA (1) MA (7) étant validé, nous avons effectué la prévision et calculé l'ERMA ainsi que le TR. Les résultats sont donnés par les Figures suivantes :

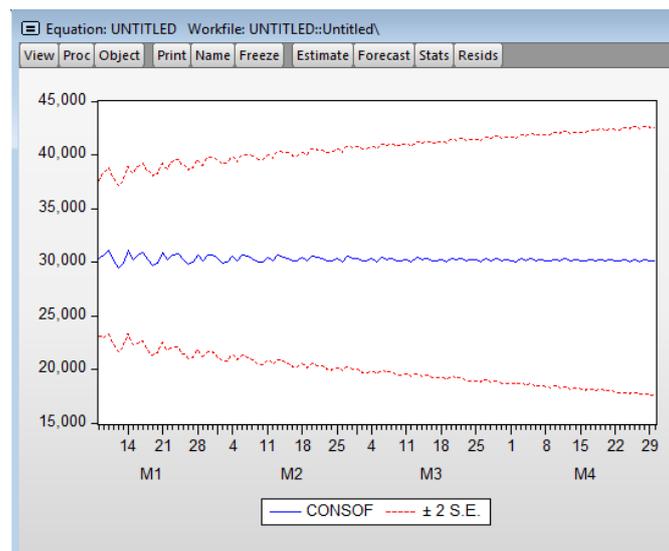


Figure 31: Résultats de la prévision

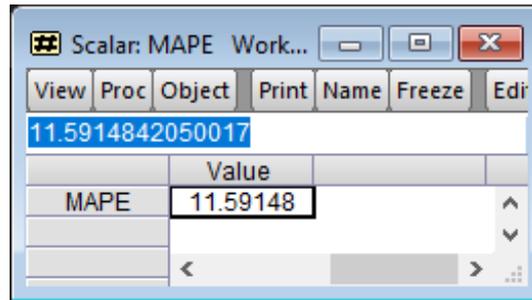


Figure 32: MAPE du modèle final

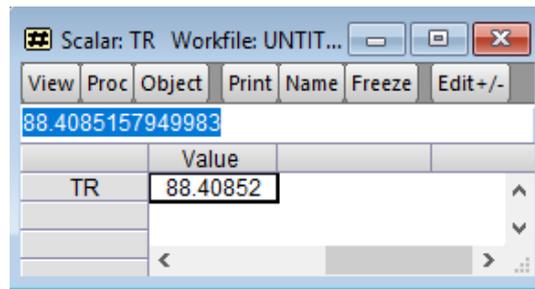


Figure 33: Taux de réalité du modèle final

La prévision effectuée permettra d'avoir une meilleure visibilité sur la nature de la demande, qui dans notre cas demeure stationnaire, avec une erreur d'environ 12%. Ces deux paramètres seront intégrés par la suite dans le calcul du stock de sécurité qui permettra d'éliminer les éventuels risques liés aux ruptures de stocks.

Notons que le calcul du stock de sécurité varie en fonction de la nature de la demande et du délai de livraison. La demande étant cernée par la prévision à 88%, la détermination du délai de livraison fera l'objet du point suivant qui garantira par la suite la fiabilité de la valeur du stock de sécurité final calculée.

II-1-2- Détermination de la loi de distribution des délais de livraison

Une fois la prévision effectuée et la nature de la demande cernée, nous avons procédé à la détermination de la loi de probabilité régie par les délais de livraisons. Pour cela, nous nous sommes tout d'abord rapprochés du responsable logistique de la station-service pour connaître l'heure de la passation de commande ainsi que l'heure de livraison. Ce dernier nous a informé que toutes les commandes s'effectuent quotidiennement à 8h00 du matin pour une livraison prévue le lendemain, exceptée pour le week-end où la prise de commande se passe le jeudi, pour des commandes livrées le vendredi, le samedi et le dimanche. Quant au moment de la livraison, nous avons retenu l'heure de chaque réapprovisionnement à partir du système Fuel Prime. Nous avons par la suite calculé le temps écoulé entre la passation de commande et l'heure du réapprovisionnement.

Une fois les données concernant les délais de livraison acquises, nous avons effectué le test de normalité « QQ-plot et droite de Henry » sur ces dernières à partir d'un classeur « Excel version 2016 ». Le résultat du test est donné par la Figure suivante :

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

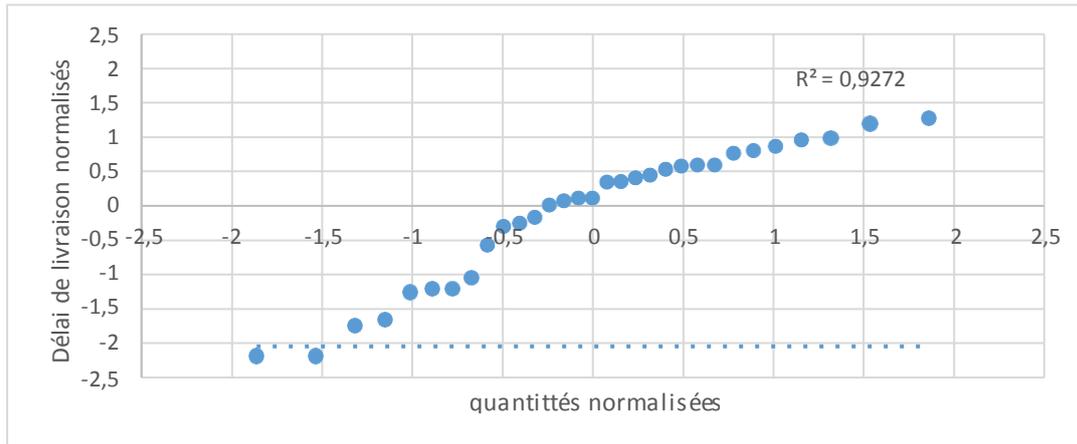


Figure 34: Test de normalité de la droite de Henry

D'après le graphique obtenu par la Figure 34, nous constatons que les points sont fortement corrélés ($R^2 \approx 1$) à la droite de Henry de pente égale à 1, étant donné le coefficient de corrélation R^2 égale à 0.9272.

Nous pouvons conclure que le délai de livraison du carburant suit une loi normale de moyenne $\mu = 1.32$ jours et d'un écart type $\sigma = 0.133$ jours.

II-1-3- Calcul du stock de sécurité

Une fois la loi régissant les délais de livraisons validée (loi normale) ainsi que l'erreur de prévision déterminée, nous pouvons calculer le stock de sécurité absorbant l'incertitude des délais de livraisons, et prévenant la variation de la consommation future.

Etant donné que la station-service se considère en rupture de stock à 10% de la capacité totale de la cuve soit à 5000 litres, nous prendrons comme origine cette valeur pour le calcul du stock de sécurité.

La loi qui généralise le calcul du stock de sécurité pour un délai de livraison ainsi qu'une demande variable est la suivante :

$$SS = 10\,000 + z * \sqrt{D_L * \sigma_D^2 + D^2 * \sigma_{DL}^2}$$

Où :

SS : Stock de sécurité ;

z : Coefficient de service pour un risque de 5% ;

D_L : Délai moyen de livraison ;

σ_{DL} : Ecart type du délai de livraison ;

D : Demande moyenne ;

σ_D : Ecart type de la demande.

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Afin de tenir compte du facteur d'erreur de la prévision de la demande, en s'inspirant de la démarche de Herrin (2005) qui s'appuie sur l'incertitude de la demande des produits hautement saisonniers, nous avons intégré cette erreur dans le calcul de l'écart type de la consommation comme suivant :

$$\sigma_{D=}\sqrt{\frac{\sum_i e_i^2}{n-1}} \quad \text{où} \quad e_i = P_i - D_i$$

Avec :

e_i : L'écart de prévision du jour i ;

P_i : La prévision de la demande pour le jour i ;

D_i : La consommation réelle du jour i ;

n : Taille des données ;

Application numérique :

Afin de déterminer la valeur du stock de sécurité, nous proposons de calculer ce niveau à un risque de 90%. Pour cela, nous avons pris comme échantillon 83 données, la demande moyenne D de 30282,65 DA, le délai de livraison suivant une loi normale d'une moyenne 1.32 jours et un écart type de 0.133 jours ($D_L \sim N(1.32 ; 0.133)$).

D'après la loi déterminant le stock de sécurité, nous avons eu comme résultat :

$SS=20\ 105$ litres, soit une quantité de **10 054** litres pour chaque cuve de capacité de 50 000 litres soit environ **20%** de la capacité totale.

II-2- Réduction des pertes liées aux sur stockages

Pour remédier aux problèmes liés aux sur-stockage, nous proposons d'adopter une politique de réapprovisionnement adéquate. Etant donné l'instabilité des délais de réapprovisionnement et la variabilité de la consommation journalière, nous avons opté pour une politique avec une quantité à commander fixe et une périodicité variable, c'est-à-dire déterminer un point de commande approprié.

Après avoir calculé le stock de sécurité, et déterminé la loi de distribution régissant les délais de livraisons et prévu la demande future, nous pouvons à présent déterminer le point de commande P_c selon la formule suivante :

$$P_c = SS + D * D_L$$

Ayant un stock de sécurité d'une valeur de 10107 litres, une demande moyenne D de 30282,65 litres et un délai de livraison d'une moyenne de 1.32 jours, d'après la loi déterminant le seuil de commande, nous avons eu comme résultat : $P_c = 60081$ litres, soit **30040** litres pour chaque

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

cuve. Ainsi, lancer une commande de réapprovisionnement lorsque le réservoir atteint **60%** de sa capacité maximale.

II-3- Résolution des problèmes liés aux arrêts de l'activité de la station-service

Quotidiennement, la station-service se trouve dans l'obligation d'arrêter son activité de distribution tout au long du temps de remplissage des cuves, tout en sachant que plusieurs camions citernes contenant différents types de carburants commandés peuvent arriver à tout moment de la journée, plusieurs fois par jour pour effectuer le dépotage, et pouvant durer jusqu'à 2h de temps.

Les causes d'arrêts de la station-service, pendant ce réapprovisionnement, sont principalement liées aux risques d'incendies et d'explosions en cours du dépotage. En effet, En cas de fuite de carburant pendant le déchargement, des nuages inflammables ou des nappes circulaires d'essences peuvent se former causant ainsi des accidents. Les causes potentielles de ces phénomènes peuvent provenir de multiples sources :

- Sources électrique : Batterie de voiture, Batterie de téléphone, etc. Causant des étincelles, des échauffements, ou autre.
- Source thermique : Comportements humains (Cigarettes, flammes nues, briquets, travaux par point chauds, etc.)
- Source mécanique : Etincelles résultants de frictions, de choc ou d'abrasion, d'échauffements, etc.

La distance séparant la bouche de dépotage et les volucompteurs ne dépasse pas les 5 mètres. Cette distance, trop courte, peut engendrer des risques d'explosions ou de propagation d'incendie à la station-service durant l'activité de dépotage. Pour y remédier, la station stoppe l'arrivée des véhicules à une distance estimée de 10 à 15 mètres pendant le réapprovisionnement causant ainsi l'arrêt de fonctionnement des volucompteurs.

Nous avons estimé le manque à gagner causé par l'arrêt de la station durant les périodes de réapprovisionnements du mois de janvier à plus de 1.2 millions de dinars (déduite à partir des résultats obtenus dans la partie diagnostic du chapitre 1), soit près de 14 millions de dinars par an, représentant ainsi une grande partie des coûts totaux.

Pour pallier aux coûts dus à l'arrêt des stations-services pendant l'approvisionnement, plusieurs solutions peuvent être mises en avant. La première consiste à re-disposer tous les emplacements des cuves, la deuxième à installer de nouvelles cuves dédiées au dépotage, et en fin une solution qui consiste à déplacer les bouches d'empotages.

II-3-1- Re-disposition des emplacements des cuves

L'une des solutions possibles consiste à déplacer toutes les cuves à un endroit éloigné des volucompteurs. Par conséquent, effectuer une nouvelle installation et organisation de telle sorte à séparer le plus possible la zone de distribution des carburants, et la zone de stockage et de

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

dépotage. Ainsi, les risques d'accidents causés par la proximité des véhicules avec les camions citernes lors du réapprovisionnement sera réduit. De ce fait, l'activité de station n'aura pas à être interrompue.

Avantages de cette solution :

- La re-disposition permet un libre choix quant aux emplacements des cuves, ce qui permet d'exploiter au mieux les ressources de cette station (une disposition optimale). Cette nouvelle disposition permettra une éventuelle possibilité de libérer plus d'espace pour de nouvelles installations ou investissements, pouvant ainsi être représentée comme un gain pour la station-service.
- Elle permet de prendre en compte les différents risques liés aux incendies et aux explosions, qui ont pu être négligés lors de la conception initiale de la station (les cuves ont été installés en 1989).

Inconvénients de cette solution :

- Cette solution est lourde de réalisation. En effet, il faudrait déterrer les cuves existantes puis, créer un nouvel emplacement sous terrain pour leurs installations, démolir toutes les infrastructures (bureaux administratifs, restauration, vidange, lavage, etc.) pour une nouvelle conception de la station-service.
- La re-disposition demande une longue et contraignante procédure administrative. En effet, le projet ne peut débuter qu'une fois les permis et les autorisations acquises, remises par les différentes organisations : Les autorités de régulation des hydrocarbures, l'office national de métrologie légale, (ceux qui délivrent les permis de construction).
- Cette nouvelle conception nécessite une main d'œuvre importante et expérimentée.
- En vue de sa lourde réalisation, elle nécessite un long délai d'exécution pouvant aller de 2 à 5 ans d'après les estimations de la station-service.
- Cette solution est très coûteuse de par l'étude préliminaire faite par des experts externes, du coût d'investissement comprenant la main d'œuvre, les matériaux et matériels utilisés, l'arrêt de la station tout au long du projet, etc.

II-3-2- Installation de cuves de dépotage

La deuxième solution proposée, est de construire de nouvelles cuves dédiées au dépotage, c'est-à-dire constituer un stock tampon. Ainsi, le déchargement sera effectué temporairement dans de nouvelles cuves d'une capacité de 50 000 litres pour les trois types de carburants (Gasoil, sans plomb, super) éloignés des volucompteurs, en attendant le transfert définitif dans les cuves initiales réalisées pendant les heures de fermetures de la station-service (23h00 – 6h00). Par conséquent, le réapprovisionnement n'affectera pas l'activité de la station.

Avantages de cette solution :

- L'ajout de nouvelles cuves permet d'augmenter la capacité de stockage. En effet, la station dispose actuellement de 16 000 m² de surface donc seulement 5000 m² exploités.

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Ces nouvelles cuves permettront d'optimiser l'espace disponible, ainsi améliorer la réactivité de la station-service.

- La solution permet de réduire les fréquences de prise de commande ainsi que les probabilités de ruptures de stocks.

Inconvénients de cette solution :

- Cette solution nécessite une main d'œuvre supplémentaire par rapport à la solution précédente. En effet, le transport du carburant de la nouvelle cuve à l'ancienne demande le recrutement de nouveaux employés de nuit chargés de cette tâche.
- Elle nécessite un lourd investissement quant à l'achat de nouvelles cuves et de leurs installations ainsi qu'une étude de faisabilité faite préalablement par des experts externes.
- Elle génère d'autres types de risques liés aux éventuels fuites de produit lors du transfert du carburant. De plus, l'installation de nouvelles cuves amplifie les risques d'explosion et d'incendies déjà existants.
- La difficulté d'obtention des accords relatifs aux autorités de régulations des hydrocarbures.

II-3-3- Déplacement des bouches d'empotage

Le principe de cette solution est de déplacer la zone de réapprovisionnement, en créant de nouvelles bouches d'empotage à une distance de sécurité 17m des volucompteurs (distance estimée par la station-service), tout en maintenant les cuves à leurs emplacements initiaux. Il convient de les relier à l'aide de tuyaux souterrains inclinés par un angle supérieur ou égal à 10%, provoquant ainsi un approvisionnement par gravitation. De ce fait la station-service ne suspendra pas son activité lors du déchargement.

Avantages de cette solution :

- Cette solution représente la solution la moins lourde d'exécution des trois solutions proposées. En effet, elle permet d'éliminer les coûts dus aux réapprovisionnements sans impacter l'activité de la station pendant la réalisation des travaux.
- Elle représente la solution la moins risquée puisqu'il s'agit de garder la même installation initiale et de relier les bouches de dépotage aux cuves à l'aide de tuyaux.
- Le déplacement des bouches d'empotage représente la solution la moins coûteuse par rapport aux deux solutions proposées précédemment, car elle ne nécessite moins de ressources humaines et matérielles quant à la réalisation.

Inconvénients de cette solution :

- Cette solution nécessite une étude approfondie quant à la faisabilité d'installation de tuyaux en déterminant le bon angle et la bonne direction afin de relier la bouche d'empotage à la cuve correspondante.
- Ce déplacement est efficace à court et à moyen terme, mais ne permet pas une optimisation de l'espace disponible à long terme (ne pas rentabiliser les 11 000 m² restants disponibles).

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Nous pouvons conclure que le choix entre les trois solutions citées précédemment dépend des objectifs et des moyens mis en avant par la station-service, autrement dit, en fonction des fonds d'investissements de la station-service et de ses objectifs visés à court ou à long terme. En effet, si la station-service dispose d'un grand capital d'investissement (suffisant pour un effectuer un éventuel réaménagement) et vise une optimisation à long terme, la première solution serait plus appropriée. Si elle vise une optimisation à long terme mais ne dispose de fonds suffisants pour la re-disposition de ses infrastructures, l'installation des cuves de dépotage serait plus adéquat. Enfin, si la station-service dispose d'une faible capacité d'investissement, et ayant des objectifs d'optimisation à court terme, la meilleure solution serait de déplacer les bouches d'empotage.

L'arrêt de l'activité de la station-service durant son réapprovisionnement constitue l'un de ses principaux problèmes. Son objectif majeur est de réduire, le plus rapidement possible, les pertes dû à ces arrêts. Ainsi, son objectif est à court terme. De plus, après avoir exposé les trois solutions avec les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles à la station-service, cette dernière a opté pour la troisième solution consistant à déplacer les bouches d'empotage à une distance permettant la continuité de son activité.

III- Amélioration de la performance externe de la station-service (supply chain aval)

En plus des problèmes concernant la gestion interne de la station-service à savoir la gestion des stocks, la compréhension de la nature de la demande, les arrêts dus aux approvisionnements, la station-service doit anticiper sur certains risques liés à la sous-optimalité liée à la gestion de la distribution du carburant opérée par son distributeur principal. Ces risques impactent l'activité de la station-service par ses retards de livraisons et leurs instabilités ainsi que par les écarts entre les quantités commandées et les quantités livrées.

Afin de remédier aux dysfonctionnements externes causés par le distributeur de la station-service, nous nous sommes intéressées à la stratégie de distribution, en l'occurrence à la supply chain en aval de NAFTAL (Unique distributeur de carburant de la station-service de Garidi), et aux éventuelles contraintes qu'elle rencontre. Après nous être adressées aux responsables de transport du centre de distribution de « Kherouba », les contraintes observées sont les suivantes :

- Capacité limitée de camion-citerne : seulement 17 camions pour 70 stations-services à approvisionner au niveau d'Alger
- Nombre importants de commandes journalières. En effet, les stations peuvent lancer jusqu'à deux commandes par jour. Pour 70 stations, le distributeur se trouve dans l'obligation de satisfaire jusqu'à 140 commandes en une journée.
- Répartition géographique aléatoire des stations-services par rapport au centre de distribution de NAFTAL (Kharouba)
- Une réglementation qui interdit la circulation des camions dans le centre-ville (zone bleu) d'Alger de 20h00 à 6h00 (brigade de nuit) la fluidité de la circulation automobile et réglementer le stationnement au niveau de la capitale.

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

- Variabilité des quantités commandées par chacune des stations-service
- La variété des types de carburants : Quatre types (Gasol, sans plomb, super, GPL)

Pour satisfaire toutes les commandes lancées par les stations-services, tout en tenant compte de ces contraintes, le distributeur NAFTAL utilise un logiciel qui liste toutes les allocations des camions citernes aux stations-services et donne toutes les combinaisons possibles de fusions de commandes des stations-services ne nécessitant qu'une partie d'un camion. Ces allocations se font en priorisant l'ordre FIFO des prises de commandes pour toutes les stations devant être livrées le jour j , excepté les stations se situant dans la zone bleue. Ces dernières nécessitent une organisation particulière en raison de la réglementation interdisant la circulation des camions citernes pendant la journée (de 6h00 à 20h00). De ce fait, ces stations sont regroupées en un secteur, et affectées à la brigade de nuit (de 20h00 à 4h00).

La stratégie adoptée par NAFTAL connaît une sous-optimalité étant donné la prise en considération unique de l'ordre FIFO. En effet, certains ajustements concernant la fusion des compartiments des camions selon les distances ainsi que les quantités à livrer par les stations sont impératifs. Ces ajustements se font donc manuellement, ainsi une intervention humaine est nécessaire, d'où l'existence de cette sous-optimalité.

Pour remédier à cette sous-optimalité, nous proposons dans un premier temps d'écrire un modèle mathématique traduisant et optimisant le problème de tournées du distributeur NAFTAL, tout en prenant en compte les différentes contraintes énumérées précédemment. Nous passerons par la suite, à l'élaboration d'une heuristique pour la résolution de ce modèle.

III-1- Modèle mathématique

Le but de ce modèle est de déterminer pour chaque période de planification, les tournées à effectuer par chacun des camions ainsi que les produits à livrer de façon à minimiser la somme des coûts de trajets. Pour ce faire, nous avons adapté notre modèle à partir des travaux de Taqa-Allah et al. (2000).

Pour le cas du distributeur NAFTAL, le temps régulier représente le temps nécessaire pour prendre en compte toutes les commandes lancées par les stations-service. De ce fait, aucune heure supplémentaire n'est tolérée. De plus, NAFTAL est chargée de la gestion de distribution du carburant et non pas la gestion de stocks des stations-services. Par conséquent, pour traiter ce problème, nous faisons les hypothèses suivantes :

- A chaque visite, un ou plusieurs produits doivent être livrés aux stations-services ;
- Le parc de camions utilisés pour le transport comporte plusieurs compartiments, dits citernes ;
- Les camions peuvent visiter plusieurs stations-service au cours du même voyage ;
- Les camions utilisés pour approvisionner les stations-services ne sont munis d'aucun débitmètre, ni d'aucun autre dispositif permettant de mesurer la quantité versée à partir d'un compartiment. Par conséquent, le contenu d'un compartiment doit être transvasé au complet dans un seul réservoir, donc chaque citerne ne peut transporter qu'un seul type de produit (gasol, essence sans plomb, essence super) ;

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

- Le parc de camions citernes est localisé au dépôt central, et est composé d'un ensemble de camions identiques ;
- Chaque camion possède un nombre de citerne égal ;
- Tous les compartiments de camions peuvent être utilisés pour transporter tous types de produit. Le passage d'un produit à l'autre ne nécessite aucune préparation particulière (nettoyage) ;
- Le temps de chargement des camions citernes est constant ;
- Les chauffeurs travaillent un nombre fixe d'heures par jour, dit heures régulières.

1- Données :

Les données nécessaires à la résolution de notre problème sont :

- N : Le nombre de stations à visiter ;
- M : Le nombre de camions utilisés pour l'approvisionnement ;
- R : Le nombre de produit à transporter ;
- W : Le nombre de compartiments de chaque camion ;
- T : Le nombre de période composant l'horizon de planification (nombre de brigades) ;
- V : Le nombre maximal de voyage par camion et par période ;
- τ : Le temps de chargement au dépôt central ;
- i : L'indice des stations, $i = 0, 1, \dots, N$, (0 représente le centre de distribution) ;
- p : L'indice des produits, $p = 1, \dots, R$;
- k : L'indice des camions, $k = 1, \dots, M$;
- w : L'indice des compartiments $w = 1, \dots, W$;
- t : L'indice des périodes, $t = 1, \dots, T$;
- v : L'indice des voyages, $v = 1, \dots, V$;
- U_i : Le temps de déchargement à la station i ;
- L : Le nombre d'heures régulières par période pour chaque camion ;
- F_{ij} : coût du trajet entre la station i et j , qui représente la distance entre les deux stations multipliées par un coût unitaire incluant le coût de l'arrêt à la station j , le coût d'une heure régulière ainsi que le coût de dépréciation du camion ;
- Q_w : Capacité de la citerne w d'un camion ;
- d_{ij} : Le temps du trajet i et la station j ;
- Q_{ipwt} : La quantité à livrer du produit p dans la citerne w du camion qui visite la station i à la période t .

2- Variables de décisions :

Soient les variables de décision nécessaires pour la formulation de ce modèle :

X_{ikvt} : Une variable binaire égale à 1 si la station i est approvisionnée par le camion k durant le voyage v à la période t ; sinon 0 ;

Y_{ipwt} : une variable binaire égale à 1 si le produit p est alloué à la citerne w lors de l'approvisionnement de la station i à la période t ; sinon 0 ;

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Z_{ijkvt} : une variable binaire égale à 1 si le camion k visite durant le voyage v la station j immédiatement après la station i à la période t ; sinon 0.

$i = 0, 1, \dots, N$; $p = 1, \dots, R$; $k = 1, \dots, M$; $w = 1, \dots, W$; $t = 1, \dots, T$; $v = 1, \dots, V$

3- Fonction objectif :

L'objectif du modèle minimise la somme des coûts variables sur l'horizon de planification. Le coût de trajet est comptabilisé si et seulement si le trajet entre deux stations i et j est fait par un camion k durant un voyage v à une période t , d'où la fonction objectif « Fo » suivante :

$$Fo(\min) = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N \sum_{i \neq j} \sum_{v=1}^V F_{ij} Z_{ijkv} \quad (4)$$

4- Les contraintes :

Les contraintes relatives à la fonction objectif de ce modèle concernent les heures de travail, les capacités des citernes, les stations à approvisionner durant le même voyage, les produits alloués aux citernes et enfin les contraintes relatives aux approvisionnements.

4.1- Contrainte relative au respect des heures régulières :

$$\sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N (d_{oj} + \tau) Z_{ojkvt} + \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N (d_{ij} + u_i) Z_{ijkvt} \leq L, \quad (5)$$

$$k = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T$$

Cette contrainte assure que pour chaque camion et pour chaque période, le nombre d'heure de travail ne dépasse pas le nombre d'heures autorisés (heure régulières), incluant le temps de chargement à partir du dépôt, le temps du trajet entre deux points (dépôt ou station) et le temps de déchargement à une station i .

4.2- Contrainte relative aux capacités des citernes :

$$Q_{ipwt} \leq Y_{ipwt} q_w \quad (6)$$

$$i = 1, \dots, N; p = 1, \dots, R; w = 1, \dots, W; t = 1, \dots, T$$

Cette contrainte garantit que la quantité livrée à une station ne dépasse pas la quantité de la citerne utilisée.

4.3- Contrainte relative au nombre de station à approvisionner durant un même voyage :

$$\sum_{i=1}^N (Z_{ikvt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} + Z_{i0kvt}) \leq W + 1 \quad (7)$$

$$k = 1, \dots, M ; v = 1, \dots, V ; t = 1, \dots, T$$

La contrainte assure que le nombre de stations visitées pendant un même voyage ne pourra dépasser le nombre de citernes d'un camion, sans tenir compte du retour du camion au dépôt.

4.4- Contrainte relative aux allocations d'un produit :

$$Y_{ipwt} \leq \sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \quad (8)$$

$$i = 1, \dots, N ; p = 1, \dots, R ; w = 1, \dots, W ; t = 1, \dots, T$$

La contrainte assure que l'affectation d'un compartiment à la livraison d'un produit à une station ne se fera que si la station doit être approvisionnée.

4.5- Contraintes relatives aux approvisionnements

$$\sum_{w=1}^W \sum_{p=1}^R Y_{ipwt} \geq \sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, N ; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \leq 1 \quad (10)$$

$$i = 1, \dots, N ; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} = X_{ikvt} \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, N ; k = 1, \dots, M ; v = 1, \dots, V ; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} = X_{jkt} \quad (12)$$

$$j = 1, \dots, N ; k = 1, \dots, M ; v = 1, \dots, V ; t = 1, \dots, T$$

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

La contrainte (9) garantit que si une station i doit être livrée durant un voyage v d'une période t par un camion k , cette station sera approvisionnée d'au moins un compartiment

La contrainte (10) assure que la station i ne peut être approvisionnée qu'une seule fois par voyage v par le même camion k .

La contrainte (11) garantit qu'au plus une station sera visitée immédiatement après une station i tandis que la contrainte (12) garantit qu'au plus une station a été visitée avant la station i

5- Modèle mathématique :

Une fois la fonction objectif et les contraintes déterminées, nous pouvons écrire le programme linéaire « P » optimisant la planification de tournées t relatif au problème de distribution suivant :

$$\begin{aligned}
 & Fo(\min) = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{i \neq j}^n \sum_{v=1}^V F_{ij} Z_{ijkvt} \\
 & \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N (d_{oj} + \tau) Z_{ojkvt} + \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N (d_{ij} + u_i) Z_{ijkvt} \leq L \\
 & Q_{ipwt} \leq Y_{ipwt} q_w \\
 & \sum_{i=1}^N (Z_{ikvt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} + Z_{i0kvt}) \leq W + 1 \\
 & \sum_{w=1}^W \sum_{p=1}^R Y_{ipwt} \geq \sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \\
 & Y_{ipwt} \leq \sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \\
 & \sum_{k=1}^M \sum_{v=1}^V X_{ikvt} \leq 1 \\
 & \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} = X_{ikvt} \\
 & \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Z_{ijkvt} = X_{jkvt}
 \end{aligned}$$

P:

{

III-2- Résolution du problème

Afin de résoudre le problème mathématique, nous proposons de calculer préalablement le nombre de variables et de contraintes associés à ce modèle. Nous obtenons les résultats suivants :

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Le nombre de variables associés au modèle correspond à la somme de variables ci-dessous :

- Le nombre de variables associés à l'approvisionnement par la camion k durant le voyage v à la période t (X_{ikvt}) est : $N * M * V * T$
- Le nombre de variables associés à l'allocation du produit à la citerne w lors de l'approvisionnement de la station i à la période t (Y_{ipwt}) est : $N * R * W * T$.
- Le nombre variables associés au visite du camion k durant le voyage v de la station j immédiatement après la station i à la période t (Z_{ijkvt}) : $N * N * M * V * T$

Soit un total de $N * T * [M * V (N + 2) + R * W]$ variables.

Quant au nombre de contraintes constituant le modèle précédent, il est présenté comme suit :

- Le nombre de contraintes relatif au respect des heures régulières est : $M * T$
- Le nombre de contraintes relatif aux capacités des citernes est : $N * R * W * T$
- Le nombre de contraintes relatif nombre de stations-services à approvisionnement durant un même voyage : $M * V * T$
- Le nombre de contraintes relatif aux allocations d'un produit est : $N * R * W * T$
- Le nombre de contraintes relatif aux approvisionnement est : $2 * N * T + 2 * N * M * V * T$

Soit un total de $T [M * V (1 + 2 * N) + N (2 + 2 * R * W) + M]$ contraintes.

Donc, pour un problème comportant 20 stations, 17 camions contenant 4 compartiments chacun, 3 types de produits, un horizon de planification de 3 périodes et un maximum de 5 voyages par camion et par période, nous obtiendrons 112 920 variables, et 12 066 contraintes. Nous constatons donc que pour l'utilisation d'un tel modèle pour la résolution de problèmes avec un nombre plus important de stations, de camions et de voyages est pratiquement impossible à l'aide des logiciels commerciaux disponibles. Ceci nous a orienté à l'utilisation d'une heuristique pour la résolution de ce problème.

Dans cette partie, nous allons proposer une méthode approchée qui nous mènera à une planification approchée de tournées à effectuer par chaque camion, ainsi que les produits à livrer de façon à réduire et stabiliser les délais de livraisons, et satisfaire toutes les commandes lancées par les différentes stations-services.

Pour l'élaboration de cette heuristique, nous proposons une approche où les camions peuvent visiter plusieurs stations au cours d'un même voyage. Par conséquent, ces dernières ne reçoivent pas nécessairement tous les produits au cours d'une même visite. Les stations-services sont répartis selon leurs positions géographiques en K secteurs. Tous les camions ont une même capacité comportant 4 compartiments parfaitement identiques, donc au plus 4 stations peuvent être visités au cours d'un même voyage. Une commande concerne une quantité à approvisionner d'un seul type de produit ne provenant que d'une seule station-service, donc une station peut lancer plusieurs commandes. Ces dernières sont affectées à 3 différentes brigades, deux brigades de jour (8h00-14h00 ; 14h00-20h00) et une brigade de nuit (20h00-4h00). Chacune d'entre elles comprend un nombre de chauffeur égal au nombre de camions utilisés pour le

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

réapprovisionnement. La rotation des chauffeurs se fait à la fin de chaque brigade (nous disposons de 4 groupes de chauffeurs, 3 groupes affectés aux 3 brigades et un groupe de repos).

Il est à souligner que le centre de distribution de NAFTAL situé à Kharouba, nous a informé que prenant en compte la somme du temps de chargement des camions à partir du dépôt, le temps de déchargement aux stations-services et le temps moyen du trajet effectué, était de 7h45mn. Par conséquent NAFTAL a réparti l'horizon de planification (qui est d'une journée) en trois brigades de 8h. Ainsi toutes les stations-services seront livrées pendant le temps régulier, d'où la satisfaction de la contrainte relative au respect des heures régulières (5) du modèle mathématique

Les étapes composant notre heuristique se divisent en deux phases : Une première caractérisant une démarche préalable, puis une deuxième proposant la stratégie de planification des tournées.

Phase I : démarche préalable :

Afin d'entamer la planification de tournées, les opérations suivantes doivent être établies préalablement :

1- Détermination de l'horizon de planification et de la période de réapprovisionnement :

NAFTAL répartit les commandes de toutes les stations-services en trois brigades citées précédemment. Chacune d'entre elles constitue une période t . Ainsi, nous obtiendrons un total de trois périodes constituant à leurs tour un horizon de planification d'une journée.

2- Identification de toutes les stations-services à approvisionner durant l'horizon de planification

Faire la liste de toutes les stations ayant lancé une commande pour être réapprovisionné le jour t , rattachées au même centre de distribution, en précisant la position géographique de chacune d'entre elles.

3- Identification des stations-services appartenant à la zone « bleue » :

Faire la liste des stations-services appartenant à une zone géographique à laquelle un camion est interdit de circulation pendant la journée. Cette zone, « dite zone bleue » comprend toutes les stations du centre-ville d'Alger. Regrouper ces dernières en un secteur. Les approvisionnements devant être effectués à ce secteur, sont affectés à la brigade de nuit (20h-4h).

Phase II : Stratégie de planification de tournées :

1- Classification des stations-services :

Regrouper les stations-services hors zone bleue (respectivement zone bleue) en secteurs (cluster) selon leurs positions géographiques et leurs distances par rapport au centre de distribution de NAFTAL (Kharouba), pour prendre en compte l'ordre de fusion des

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

compartiments de camions donné par le Tableau 6 à l'aide d'une méthode de classification usuelle.

Il convient à rajouter que pour notre heuristique, nous avons choisi d'utiliser l'algorithme de classification K-means en vue de sa capacité à traiter une taille de données importante, de sa rapidité et de sa simplicité conceptuelle. Pour la réalisation de cet algorithme, plusieurs logiciels sont disponibles. Ces derniers nous indiqueront le nombre de secteurs K optimal à adopter.

2- Identification des commandes à satisfaire durant l'horizon de planification :

Faire la liste de toutes les commandes lancées par les stations-services concernant différents types de produits, puis les trier par ordre de prise de commande (FIFO). Affecter par la suite les $n/2$ première commande à la première brigade et les $n/2$ restantes à la 2^{ème} brigade si n est pair, ou lui affecter $(n/2 + 1)$ commandes si n est impair. (*Exemple* : Si le nombre de commandes est égal à 21 stations (impair), affecter 10 commandes à la première brigade et 11 commandes à la 2^{ème}. Par contre si le nombre de commande est égal à 20 (pair), affecter 10 commandes à chaque brigade).

Pour simplifier les notations, la taille des commandes affecté à la première brigade aura pour notation b_1 ($b_1 = n/2$) et b_2 pour la 2^{ème} brigade. Quant à la brigade de nuit, seulement les stations appartenant à la zone bleue lui sont affectés, en supposant que le nombre de commandes affecté à cette brigade est égale à m , donc $b_3 = m$

3- Vérification du degré de besoin des stations-services en carburant d'une brigade b_i ($1 \leq i \leq 3$):

3.1- Calculer le taux de rupture TR_{ps} , afin de corriger une partie de l'erreur de prévision des stations-service. Ce taux correspond au rapport entre la quantité commandée et la capacité des cuves d'un produit et d'une station donnée. Ainsi connaître le degré de besoin d'un réapprovisionnement provenant d'une station-service, tel que :

$$TR_{ps} (\%) = \frac{Q_{sp}}{C_{cps}} , p \leq 3, s > 0 ; \quad \text{Avec :}$$

- Q_{sp} : Quantité commandée par une station « s » d'un produit « p » ;
- C_{cps} : Capacité totale de la cuve « c » d'un produit « p » d'une station-service « s ».

3.2- Trier par la suite les TR_{ps} par ordre décroissant. Si tous les TR_{ps} sont différents, retenir cet ordre de priorisation des livraisons. Sinon, leur appliquer un 2^{ème} ordre selon les prises de commandes (FIFO). Ainsi obtenir une nouvelle liste de priorisation de livraisons.

3.3- Soit « l » l'indice représentant la priorisation d'une commande de la liste finale obtenue, et $comp(l)$: le nombre de compartiment que nécessite la commande l . Parcourir la liste partant de la première commande :

- Si la commande nécessite plus d'un camion d'un type de produit, garder 4 compartiments ($comp(l) > 4$) à cette ordre de commande et en ajouter une autre à la fin de la liste, contenant

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

le nombre de compartiments restants ($comp(l) - 4$) tout en augmentant la taille de cette liste (b_{l+1})

- Sinon passer à la commande suivante jusqu'à la fin de la liste.

A la fin de cette étape, nous obtiendrons la liste finale d'ordre de commandes.

4 Affectation des camions d'une brigade :

Soit « c » un compteur représentant le nombre de camions affectés ($c \leq M$).

Parcourir la liste finale résultante de l'étape 3.3 pour l'affectation des camions. Partant de la première commande de la liste ($l = 0$):

4.1- Si la commande nécessite 4 compartiments d'un seul type de produit, affecter à la station en question un camion complet, passer à la commande suivante ($l + 1$), et incrémenter le compteur c ($c + 1$), puis retirer cette commande de la liste ($n-1$ commandes restantes).

4.3- Si la commande nécessite moins de 4 compartiments, le fusionner avec une autre nécessitant les compartiments restants appartenant : Au même secteur (station la plus proche), au secteur le plus proche (station la plus proche) ou bien le garder en instance tout en incrémentant l'un des compteurs suivants correspondants :

- Soit « u » un compteur correspondant au nombre de camions avec un compartiment vide en instance.
- Soit « d » un compteur correspondant au nombre de camions avec deux compartiments vides en instance
- Soit « t » un compteur correspondant au nombre de camions avec trois compartiments vides en instance.

Une fois la totalité de la commande affectée, cette dernière sera retirée de la liste (b_{l-1} commandes restantes)

L'ordre de fusion des commandes est caractérisé dans le Tableau 6.

Remarques :

a- « d » ne peut prendre que deux valeurs ($d = 0$) ou ($d = 1$). En effet :

- Si le nombre de commandes ne nécessitant que deux compartiments est pair, alors $d = 0$ (toutes les commandes nécessitant 2 compartiments auront été fusionnées durant le déroulement de l'heuristique).
- Si le nombre de commandes ne nécessitant que deux compartiments est impair, alors $d = 1$ (Il ne peut exister qu'un seul camion avec deux compartiments vides en instance)

b- Si $u \neq 0$ alors $t = 0$; (respectivement si $u = 0$ alors $t \neq 0$).

En effet : Si $u \neq 0$ et $t \neq 0$, cela implique qu'il existe un camion avec trois compartiments pleins et un autre camion avec un compartiment plein. Ce cas est impossible car il y a possibilité de les fusionner lors du déroulement de l'heuristique.

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

- c- « t » ne peut prendre que deux valeurs ($t = 0$) ou ($t = 1$).
 En effet : si $t > 1$, cela implique qu'au moins deux commandes nécessitent un seul compartiment. Ce cas est impossible car il aurait été jumelé avec une autre commande nécessitant un compartiment.

Tableau 6: Ordre de fusion des compartiments d'un camion

Ordre	3 compartiments			2 compartiments			1 compartiment		
	Sect	Spro	Ins	Sect	Spro	Ins	Sect	Spro	Ins
1	1	0	0	-	-	-	-	-	-
2	0	1	0	-	-	-	-	-	-
3	0	0	1	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	2	0	0	-	-	-
5	-	-	-	1	1	0	-	-	-
6	-	-	-	0	2	0	-	-	-
7	-	-	-	1	0	1	-	-	-
8	-	-	-	0	1	1	-	-	-
9	-	-	-	0	0	2	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	3	0	0
11	-	-	-	-	-	-	2	1	0
12	-	-	-	-	-	-	1	2	0
13	-	-	-	-	-	-	0	3	0
14	-	-	-	-	-	-	2	0	1
15	-	-	-	-	-	-	0	2	1
16	-	-	-	-	-	-	1	0	2
17	-	-	-	-	-	-	0	1	2
18	-	-	-	-	-	-	1	1	1
19	-	-	-	-	-	-	0	0	3

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

Avec :

- Sect : Fusionner les compartiments avec x stations appartenant au même secteur de la station en question. ($0 \leq x \leq 3$)
- Spro : Fusionner les compartiments avec x stations appartenant au secteur proche de celui de la station en question. $0 \leq x \leq 3$
- Inst : Le nombre de compartiments à garder en instance. $0 \leq x \leq 3$.

Exemple : Soit une quantité commandée nécessitant 3 compartiments :

- Jumeler cette commande avec une station appartenant au même secteur ne demandant qu'un seul compartiment s'il existe.
- Sinon jumeler avec une station ne demandant qu'un seul compartiment appartenant au secteur le plus proche de la station en question s'il existe.
- Sinon garder ce camion en instance, et on incrémente le compteur « u ».

4.4- Répéter toute la 4^{ème} étape jusqu'à clôturer le premier tour. Ce dernier correspond à l'affectation de tous les camions ($c = M$).

5- Fusion des instances :

Après affectation de tous les camions, vérifier les compteurs des instances et les jumeler comme suivant :

- Si $d=1$, et $u \geq 2$, et si de plus la distance entre les stations dont $d=1$ et les stations dont $u \neq 0$ est inférieur à une limite D déterminée par le distributeur, jumeler la commande nécessitant deux compartiments avec deux commandes nécessitant trois compartiments en deux camions différents. Puis affecter à chacune des commandes restantes ayant un compartiment en instance un camion et retirer ces commandes de la liste.
- Si $d=1$, et $t = 1$, et si de plus la distance entre les stations dont $d=1$ et les stations dont $t \neq 0$ est inférieur à une limite D déterminée par le distributeur, jumeler la commande nécessitant deux compartiments avec la commande nécessitant un compartiment en un seul camion et retirer ces commandes de la liste
- Sinon, affecter pour chaque commande ayant un compteur en instance un camion et retirer cette commande de la liste

6- Fin de l'heuristique :

Répéter pour les prochains toutes les étapes de la 2^{ème} phase jusqu'à satisfaire toutes les commandes de la liste de la brigade. Autrement dit, jusqu'à ce que la taille de la liste soit nulle ($b1=0$).

III-3- Schéma explicatif de l'heuristique :

Nous pouvons résumer l'heuristique proposée pour la résolution du problème d'approvisionnement des stations-services par les schémas suivants :

a) Affectations des commandes aux brigades :

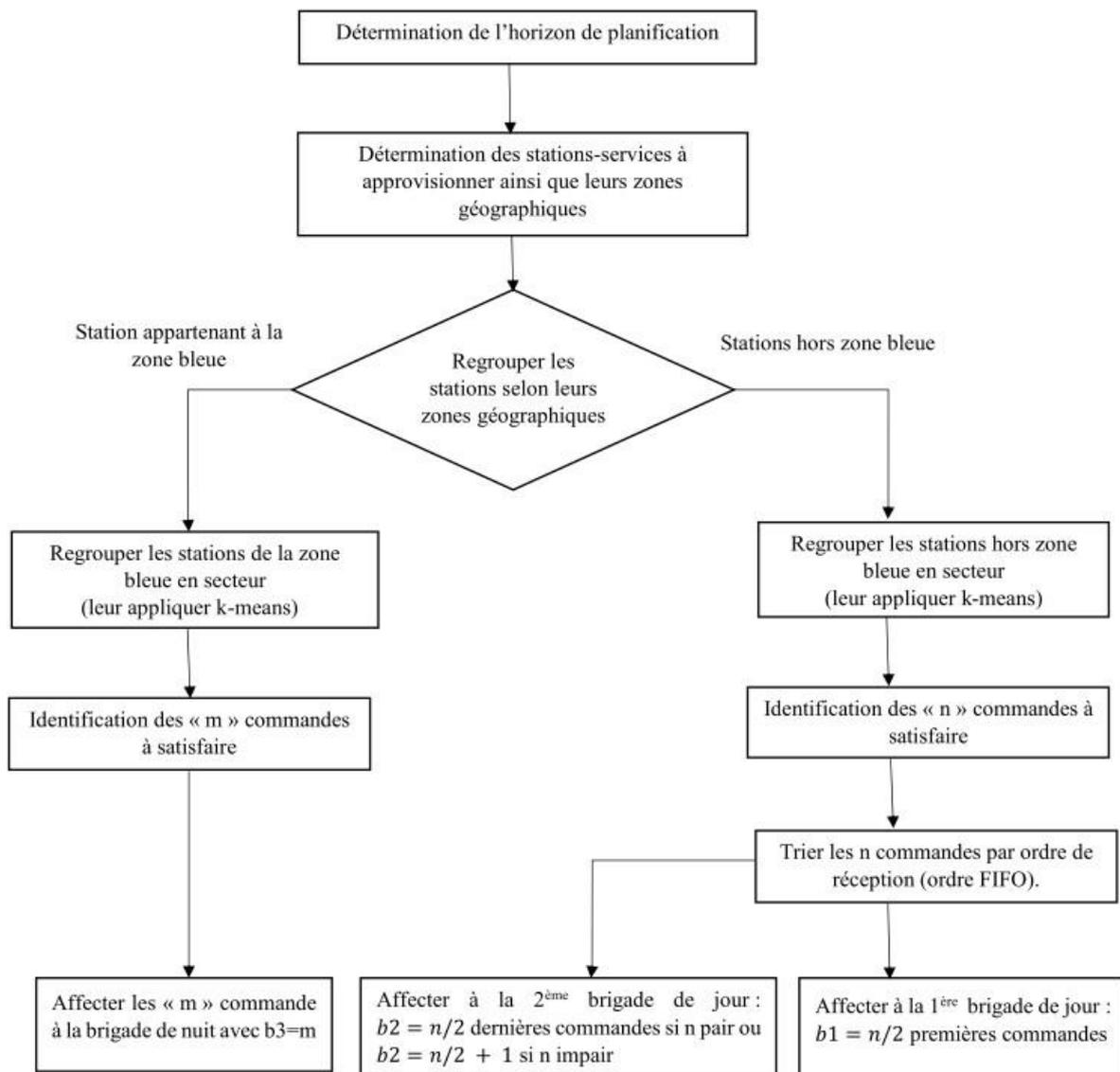


Figure 35: Affectations des commandes aux brigades

b) Détermination de la liste finale :

Une fois l'affectation des commandes aux brigades établie, le schéma présenté dans la Figure 36, illustre les étapes de détermination de l'ordre des commandes à satisfaire pour chacune des brigades b_i $1 \leq i \leq 3$.

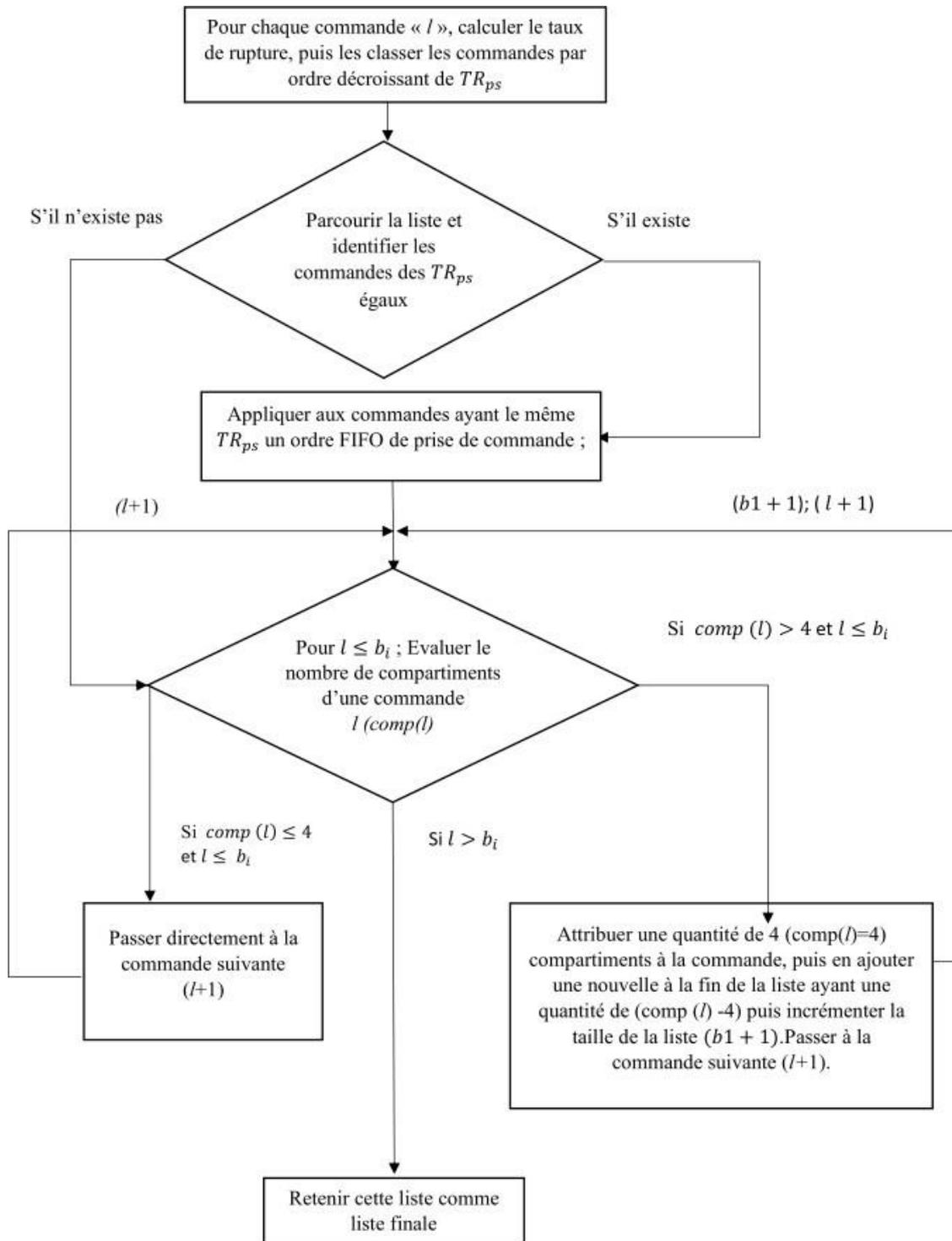


Figure 36: Détermination de la liste finale

c) Affectation des commandes aux camions :

Après avoir déterminé la liste contenant l'ordre final des commandes à satisfaire dans une brigade b_i ($1 \leq i \leq 3$), la Figure 37 représente les étapes relatives à l'affectations des commandes aux camions jusqu'à la finalisation de la liste.

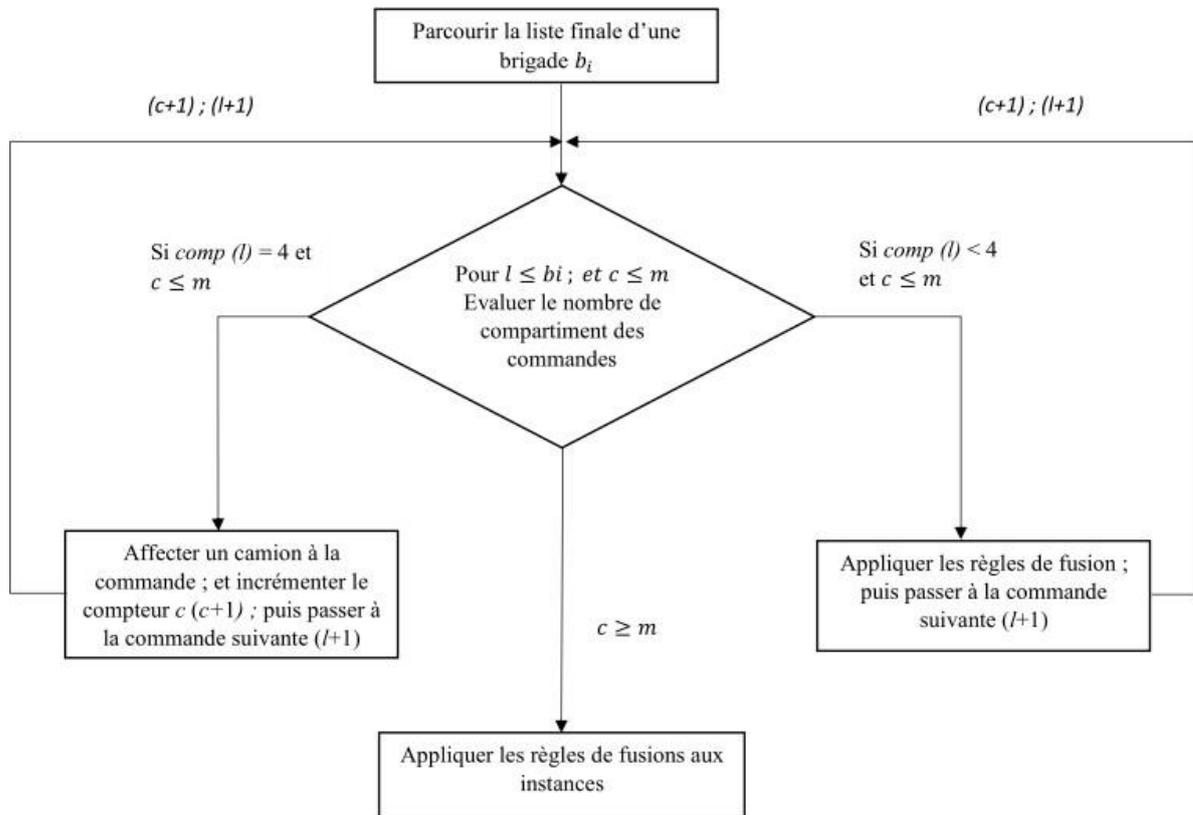


Figure 37: Affectation des commandes aux camions

IV- Conclusion

L'objectif de ce chapitre est la proposition de solutions et modèles relatifs à l'amélioration de la performance de la station-service de Garidi tout en ayant recours aux technologies IoT. Cette amélioration a concerné trois principaux axes de la Supply Chain des carburants, soit :

- La maîtrise de la demande : A partir de l'historique des ventes, obtenus par les données relatives à la variation du niveau de stock en temps réel de la plateforme Fuel-Prime, nous avons tout d'abord, réalisé une prévision de la demande, en suivant les étapes relatives à la méthodologie de Box et Jenkins. Nous avons obtenu une demande stationnaire avec un taux de réalité de 88%, soit une erreur d'environ 12%.
- La gestion des stocks : Une fois la demande cernée et la prévision effectuée, nous avons déterminé la loi de probabilité régissant les délais de livraisons à partir du test de

Chapitre 3 : Amélioration de la réactivité de la station-service

normalité de Henry. A l'issus de ce test, nous avons déduit que ces délais suivaient une loi normale avec une moyenne et un écart type déterminé. Nous avons par la suite, agis sur les stocks en anticipant sur les risques liés aux ruptures de stocks et au sur stockages, en instaurant d'une part, un stock de sécurité intégrant l'erreur de prévision (12%) ainsi que les retards de livraisons, et un point de commande adéquat afin de déterminer la période optimale de réapprovisionnement d'autre part. Enfin, nous avons proposé quelques solutions afin de réduire les temps d'arrêts dû aux réapprovisionnements en fonction des objectifs et des fonds d'investissements de la station-service.

- Optimisation de la distribution : Après avoir optimisé la gestion interne de la station-service, nous nous sommes étendus vers une optimisation globale de la Supply Chain des carburants, en nous intéressant au point focale de cette dernière, à savoir la distribution du carburant à partir du centre de stockage de NAFTAL. Nous avons proposé dans un premier temps un modèle mathématique minimisant les coûts de transports en tenant compte de certaines contraintes relatives aux ressources, humaines, matérielles et horaires. Puis, une méthode approchée (heuristique) pour la résolution de ce modèle optimisant la planification de tournées des camions transportant les différents types et quantités de carburants. Enfin, nous avons synthétisé l'heuristique proposée à l'aide d'un organigramme.

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est la proposition de solutions et modèles permettant l'amélioration de la performance de la station-service de Garidi, pour satisfaire une grande partie, voire la totalité de la demande des clients. Autrement dit, accroître le taux de satisfaction des clients d'une station-service Garidi. Pour y parvenir nous avons tout d'abord effectué un diagnostic afin de détecter l'origine de l'insatisfaction de la demande et des pertes qui en découlent. Pour mener au mieux ce diagnostic, le recours aux technologies IoT a été indispensable. En effet, nous avons utilisé la plateforme « Fuel-Prime » pour obtenir la variation du niveau du carburant en cuves en temps réel. En fonction de ces données, nous avons pu déterminer, la période et la fréquence moyenne des réapprovisionnements, le taux de consommation journalier, les délais de livraisons moyens, etc.

Le résultat de ce diagnostic nous a mené aux dysfonctionnements suivants :

- Une mauvaise estimation de la demande par la station-service, sans tenir compte d'un éventuel écart de prévision dans leur gestion ;
- Des pertes dû aux ruptures de stocks ;
- Des pénalités dû aux sur stockages ;
- Des coûts indirects relatifs aux arrêts dû aux réapprovisionnements ;
- L'instabilité des délais de livraisons;
- La variabilité des quantités approvisionnées par le distributeur ;

D'après le diagnostic effectué, les pistes d'améliorations possibles concernent :

- La réduction des coûts engendrés par les ruptures de stocks ;
- La réduction des pénalités générées par les sur-stockages ;
- La stabilisation des délais de livraison ;
- La maîtrise la demande et prévoir de manière optimale les quantités à commander ;
- La maîtrise de l'instabilité des quantités réapprovisionnés par le distributeur ;
- La réduction des temps d'arrêt de la station-service lors des réapprovisionnements.

Ces pistes d'améliorations concernent l'optimisation de la Supply Chain d'une station-service. En effet, la problématique de la station-service regroupe des problèmes relevant de sa gestion interne à savoir la maîtrise de la demande, la gestion des stocks, les arrêts de son activité dû aux réapprovisionnements, etc. Et de problèmes relevant de sa gestion externes liés à la performance de son distributeur NAFTAL.

Pour la résolution de ces deux sous-problématiques, nous avons introduit les concepts liés à l'optimisation de la Supply Chain, à savoir l'importance de la fiabilité de l'information, le recours aux technologies IoT, la maîtrise de la demande, la gestion des stocks, en recourant à la modélisation mathématique. Une fois ces concepts définis, nous avons proposé différentes solutions pour remédier aux problèmes détectés à partir du diagnostic établi.

Nous nous sommes intéressées dans un premier temps à l'optimisation de la gestion interne de la station-service. Pour se faire, nous avons tout d'abord effectué une prévision de la demande avec une fiabilité de 88%, à partir d'un historique de ventes obtenu par la plateforme « Fuel-Prime ». Puis, nous avons déterminé la loi de probabilité régissant les délais de livraisons par un test de normalité sur l'historique de livraisons donné par la même plateforme. Une fois la prévision établie et les délais de livraisons évalués, nous avons agi sur la gestion des stocks en instaurant un stock de sécurité comprenant l'erreur de prévision et la variation des délais de livraisons. Par ailleurs, nous avons adopté la politique de réapprovisionnement nous permettant de fixer un point de commande optimal de façon à réduire les risques liés aux ruptures et aux sur stockages. Enfin, nous avons abordés le problème des arrêts de la station-service dû aux réapprovisionnements, en proposant différentes alternatives en fonction des investissements et des objectifs fixés par cette station.

Pour appliquer cette solution, nous nous sommes référées à un historique de vente à court terme (un mois seulement), sans inclure les éventuels événements au cours de l'année, qui pourront perturber la prévision de la demande. Par exemple, exceptionnellement, chaque 31 décembre de l'année, les stations-services connaissent une très forte demande qui n'a pas été anticipée préalablement à partir de l'historique du moins de novembre, et qui peut impacter les prévisions du mois de janvier. Par conséquent, que deviendrait la gestion des stocks en réalisant une prévision à long terme (allant au-delà d'une année) ?

De plus, concernant les arrêts de la station-service dû aux réapprovisionnements, quelle solution pourrait être adaptée pour une station ayant un faible fond d'investissement, avec un objectif à long terme (par exemple, un objectif d'accroissement de la capacité de stockage) ?

Quant à la résolution des problèmes externes à la station-service, liés à l'optimisation de la distribution du carburant, autrement dit, la planification de tournées. Nous avons commencé par traduire cette problématique par un programme mathématique comprenant une fonction objectif minimisant les coûts de transport et des contraintes relatives aux capacités des camions et des citernes, au nombre de stations à approvisionner au cours d'un même voyage, aux allocations d'un produit, etc. Puis, nous sommes passés à l'élaboration d'une heuristique pour la résolution de ce modèle.

Notre modèle mathématique ainsi que notre solution n'intègrent pas la possibilité que les capacités des camions et des compartiments soient différentes. Il serait nécessaire dans ce cas, d'ajouter un paramètre indiquant le taux de satisfaction des clients. Que deviendrait donc notre heuristique ?

De plus, la solution proposée est applicable pour tout type de carburant à condition que le distributeur reçoit une commande avec une quantité déterminée. Comment évoluerait notre heuristique pour une politique de complètement périodique prise en charge par le distributeur, comme le cas pour le GPL des stations-services algériennes ?

Nous avons utilisé le système IoT Fuel-Prime pour l'amélioration de la performance d'une station-service par l'optimisation de la gestion des stocks de la distribution. Néanmoins, cette technologie s'ouvre à plusieurs autres champs d'exploitation. En effet, ce système pourra

éventuellement assurer une certaine traçabilité des flux entrants et sortants, par conséquent réduire la probabilité de fraudes. De plus, les données que fournit le système, permettra aux clients d'avoir les informations relatives à la disponibilité du produit à la station-service par la création d'une application. Enfin, si toutes les stations-services et tous les centres de distribution investissent dans l'installation de ce système, l'intégration des flux d'information sera totale, ainsi, cela permettra d'assurer la synchronisation des flux.

Références bibliographiques

- Agreira, A., 2018. Comment tenir la promesse du partage d'un état des stocks en temps réel avec les consommateurs. Le Blog.
- Ankalikar, A., Smantha, D.S., n.d. 2014. Supply Chain Management of downstream retail oil and gas products – Imperatives for next generation e-gas station 3.
- Baumol, W.J., 1971. Les décisions multivariées dans la théorie de l'oligopole. *Revue d'économie politique* 171–188.
- Bell, W.J., Dalberto, L.M., Fisher, M.L., Greenfield, A.J., Jaikumar, R., Kedia, P., Mack, R.G., Prutzman, P.J., 1983. Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces* 13, 4–23.
- Benkachcha, S., El Hassani, H., and Benhra, J., 2012. Prévision de la demande dans la chaîne logistique combinaison d'un modèle causal avec les algorithmes génétiques.
- Boumaza, K., 2015. Management du système de management intégré: qualité, sécurité et environnement 9.
- Brown, G.G., Graves, G.W., 1981. Real-time dispatch of petroleum tank trucks. *Management science* 27, 19–32.
- Bruel, O., Kerbache, L., 2005. Les enjeux stratégiques de la supply chain.
- Chopra, S., Meindl, P., 2013. *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. global ed. Boston. Pearson
- Courtois, A., Martin-Bonnefous, C., Pillet, M., Pillet, M., 2003. *Gestion de production*. Les Ed. d'organisation.
- Croxton, K.L., Lambert, D.M., García-Dastugue, S.J., Rogers, D.S., 2002. The demand management process. *The International Journal of Logistics Management* 13, 51–66.
- Dror, M., Ball, M., 1987. Inventory/routing: Reduction from an annual to a short-period problem. *Naval Research Logistics (NRL)* 34, 891–905.
- Dror, M., Ball, M., Golden, B., 1985. A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem. *Annals of Operations Research* 4, 1–23.
- Dupont, L., 2003. *Solutions pratiques: logistique et supply chain, questions réponses*. Editions Weka 1.
- Fisher, M., 1997. What is the right supply chain for your product? *harvard business review*.

Références bibliographiques

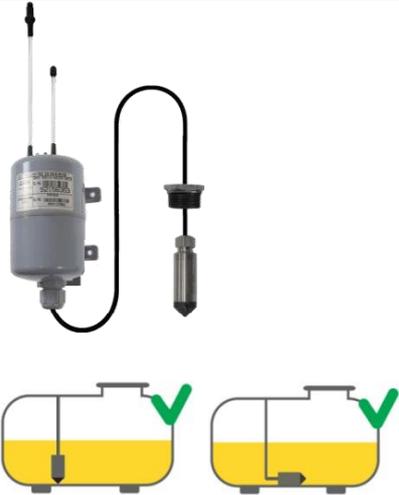
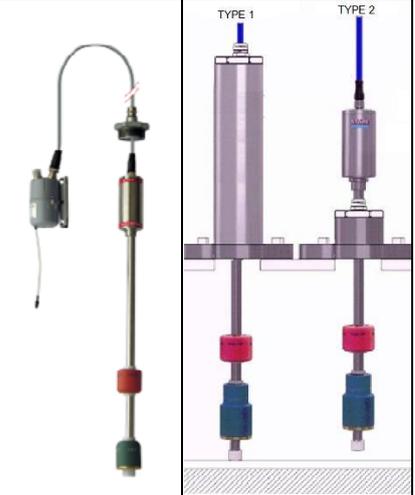
- Halim.H., 2013. Etudes comparative des méthodes heuristiques d'optimisation combinatoire. Master's thesis, Université de Biskra.
- La rédaction, mars 2018. Le parc automobile en hausse, 6 millions de véhicules en Algérie fin 2017, Algérie Focus.
- Lagari, A., Modélisation, étude et analyse prévisionnelle de la consommation d'électricité basse, moyenne et haute tension en Algérie. Master's thesis.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C., Pagh, J.D., 1998. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. *The international journal of logistics management* 9, 1–20.
- Lamriben, H., 2018. Energie: l'Algérie ambitionne d'exploiter des produits pétroliers. El Watan.
- Lee, H.L., Billington, C., 1995. The evolution of supply-chain-management models and practice at Hewlett-Packard. *Interfaces* 25, 42–63.
- Leveille, L., 2009. Méthodes, objectifs et application de la prévision des ventes. Master's thesis, Fondation universitaire Mercure.
- Minnich, D., Maier, F.H., n.d. Supply Chain Responsiveness and Efficiency – complementing or Contradicting Each Other? 16.
- Osman, I.H., Laporte, G., 1996. *Metaheuristics: A bibliography*. Springer.
- Phan, R., n.d., 2013. Méthodes exactes et approchées par partition en cliques de graphes 147.
- Poirier, C.C., Reiter, S.E., 2001. *La Supply Chain: Optimiser la chaîne logistique et le réseau interentreprises*. Dunod.
- Rosignol, A., 1997. *Gestion économique 2, piloter : économie d'entreprise*, éd. Foucher .
- Taqa Allah, D.T., Renaud, J., Boctor, F.F., 2000. The gas stations supply problem. *RAIRO-APII-JESA-Journal Europeen des Systemes Automatisés* 34, 11–34.
- Véronneau, S., Pasin, F., Roy, J., 2008. L'information dans la chaîne logistique. *Revue française de gestion* 149–161.

Annexes

Annexe 1 : Sondes de pression

La solution présentée peut être équipée d'un des deux types de sondes:

Tableau 6: Sondes de pression

 <p>The image shows the IS27 pressure probe, which consists of a grey cylindrical transmitter connected to a black cable and a thin probe. Below, two diagrams illustrate the probe installed inside a yellow liquid-filled tank, with green checkmarks indicating correct installation.</p>	 <p>The image shows the IS38 pressure probe, which has a green transmitter and a longer probe with a red float. To the right, a cross-section diagram compares two types: TYPE 1 (a taller probe) and TYPE 2 (a shorter probe), both installed in a tank with liquid.</p>
<p>La sonde IS27 (26YEi 0,8 - 1,5 bar) utilisée pour le ATG sans fil, est équipée d'un capteur de pression piézorésistif de pointe basé sur la technologie Keller. C'est un transmetteur de pression intrinsèquement pour la conversion de la pression en un signal électrique, elle mesure la pression à l'intérieur du réservoir. Elle possède une précision de +/- 1,5% de la capacité du réservoir.</p>	<p>La Sonde IS38 (XMT-SI-RF - 485): Produite par Start Italiana. Les transmetteurs de niveau magnétostrictifs sont basés sur le principe de Wiedemann, et permettent une lecture continue et très précise du niveau de liquide. Elle permet de mesurer le niveau de carburant et d'eau et la température. Elle possède une précision de +/- 0,5 mm (~ 0,03% de la capacité du réservoir).</p>

Annexe 2 : ALEVEL 03

Cet appareil est un transmetteur radio alimenté par batterie et sans fil qui est intégré avec une sonde magnétostrictive ou de pression. ALEVEL 03 mesure le niveau de carburant, le niveau d'eau et la température du carburant. Il transmet par la suite la lecture par radio à la Console Fuel-Prime. Afin d'atteindre le plus haut niveau de performance radio, la trame radio est retransmise par le relais de batterie OKO 55 situé au-dessus des réservoirs de stockage et

Annexes

convertie par le récepteur radio AMPLI 68 en interface série RS485 directement connectée au contrôleur.



Figure 38: ALEVEL 03

Annexe 3 : OKO 55

C'est un dispositif qui rassemble, stocke et transfère le niveau du réservoir à la console. Les affichages courants et les historiques peuvent être visualisés à la fois sur les écrans de la salle de contrôle du siège social du client et sur la console Fuel-Prime dans la salle du gestionnaire de la station-service. L'appareil est installé sur les tuyaux de ventilation du réservoir. Un OKO 55 peut collecter des données provenant de jusqu'à 5 appareils ALEVEL 03 (réservoirs).



Figure 39: OKO 55

Annexe 4 : AMPLI 68

L'appareil est un récepteur 433MHz connecté avec un bus RS485 à un convertisseur. Cet appareil surplombe la station pour recevoir les communications radio provenant des capteurs installés sur les réservoirs. L'AMPLI 68 peut également être connecté à divers périphériques

Annexes

externes tiers tels qu'une sirène d'alarme ou une lumière installée sur un mur extérieur pour fournir des signaux d'alerte immédiats à partir de la Fuel-Prime Console.



Figure 40 : AMPLI 68

Annexe 5 : Console FP

Fuel-Prime Console - l'ordinateur industriel avec des interfaces permettant aux gestionnaires de stations de contrôler entièrement toutes les fonctions commerciales de la station. La console contient des instruments clés intégrés pour l'acquisition de données, la conversion de données, le traitement et la visualisation. La console recueille et envoie des données au serveur.



Figure 41: Console FP

Annexes

Annexe 6 : ARMA (7,1)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(7)	0.983257	0.019093	51.49700	0.0000
MA(1)	0.235135	0.100492	2.339845	0.0216
SIGMASQ	21990206	3537815.	6.215759	0.0000

R-squared	-0.478156	Mean dependent var	32769.09
Adjusted R-squared	-0.512136	S.D. dependent var	3878.652
S.E. of regression	4769.538	Akaike info criterion	20.07612
Sum squared resid	1.98E+09	Schwarz criterion	20.15945
Log likelihood	-900.4255	Hannan-Quinn criter.	20.10972
Durbin-Watson stat	1.831903		

Inverted AR Roots	1.00	.62+.78i	.62-.78i	-.22+.97i
Inverted MA Roots	-.22-.97i	-.90-.43i	-.90+.43i	
	-.24			

Figure 42: Modèle ARMA (7,1)

Annexe 7 : Modèle ARMA(14,7)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(14)	0.979155	0.027905	35.08830	0.0000
MA(7)	0.944368	0.052269	18.06751	0.0000
SIGMASQ	21292893	3399884.	6.262829	0.0000

R-squared	-0.431283	Mean dependent var	32769.09
Adjusted R-squared	-0.464186	S.D. dependent var	3878.652
S.E. of regression	4693.307	Akaike info criterion	20.11588
Sum squared resid	1.92E+09	Schwarz criterion	20.19921
Log likelihood	-902.2148	Hannan-Quinn criter.	20.14949
Durbin-Watson stat	1.341484		

Inverted AR Roots	1.00	.90-.43i	.90+.43i	.62+.78i
	.62-.78i	.22+.97i	.22-.97i	-.22-.97i
	-.22+.97i	-.62-.78i	-.62+.78i	-.90-.43i
	-.90+.43i	-1.00		
Inverted MA Roots	.89-.43i	.89+.43i	.22-.97i	.22+.97i
	-.62-.78i	-.62+.78i	-.99	

Figure 43: Modèle ARMA(14,7)

Annexe 8 : Modèle ARMA (1,14)

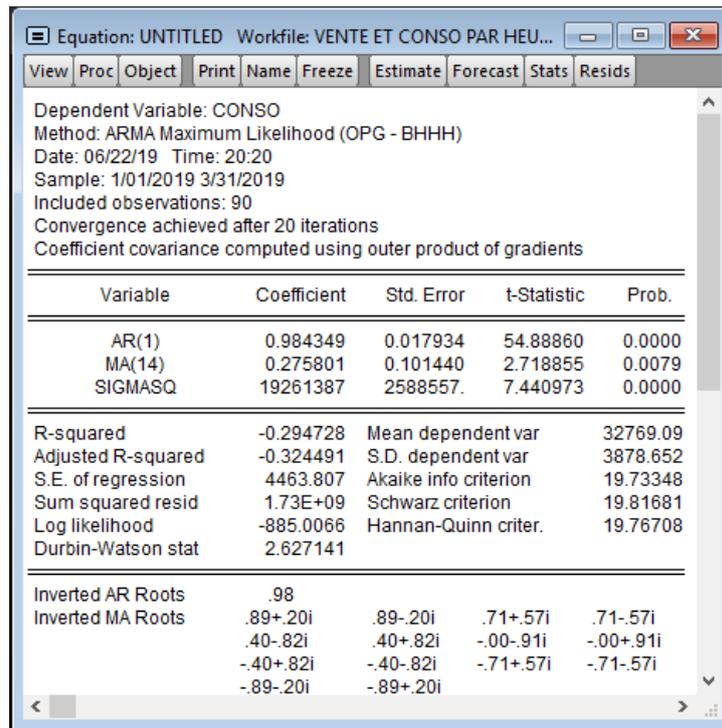


Figure 44: Modèle ARMA (1,14)

Annexe 9 : Programme décrivant les étapes de l'heuristique de distribution

```

$COMMANDES = [];
$COMMANDES_ATTRIBUEES = collect();

define('CAPACITE_MAX_PAR_CAMION', 28);
define('CAMIONS_DISPONIBLES', 7);
define('LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS', 20);
define('MAX_LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS', 60);

$CAMION_EN_COURS = 1;

while (
    $COMMANDES_ATTRIBUEES->unique('camion')->count() >= $CAMION_EN_COURS &&
    $COMMANDES_ATTRIBUEES->count() <= $COMMANDES->count()
) {
    $CAPACITE_MAX_DEMANDEE = CAPACITE_MAX_PAR_CAMION - $COMMANDES_ATTRIBUEES->where('camion',
    $CAMION_EN_COURS)->sum('quantite');
    $COMMANDE = commande_prioritaire($CAPACITE_MAX_DEMANDEE, LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS);

    if ($COMMANDE)
    {
        $COMMANDE->camion = $CAMION_EN_COURS;
        $COMMANDES_ATTRIBUEES->add($COMMANDE);
    }

    if (
        $COMMANDES_ATTRIBUEES->where('camion', $CAMION_EN_COURS)->sum('quantite') ==
        CAPACITE_MAX_PAR_CAMION ||
        !$COMMANDE
    ) {
        $CAMION_EN_COURS = $CAMION_EN_COURS + 1;
    }
}

function commande_prioritaire($CAPACITE_MAX_DEMANDEE, $LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS)
{
    $COMMANDE = calculer_distance($COMMANDES)
    ->orderBy('quantite/capacite', 'desc')
    ->orderBy('date', 'asc')
    ->where('quantite', '<=', $CAPACITE_MAX_DEMANDEE)
    ->where('distance', '<=', $LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS)
    ->first();

    if ($COMMANDE)
    {
        $COMMANDES->delete($COMMANDE);
        return $COMMANDE;
    }
    elseif ($LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS <= MAX_LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS)
    {
        $LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS = $LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS + 20;
        return commande_prioritaire($CAPACITE_MAX_DEMANDEE, $LIMITE_ENTRE_DEUX_STATIONS);
    }
    else
    {
        return null;
    }
}

function calculer_distance($COMMANDES)
{
    $x1 = $COMMANDES_ATTRIBUEES->where('camion', $CAMION_EN_COURS)->average('x');
    $y1 = $COMMANDES_ATTRIBUEES->where('camion', $CAMION_EN_COURS)->average('y');

    foreach ($COMMANDES as $COMMANDE)
    {
        $x2 = $COMMANDE->x;
        $y2 = $COMMANDE->y;
        $COMMANDE->distance = sqrt(pow($x2-$x1, 2), pow($y2-$y1, 2));
    }

    return $COMMANDES;
}
}

```

Figure 45: Programme décrivant les étapes de l'heuristique de distribution