

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Management Industriel

**Développement d'un modèle de planification agrégée du transport en aval  
de la supply chain du ciment - Application Lafarge Algérie**

Yanis CHAIB

Zahir DABOUZ

Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI

Présenté et soutenu publiquement le 19/06/2017

**Composition du Jury :**

Président	Mme. Nacéra ABOUN,	Chef de Département	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI,	Maitre-assistant	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS,	Enseignant	ENP
Invité	M .Ramzi AMOURI,	Demand Planner	Lafarge

**ENP 2017**



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Management Industriel

**Développement d'un modèle de planification agrégée du transport en aval  
de la supply chain du ciment - Application Lafarge Algérie**

Yanis CHAIB

Zahir DABOUZ

Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI

Présenté et soutenu publiquement le 19/06/2017

**Composition du Jury :**

Président	Mme. Nacéra ABOUN,	Chef de Département	ENP
Promoteur	M. Iskander ZOUAGHI,	Maitre-assistant	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS,	Enseignant	ENP
Invité	M .Ramzi AMOURI,	Demand Planner	Lafarge

**ENP 2017**

## Dédicaces

*A mes parents pour m'avoir toujours soutenu et cru en moi,  
A mon frère pour ses encouragements,  
A toute ma famille et tous mes amis,  
A mon binôme et ami Zahir,  
A tous ceux qui me sont chers,  
Je vous dédie ce travail.*

*Yanis*

*Je dédie ce travail :  
A la mémoire de mon grand-père lah yarahmou,  
A mon père et ma mère qui m'ont toujours soutenu dans tout ce que je  
fais,  
A ma sœur et mon frère,  
A toute ma famille et mes amis et tous ceux qui me sont chers,  
A mon ami Yanis qui a été patient avec moi-même dans les moments  
difficiles.*

*Zahir*

## **REMERCIEMENT :**

Nous remercions, avant tout, le Bon Dieu Tout Puissant, en qui nous avons eu foi et qui nous a récompensés par ce présent travail. « El Hamdoulilah ».

*Nous tenons à remercier, **nos chers parents** pour leur encouragement et soutien.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur **Dr. Iskander ZOUAGHI**, qui a dirigé les travaux de ce mémoire. Pour son soutien, sa patience, sa gentillesse, son sens de l'humour, et surtout pour la confiance qu'il nous a témoignée et l'aide qu'il a mis à notre disposition tout le long de notre projet. Dans l'espérance que celui-ci soit à la hauteur de ses attentes.*

*Nous exprimons notre gratitude à Monsieur Ramzi Amouri Demend planner au central planning de Lafarge, pour l'opportunité qu'il nous a donnée de réaliser ce présent travail ainsi que pour toute l'aide qu'il nous a offert.*

*Nous remercions aussi M. Abdelhak Fethi Mohamed, ainsi que M. Ahmed Bouattia pour leur disponibilité et leurs précieux conseils.*

*Nous tenons à remercier également l'ensemble des enseignants du Département Génie Industriel pour les connaissances transmises et qui nous ont permis d'effectuer ce travail. En particulier M. Ali BOUKABOUS ainsi que M. Redouane el hadj khalef pour la précieuse aide et les conseils dont ils nous ont fait profiter.*

*Nous remercions aussi toute l'équipe du département Supply Chain qui nous a accueillis durant notre stage.*

*Enfin, nous remercions les membres du jury de nous faire l'honneur d'évaluer notre travail.*

## Résumé et mots clés

### ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تحسين الفعالية لسلسلة التوريد فرع لافارج، بإقتراح من جهة الطلب و من جهة أخرى توسيع إلى أبعد حد توزيع المنتوجات المكتملة بوضع تخطيط مبرز للتنقل الكلمات الرئيسية :سلسلة التوريد، توقعات، الخدمات اللوجستية المصب، الأمثل

### Abstract:

The objective of this work is to improve the performance of the downstream supply chain of Lafarge, by proposing, at first place, an improvement in the demand planning process. In the second place, by optimizing the distribution process of finished products through the implementation of an aggregate planning transport model.

Keywords: Supply chain, prevision, optimization, aggregate planning, downstream logistics.

### Résumé :

L'objectif de ce travail est d'améliorer la performance supply chain en aval de Lafarge, en proposant, d'une part, une amélioration pour le processus de planification de la demande, et d'autre part, une optimisation de la distribution des produits finis par la mise en place d'une planification agrégée du transport.

Mots clés : Supply Chain, prévision, optimisation, planification agrégée, logistique en aval.

---

# Table des matières

---

Table des figures

Liste des tableaux

Liste des Abréviations

Introduction générale 11

## 1 Étude de l'existant

1.1	Introduction . . . . .	13
1.2	Présentation du marché du ciment . . . . .	13
1.2.1	Le marché du ciment en Algérie . . . . .	14
1.2.2	La nature de la demande du marché . . . . .	15
1.3	Présentation de LafargeHolcim . . . . .	16
1.3.1	Le groupe LafargeHolcim . . . . .	16
1.3.2	Lafarge Algérie . . . . .	17
1.3.3	Département Supply Chain de Lafarge Algérie . . . . .	18
1.3.4	Planification chez Lafarge Algérie . . . . .	21
1.4	Audit des pratiques logistiques . . . . .	25
1.4.1	Management, Stratégie et Planification . . . . .	26
1.4.2	Logistique d'approvisionnement . . . . .	26
1.4.3	Logistique de transport . . . . .	27
1.4.4	Logistique de stockage . . . . .	27
1.4.5	Logistique de distribution . . . . .	28
1.4.6	Dysfonctionnements détectés . . . . .	29
1.5	Description de la problématique . . . . .	30
1.5.1	Problèmes détectés . . . . .	30
1.5.2	Causes des dysfonctionnements . . . . .	32
1.5.3	Énoncé de la problématique . . . . .	33
1.6	Conclusion . . . . .	33

## 2 État de l'art

2.1	Introduction . . . . .	35
2.2	Planification agrégée . . . . .	35
2.2.1	Horizon de planification . . . . .	36
2.2.2	Matrice de planification de la Supply Chain . . . . .	37
2.2.3	Master Planning . . . . .	38
2.3	Planification de la demande . . . . .	41
2.3.1	Stratégie de prévision et d'agrégation . . . . .	41
2.3.2	Les Méthodes de Prévisions . . . . .	43
2.4	Conclusion . . . . .	53

## 3 Proposition et application des solutions

3.1	Introduction . . . . .	55
3.2	Développement d'un outil statistique de prévision . . . . .	55
3.2.1	Analyse de la demande . . . . .	55

3.2.2	Prévision de la demande . . . . .	56
3.2.3	Mesure de la fiabilité des prévisions . . . . .	65
3.3	Modèle de Planification . . . . .	66
3.3.1	Modèle de planification du transport . . . . .	66
3.3.2	Analyse du marché de Msila . . . . .	72
3.3.3	Les données utilisées . . . . .	73
3.3.4	Résultat du modèle . . . . .	77
3.4	Suivi de la performance du service Rendu . . . . .	79
3.4.1	Suivi journalier . . . . .	79
3.4.2	Suivi hebdomadaire . . . . .	80
3.5	Conclusion . . . . .	82
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>83</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>84</b>
	<b>Annexes</b>	<b>85</b>

---

## Table des figures

---

1.1	Évolution de la production du ciment dans le monde [16] . . . . .	13
1.2	Part de marché des producteurs de ciment en Algérie (d'après les estimations du département marketing) . . . . .	14
1.3	Evolution annuelle de la demande et de l'offre du ciment en ALgérie (d'après les estimations du département marketing) . . . . .	15
1.4	Présence de LafargeHolcime dans le monde . . . . .	16
1.5	Répartition du personnel de LafargeHolcime dans le monde [12] . . . . .	17
1.6	Organigramme Lafarge Algérie . . . . .	18
1.7	Organigramme du département Supply Chain (Source département supply chain)	19
1.8	Processus de planification du transport . . . . .	23
1.9	Cartographe des processus au sein de la supply chain de Lafarge . . . . .	24
1.10	Demande saturée vs Demande totale pour les marchés les plus rentables . . . . .	31
1.11	Demande saturée vs Demande totale pour les marchés les moins rentables . . . . .	31
1.12	Comparaison entre les prévisions de Lafarge et les ventes réalisées . . . . .	32
2.1	Horizon de planification [18] . . . . .	36
2.2	Matrice de planification de la Supply chain [18] . . . . .	38
2.3	Chemins de distribution [18] . . . . .	39
2.4	Etape de construction d'un Master Plannig [18] . . . . .	40
2.5	Segementation des produits par type de prévisions adéquates[5] . . . . .	42
2.6	Les différentes types d'approches en matière de prévision . . . . .	43
2.7	Stratégie simplifiée des tests de racine . . . . .	49
2.8	Processus de prévision par Box et Jenkins[10] . . . . .	51
3.1	Evolution des ventes Lafarge par produit . . . . .	56
3.2	Evolution des ventes Lafarge de 2012 à 2016 . . . . .	57
3.3	Graphes saisonnier . . . . .	57
3.4	Résultats corrélogramme pour la série "Ventes" . . . . .	58
3.5	Modèle Holt Winter retenu par eviews . . . . .	59
3.6	test racine unitaire modèle 6 pour la serie "Ventesa" . . . . .	60
3.7	Test Racine Unitaire modèle 6 pour la serie "Ventesd" . . . . .	61
3.8	Test Racine Unitaire modèle 5 pour la serie "Ventesd" . . . . .	61
3.9	Test Racine Unitaire modèle 4 pour la serie "Ventesd" . . . . .	62
3.10	Correlogramme de la serie "ventesd" . . . . .	62
3.11	Modèle AR(2) . . . . .	63
3.12	Modèle MA(2) . . . . .	63
3.13	Modèle MA(14) . . . . .	63
3.14	Modèle ARMA(1,1) . . . . .	63
3.15	Modèle ARMA(2,2) . . . . .	64
3.16	Modèle ARMA(2,14) . . . . .	64
3.17	Emplacement des usines et des centres de distribution de Lafarge Algérie . . . . .	72
3.18	Part des ventes du ciment de Lafarge Algérie par Wilaya . . . . .	73
3.19	Comparatif entre le gain estimé du modèle et le gain réalisé pour le vrac pour le mois de mars . . . . .	78

3.20	Comparatif entre le gain estimé du modèle et le gain réalisé pour le sac pour le mois de mars . . . . .	78
3.21	Suivi journalier des écart entre les prévisions et les réalisations pour l'usine de Msila. . . . .	79
3.22	Suivi journalier des temps d'attentes usine, absences des chauffeurs et de la capacité logistique pour l'usine de Msila . . . . .	80
3.23	Suivi hebdomadaire des quotas vs le budget vs les réalisations . . . . .	80
3.24	Suivi hebdomadaire des temps d'attente usine, absence chauffeur, on time et de l'injoignabilité . . . . .	81
3.25	Suivi hebdomadaire des 5 clients qui créent le plus de blocage . . . . .	81
3.26	Suivi hebdomadaire des 5 clients qui annulent le plus, et la fiabilité des quotas .	82
3.27	Suivi hebdomadaire de la performance transporteur . . . . .	82

---

## Liste des tableaux

---

1.1	Personne interviewée lors de l'audit . . . . .	26
1.2	Nombre de Camions Cocotte et Plateau par Type de transport . . . . .	30
1.3	Nombre de Camions Cocotte et Plateau utilisés pour le mois de Mars . . . . .	30
2.1	Les différents type d'horizons de prévision et leur caractéristiques[18] . . . . .	43
2.2	Avantages et inconvénients des différentes méthodes de lissage . . . . .	53
3.1	Résultat des Prévisions par Holt Winter . . . . .	59
3.2	Résultat des Critère de Choix du Meilleur Modèle . . . . .	64
3.3	Resultat des Prévisions par Box-Jenkins . . . . .	65
3.4	Tableau comparatif des différentes previsions . . . . .	65
3.5	Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Type de transport . . . . .	73
3.6	Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Transporteur MAD . . . . .	74
3.7	Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Transporteur Spot . . . . .	74
3.8	Durée du trajet Aller-Retour par destination . . . . .	75
3.9	Gain généré par le Transport du Sac de l'usine au marché . . . . .	76
3.10	Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Annaba et Bejaia . . . . .	76
3.11	Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Lakhroub et Meftah . . . . .	77
3.12	Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Sétif et Msila . . . . .	77

## Liste des abréviations

**ADV** : Administration des ventes  
**APS** : Advanced Planning System  
**ASLOG** : Association française pour la Logistique  
**AR** : Autoregressive  
**ARMA** : Autoregressive moving average  
**BPE** : Béton prêt à l'emploi  
**COLPA** : Cosider Lafarge Plâtre Algérie  
**CRC** : Centre relation client  
**DA** : Demande d'achat  
**DC** : Centre de distribution  
**DS** : Differency stationary  
**EPI** : Équipement de protection individuelle  
**ERP** : Enterprise resource planning  
**FAC** : Fonction d'autocorrélation  
**FAP** : Fonction d'autocorrélation partielle  
**GICA** : Groupe Industriel des Ciments d'Algérie  
**HPS** : Hiearchical planing system  
**LBA** : Lafarge Béton Algérie  
**LCA** : Lafarge Ciment Algérie  
**LCM** : Lafarge Ciment M'sila  
**LCO** : Lafarge Ciment Oggaz  
**LLA** : Lafarge Logistique Algérie  
**MA** : Moving average  
**MAD** : Mise à disposition  
**MAPE** : Mean absolute percentage error  
**MP** : Matière première  
**MSE** : Mean squared error  
**PDP** : Plan directeur de production  
**PIC** : Plan industriel et commercial  
**SLA** : Service level agreement  
**SNTF** : Société nationale des transports ferroviaires  
**test DF** : teste de Dickey-Fuller  
**TCAM** : Taux de croissance annuel moyen  
**TS** : Trend sationary

# Introduction générale

Dans un environnement de plus en plus incertain et instable, en raison de la mondialisation accrue de l'économie et des échanges ainsi que de l'apparition de nouveaux concurrents qui inondent le marché avec leurs produits, les entreprises se voient plongées dans une dynamique où le fait de maximiser sa production et de réduire les coûts ne suffit plus pour pouvoir faire du profit. Dans cette optique, les entreprises se voient obligées de chercher de nouvelles solutions afin d'assurer leur pérennité. Ainsi avoir un modèle de planification performant afin d'avoir une meilleure visibilité sur tous les flux d'approvisionnement de production ainsi que de distribution peut être très utile. Cependant, aboutir à une bonne planification passe en premier lieu par des prévisions de la demande qui doivent être les plus exactes possibles afin de mieux cerner sa demande. Cette problématique touche énormément d'entreprises en Algérie et dans le monde entier, et particulièrement le secteur du ciment. En raison de la complexité des différents flux qui rentrent en jeu, une maîtrise complète de ces flux devient donc une nécessité.

En effet, le secteur du ciment en Algérie qui est en plein essor, connaît une augmentation de la production depuis les trois dernières années avec notamment l'introduction de nouveaux acteurs sur le marché qui essayent de bousculer les géants déjà bien installés. Protéger ses parts de marché en restant compétitive devient donc une priorité absolue pour les entreprises. L'Algérie représente un marché très important pour les producteurs de ciment grâce aux nombreux projets d'urbanisme que le gouvernement a lancés à travers le territoire national. Mais malgré cette demande grandissante, pour la première fois de l'histoire du pays, en 2017 l'offre va excéder la demande ce qui contraint les entreprises à changer leurs stratégies de production.

Ce travail consiste à mener une étude visant à l'optimisation du processus de planification de Lafarge Algérie, et ce, en agissant sur deux volets. Le premier concernera l'utilisation d'une méthode de prévision adéquate au marché Algérien afin de déterminer correctement la demande implicite de l'entreprise. Le second volet consistera à l'élaboration d'un modèle de planification agrégée du transport, capable de prendre en compte toute la complexité du réseau de distribution de Lafarge et donner une solution optimale à l'allocation des capacités logistiques.

Ainsi, afin de pouvoir mener à bien notre mission, notre travail sera réparti sur trois chapitres. Le premier chapitre sera dédié à la présentation du marché du ciment et du contexte économique et social qui caractérise l'Algérie, ainsi que la présentation de l'un des principaux acteurs dans ce secteur au niveau national et international, à savoir le groupe Lafarge. Nous clôturerons ce chapitre par l'audit que nous avons mené ainsi que la problématique retenue.

Le second chapitre sera dédié à la présentation et l'explication des différentes notions et modèles dont on aura besoin afin de résoudre notre problématique, dont les méthodes de prévision ainsi que les méthodes de planification agrégée.

Le troisième chapitre consistera en la présentation de la solution que nous avons développée pour l'entreprise afin de mieux planifier son programme de transport. Tout d'abord grâce à un modèle de prévision adapté au marché qui pourrait donner des résultats plus proches de la réalité, ensuite avec un modèle de planification agrégée pour le transport. Pour finir, afin d'assurer un suivi de la performance de la livraison des produits finis de type vrac, nous avons développé deux outils, un journalier et un autre hebdomadaire, qui se basent sur le suivi d'indicateurs de performance bien précis.

---

---

## CHAPITRE 1

---

### Étude de l'existant

## 1.1 Introduction

Le secteur de la construction occupe actuellement une place importante dans la structure socio-économique. Il contribue fortement à la croissance et au développement par la facilitation des échanges et des investissements internationaux. Constituant le principal matériau de construction des logements et des infrastructures, le ciment ou « l'or gris » est ainsi un élément vital pour la croissance et le développement économique.

Ce chapitre sera consacré dans sa première partie à la présentation du contexte de l'activité cimentière, notamment l'évolution du marché mondial et algérien, ainsi que la présentation de l'un de ses principaux acteurs au niveau national et international, en l'occurrence le groupe Lafarge. Ensuite, la deuxième partie abordera l'audit logistique et le diagnostic effectué au sein de Lafarge-Algérie.

## 1.2 Présentation du marché du ciment

Le marché mondial du ciment connaît une forte croissance durant ces dernières années, tirée par une demande de plus en plus importante. À chaque seconde dans le monde, sont coulés 126 000 kilos de ciment, soit 3,4 milliards de tonnes par an, l'équivalent de 14.100 Empire State Building. Ce chiffre ne va cesser d'augmenter si on se réfère à l'évolution de la production mondiale de ciment qui est en augmentation quasi constante depuis plus de 20 ans. En effet, la production de ciment est passée de 1200 Millions de tonnes en 1992 à plus de 3710 Millions de tonnes en 2012 [16]. La Chine se place en tant que plus gros producteur et consommateur de ciment suivi par l'Inde, les USA et l'Iran. La production se chiffre aujourd'hui à 4900 millions de tonnes comme le montre la figure 1.1.

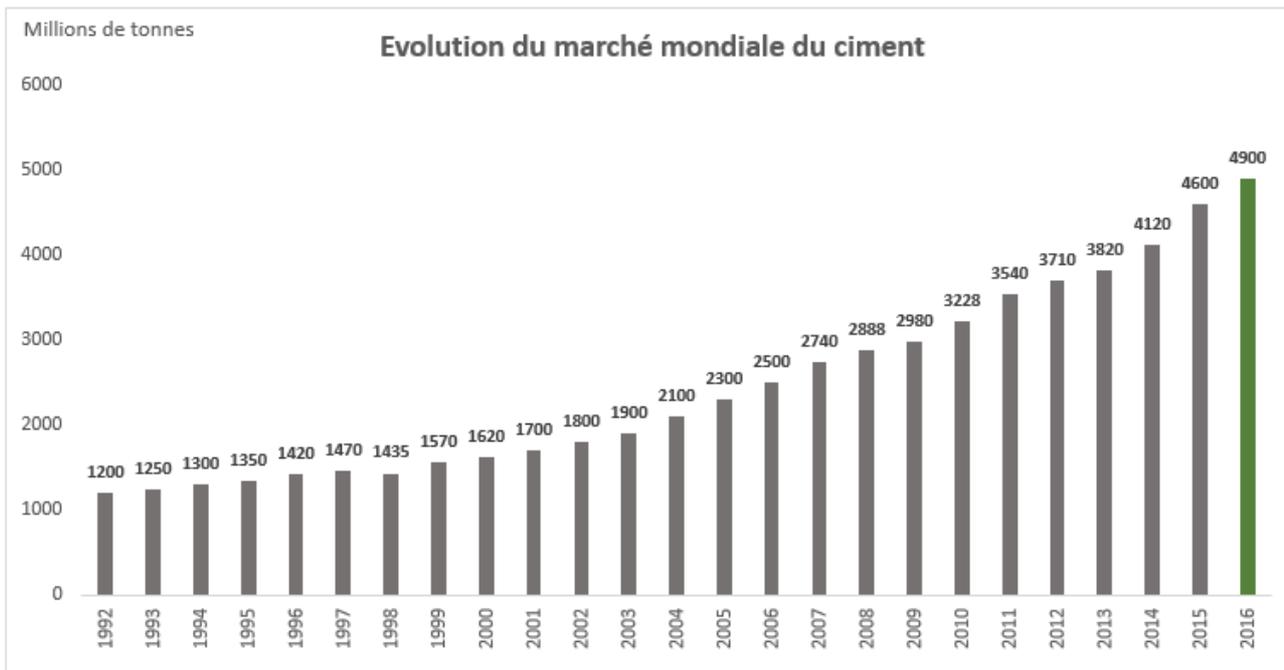


FIGURE 1.1 – Évolution de la production du ciment dans le monde [16]

D'après l'International Cement Review, la demande mondiale est tirée pour l'essentiel par les pays émergents. Leur part n'a cessé d'augmenter lors de la précédente décennie pour avoisiner 90%. En 2002, la consommation de l'Europe et de l'Amérique représentait 25% du total mondial, dix ans plus tard, elle est tombée à 12%.

La production mondiale de ciment s'établit en 2015 à 4,6 milliards de tonnes, en croissance annuelle moyenne de 6,9% par rapport au niveau enregistré en 2010 (3,3 milliards de tonnes). Ceci correspond à une croissance de 6,3% par rapport à 2014, qui s'explique par les développements positifs des principales économies émergentes, malgré le ralentissement économique connu fin 2015.

Durant les dernières années, les moteurs de croissance de la production de ciment sont les pays émergents, notamment la Chine (TCAM 2010-2015 : 4.5%), l'Inde (TCAM 2010-2015 : 4.2%) et le Brésil (TCAM 2010-2015 : 4.3%), mais aussi les États-Unis (TCAM 2010-2015 : 5.0%).

### 1.2.1 Le marché du ciment en Algérie

Le marché du ciment en Algérie a connu beaucoup de rebondissement lors des dernières décennies. Tant dit que le secteur industriel ne cesse de grossir et de gagner en maturité avec notamment l'entrée du groupe Lafarge, la demande nationale en matière de ciment quant à elle ne cesse d'augmenter, elle est passée de 4 millions de tonnes en 1980 à 26 millions de tonnes en 2015. Cette hausse est expliquée par les nombreux projets d'urbanisme et de Méga projets entrepris par le gouvernement Algérien telle que la grande mosquée d'Alger. Cependant, cette demande se voit revue à la baisse pour l'année 2016 en raison des restrictions budgétaires de l'état avec le gel de plusieurs projets, faisant passer ainsi la demande à 25 millions de tonnes pour l'année 2016.

La production locale est dominée par deux groupes industriels, le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) avec plus de 13 millions de tonnes/an en 2016, contre près de 10 millions de tonnes/an en 2016, pour le groupe international Lafarge. La figure 1.2 illustre la répartition du marché du ciment Algérien pour l'année 2016.

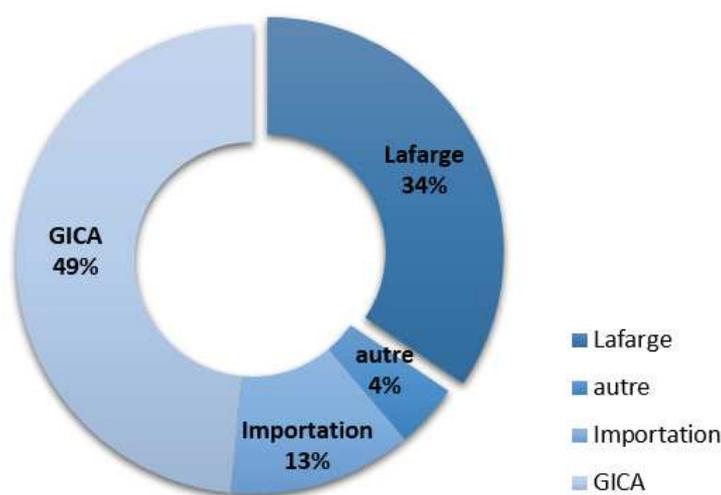


FIGURE 1.2 – Part de marché des producteurs de ciment en Algérie (d'après les estimations du département marketing)

Suite à cette demande de plus en plus importante, la production du ciment a également

connu une forte évolution : allant de 1,5 million de tonnes juste après l'indépendance du pays à plus de 22 millions de tonnes en 2016, et qui pourrait même dépasser la demande avec un excédent de 2 millions de tonnes à partir de 2017, d'après les dernières estimations. Celles-ci montrent qu'un renversement du marché est entrain de s'opérer avec une offre qui dépassera la demande dans les prochaines années, avec d'un côté l'ouverture de la nouvelle usine de Lafarge à Biskra mais aussi avec l'introduction de nouveaux acteurs dans la production de ciment. La figure 1.3 montre une estimation de l'évolution de la demande et de l'offre allant de l'année 2015 à 2020.



FIGURE 1.3 – Evolution annuelle de la demande et de l'offre du ciment en ALgérie (d'après les estimations du departement marketing)

### 1.2.2 La nature de la demande du marché

Le marché du ciment dans les pays arabes et particulièrement en Algérie est très différent de ce qu'on pourrait trouver dans les autres pays, La demande se caractérise par une double saisonnalité assez marquée qui est due à deux phénomènes bien différents. Le premier touche le secteur de la construction en général est relié à la météo et aux variations de la température. Durant les jours pluvieux et froids, les chantiers de construction ont tendance à ralentir voir fermer si les conditions sont trop mauvaises, ce qui va bien entendu se répercuter sur la production et les ventes du ciment. Cette période en Algérie s'étend environ de décembre à février et varie selon les conditions météorologiques.

Le second effet est spécifique aux pays musulmans, et concerne la période du Ramadan. Pendant cette période, la productivité ainsi que la motivation du personnel sont très fortement affectées, ce qui affecte directement les chantiers de construction. Durant cette période, plusieurs chantiers ferment ou ne réalisent que des travaux d'intérieurs, ainsi la demande en ciment se voit diminuer d'une manière significative. Un autre point qui rend cette saisonnalité très particulière est qu'elle est flottante ; c'est-à-dire que suivant les années cette période se décale de 10 jours par rapport au calendrier grégorien

## 1.3 Présentation de LafargeHolcim

### 1.3.1 Le groupe LafargeHolcim

C'est en 1833 dans l'Ardèche française, qu'est fondée Lafarge par Joseph-Auguste Pavin de Lafarge qui commence en tant qu'entreprise spécialisée dans les opérations d'extraction dans des carrières de calcaire. Très vite, elle se tourne vers la production de ciment et réussit après plusieurs acquisitions à s'imposer comme la première entreprise de ciment en France.

Mais c'est en 1864 que Lafarge apparaît dans le devant de la scène mondiale en décrochant un important contrat en Égypte, en approvisionnant 200 000 tonnes de Chaux hydraulique le chantier du canal de Suez. Suivant son succès commercial, Lafarge a ouvert un laboratoire de recherche à proximité de Le Tell en France, qui est le premier laboratoire mondial spécialisé dans le ciment.

De 1950 à 1970, l'entreprise connut une importante expansion internationale en s'implantant en Amérique du nord et du sud, de 1980 à 1990 elle connut une autre expansion cette fois en Afrique de l'est et Subsaharienne ainsi que la Chine, l'Inde, et la Corée du sud.

En 2008, Lafarge prend l'acquisition d'Orascom Cement, le leader du ciment dans le bassin méditerranéen, avec plusieurs sites stratégiques tels que l'Égypte, l'Algérie, les Émirats Arabes Unies et l'Irak, ce qui permet à Lafarge d'asseoir sa position dans la région.

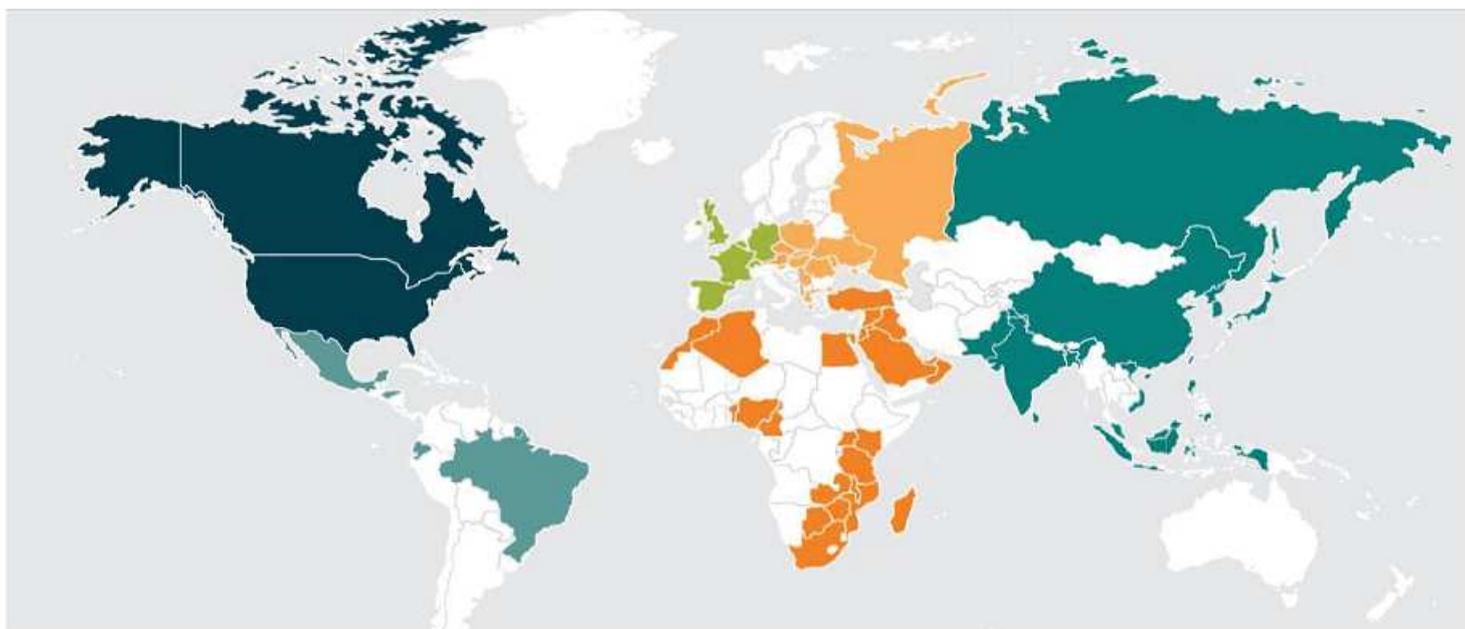


FIGURE 1.4 – Présence de LafargeHolcime dans le monde

Le 10 juillet 2015, Lafarge fusionne avec le suisse Holcim, un nouveau groupe est alors créé sous le nom de LafargeHolcim. Cette fusion des deux géants de la construction les propulse alors au rang de leader mondial dans ce secteur, présent dans 80 pays à travers le monde (figure 1.4) avec une capacité de production de 353 millions de tonnes par an et emploie près de 90 000 personnes dans le monde [13] (figure 1.5).

La société produit et vend dans le monde entier principalement du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi. Lafarge a développé des ciments spéciaux et des bétons innovants de renommée internationale. Ses produits et méthodes de construction sont utilisés dans le monde

entier comme référence de qualité.

En 2016, le chiffre d'affaires de LafargeHolcim s'est élevé à 26,9 milliards d'euros, dont 62,3% dans le ciment et 37,7% dans le béton et les granulats [13].

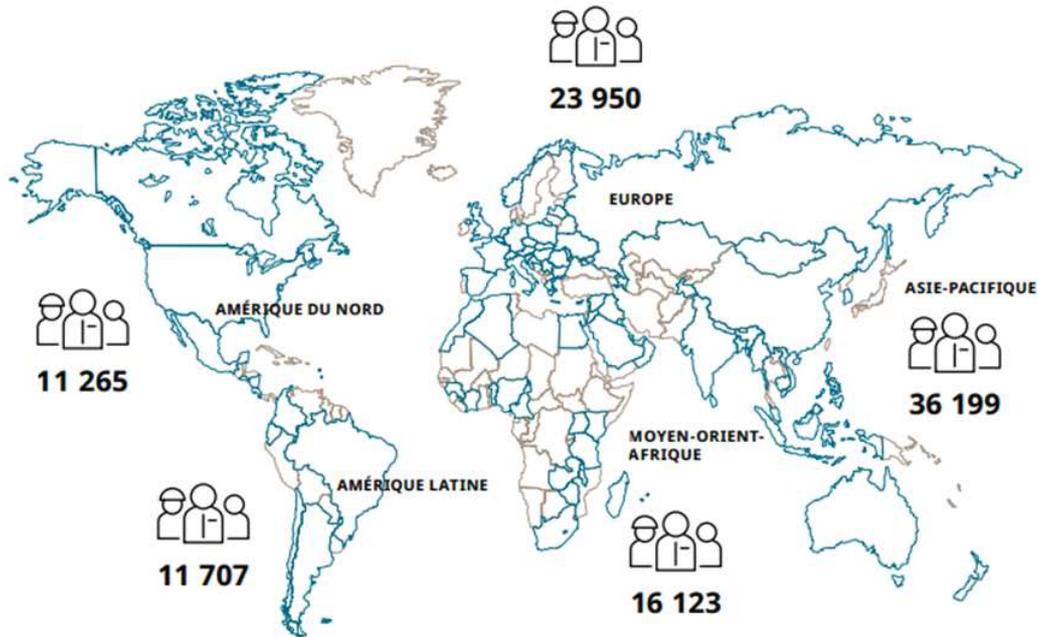


FIGURE 1.5 – Répartition du personnel de LafargeHolcime dans le monde [12]

### 1.3.2 Lafarge Algérie

Lafarge Algérie est une filiale du groupe LafargeHolcim spécialisée dans la production et la commercialisation de ciment et de béton prêt à l'emploi. Avec un effectif de plus de 2600 employés et une capacité de production estimée à 11,9 Millions de tonnes par an répartie sur ses trois sites de production, Msila Oggaz et Biskra, Lafarge est l'un des principaux acteurs dans les matériaux de construction en Algérie.

Lafarge Algérie gère aussi en partenariat avec l'entreprise GICA la cimenterie de MEFTAH d'une capacité de 1,5 million tonne/an.

En ce qui concerne le béton, Lafarge Béton Algérie possède 30 centres de production répartis sur le territoire algérien d'une capacité de 1,5 million tonne/an ; elle propose une gamme de produits diversifiée qui comprend la gamme des bétons à valeur ajoutée tels qu'Agilia, une gamme de bétons autoplaçants ou autonivelants, Ductal, un béton à ultra-hautes performances, ou encore, Chronoliat, une gamme de béton prêt à l'emploi communément appelé BPE.

Lafarge est aussi présente dans la production de plâtre avec COLPA (Cosider Lafarge Plâtre Algérie) qui, en association avec le groupe Cosider, possède une usine de production de plâtre en poudre située à Bouira.

Lafarge Algérie a lancé en 2013 la première enseigne de supermarché des matériaux de construction BATISTORE, permettant un accès groupé des matériaux et matériels pour la

construction en termes de qualité, de choix, de services et de prix.

Dans le but de rapprocher le consommateur final du producteur, Lafarge Algérie a mis en place 8 centres de distributions, un réseau de plus de 400 distributeurs, et un objectif de 100 points de vente BATISTORE d'ici 2020.

Lafarge Algérie propose aussi 5 types de produits qui sont : Chamil, Matine, Mokaouem, Malaki, Sarie.

Lafarge Algérie a adopté une structure fonctionnelle que l'on peut représenter par l'organigramme suivant (figure 1.6) :

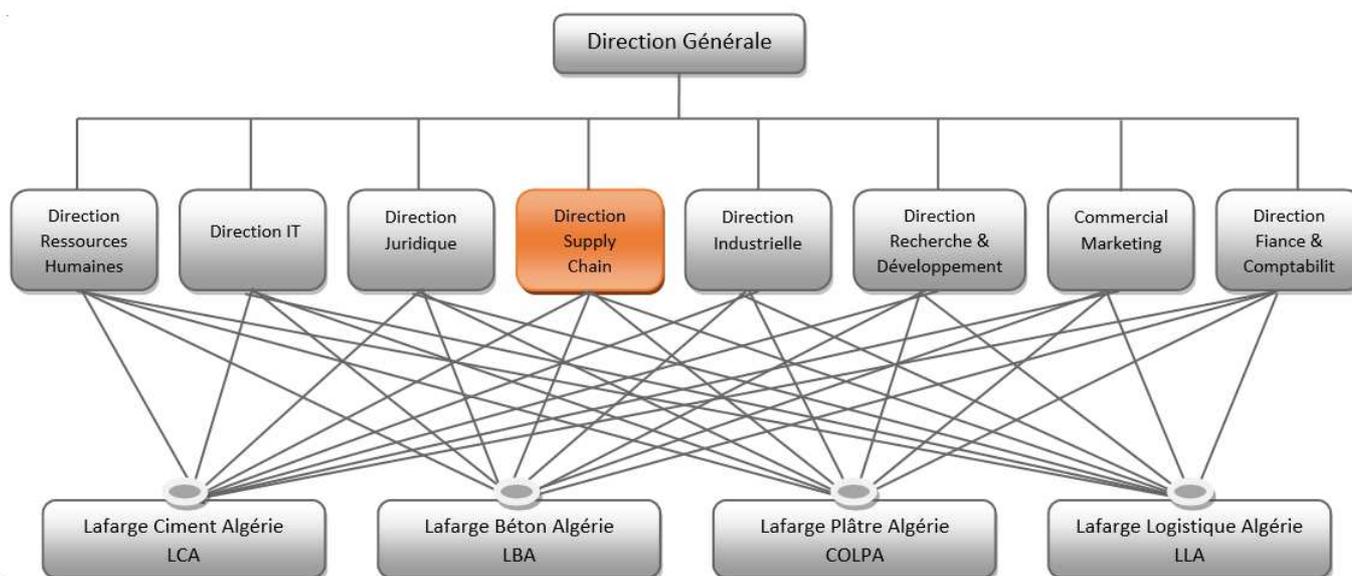


FIGURE 1.6 – Organigramme Lafarge Algérie

Cette structure repose sur la division fonctionnelle de l'autorité et de la pluralité du commandement. Ainsi, tous les employés sont dépendants de plusieurs chefs, chacun n'ayant autorité que dans son domaine de compétence. Cette division permet une meilleure spécialisation du personnel selon ses compétences.

Pour la suite, nous allons nous concentrer sur la structure Supply Chain de Lafarge, ou nous avons mené notre projet de fin d'études.

### 1.3.3 Département Supply Chain de Lafarge Algérie

Un des éléments majeurs chez Lafarge Algérie est sa chaîne logistique gérée par le département Supply Chain. Ce dernier s'occupe du suivi et de la coordination de l'ensemble des flux physiques, financiers et informationnels, en englobant toutes les activités en amont et en aval de la production, c'est-à-dire du réapprovisionnement en matière première, de son transport ainsi que de la distribution des produits finis.

La Supply Chain de Lafarge repose sur quatre structures qui travaillent en étroite collaboration, qui sont (figure 1.7) :

- Les achats
- Support client
- Le transport
- Le central planning

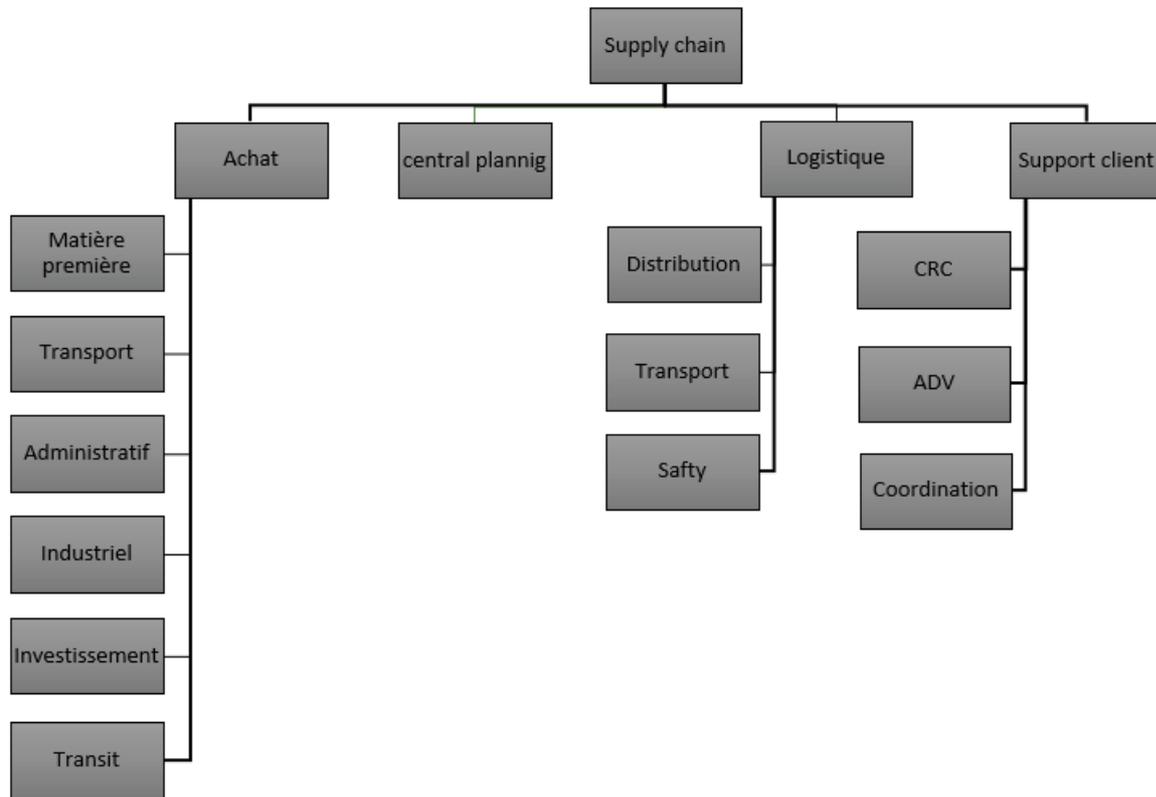


FIGURE 1.7 – Organigramme du département Supply Chain (Source département supply chain)

### Service Achats

Le service achats s'occupe principalement de la satisfaction des besoins des autres départements, qui sont des clients internes à l'entreprise, en traitant leur DA « demande d'achat » mais aussi le recrutement et la sélection des nouveaux fournisseurs.

### Service Support Client

Le service support client assure la gestion de toutes transactions et démarches en relation avec le client. Il est composé d'un centre de relation client CRC, d'une administration des ventes ADV et d'un centre de coordination logistique.

Pour l'administration des ventes, son rôle est d'assurer l'enregistrement du client dans la base de données de l'entreprise par l'insertion des informations personnelles et professionnelles nécessaires.

Quant au centre de relation client (CRC), celui-ci s'occupe d'enregistrer les commandes des clients et les valider en envoyant aux clients un SMS qui précise la date de livraison, le créneau horaire, la quantité, le transporteur, etc.

Enfin, le centre de coordination logistique constitue l'intermédiaire entre le transporteur et le client, il assure la planification du transport de la marchandise de l'usine jusqu'au client.

## Service Logistique

Le service logistique est responsable de la gestion des processus de transport et de distribution. Pour cela, il est composé de trois fonctions :

### 1. Transport

Pour la fonction Transport, sa principale tâche est d'assurer le transport des produits Lafarge à ses clients livrés en rendu<sup>1</sup> ainsi que celui des matières premières à partir des ports et des carrières vers les différents sites de production.

Le transport chez Lafarge est assuré dans sa totalité par Lafarge Logistique Algérie (LLA) qui est une filiale de Lafarge Algérie. LLA dispose de deux canaux de transport :

- Par route : avec sa Flotte propre (composée de cocottes transporteuses uniquement de ciment en vrac avec près de 20 camions), par ses mises à disposition (cocottes et camions palataux, appartenant à des sous-traitants qui ont un contrat d'exclusivité avec LLA), et par transport spot (qui est un transport sous-traité par des externes), Utilisé aussi bien pour la matière première que pour les produits finis et vers toutes destinations.
- Par train : sous-traite avec la SNTF (par sa filiale Rail express), ce mode de transport est surtout utilisé pour la matière première, mais reste moins utilisé que le transport routier.

Pour le produit fini, il existe deux formes d'opérations, soit des livraisons vers les dépôts Lafarge/ central à béton Lafarge (LBA) ; ou bien des dépôts ou usines vers des clients externes (on parle alors de rendu). Pour les types de transport, LLA utilise soit :

- Des camions cocottes pour du ciment en vrac (à partir des usines)
- Des camions plateaux pour du ciment par sac (usines et dépôts)
- Par train pour transporter le ciment blanc d'Oggaz, et du ciment gris de Biskra.
- Transport maritime par importation vers différents ports, puis transport par camion.

### 2. Distribution

En ce qui concerne la fonction Distribution, elle a pour mission de gérer la distribution des produits Lafarge de manière à assurer leur présence et disponibilité sur l'ensemble du territoire national à des prix convenables, elle est chargée de la gestion des différents dépôts Lafarge.

LAFARGE Algérie dispose de plusieurs dépôts à travers le territoire national qui sont situés à : Meftah, Bejaia, Setif, Annaba, Sidi Bel Abbes, Bechar, El Khroub, Msila.

### 3. Safety

Lafarge accorde une importance capitale à la sécurité et vise le zéro accident ; que cela soit pour sa flotte propre, ses mises à dispos, ainsi que pour le spot ; en suivant des règles strictes de sécurité, définies et régies par la directive logistique, qui est une charte que

---

1. Rendu : Le service de livraison du produit assuré par Lafarge Logistique

doit respecter tout transport assuré par LLA. Dans cette optique, un responsable logistique est attribué à chaque site, cette personne est alors en charge d'établir l'itinéraire que doivent prendre les camions pour livrer les produits et cela suivant plusieurs critères comme (l'état de la route, la limitation de vitesse, les airs de repos, les virages. . . ) afin de minimiser au maximum le risque d'accident.

### **Service Central Planning**

Le central planning, Considéré comme le cerveau de Lafarge, est l'élément qui est en contact avec l'ensemble des autres structures : Commercial, Marketing, Achat, Logistique, Usines, Finance et Centre relation clients.

Il est chargé d'assurer la planification annuelle mensuelle ainsi qu'hebdomadaire et le suivi des activités d'approvisionnement de production de ciment, et le partage des informations. Ce qui implique tout un ensemble de tâches complexes et variées, qui incluent la planification à l'échelle stratégique à travers l'estimation du budget pour les 3 prochaines années, mais aussi dans une échelle tactique avec un horizon d'un an pour le PIC prévisionnel annuel qui est en même temps décliné en mois, PIC qui est réévalué et rectifié à chaque fin de mois.

Enfin, il intervient à un niveau opérationnel avec l'estimation hebdomadaire des besoins en matière de transport et d'approvisionnement et de production et rectifie le PIC prévisionnel du mois selon les besoins, et le suivi hebdomadaire des réalisations.

### **1.3.4 Planification chez Lafarge Algérie**

La planification se décompose en trois échelons, stratégique avec un PIC annuel, tactique avec le suivi et la réévaluation du PIC chaque mois, et enfin opérationnel, avec un planning hebdomadaire et un suivi journalier.

#### **Planning annuel**

le budget se fait sur la base des objectifs stratégiques communiqués par le département marketing, puis est transmis au central planning, qui va établir plusieurs scénarios, ces derniers vont être étudiés pour en retenir qu'un seul qui va constituer l'objectif annuel de l'entreprise en matière de vente.

#### **Planning mensuel**

La planification mensuelle suit les étapes suivantes :

- Prévision de la demande : une réunion entre le responsable marketing, commercial et planification afin de déterminer la demande sans contrainte.
- Le central planning procède à des simulations pour établir plusieurs scénarios qui prennent en compte les objectifs commerciaux ainsi que les différentes contraintes. Ces résultats sont communiqués au directeur supply chain ainsi qu'au directeur commercial afin de sélectionner un de ces scénarios.
- Planification du besoin de la matière première : examine les prévisions et les compare avec le PDP et fait des simulations pour voir la faisabilité (Transport, MP. . . ) en cas d'écarts trop importants une réunion se fait avec les usines afin de procéder à un réajustement

pour répondre aux besoins, si cela n'est pas possible le prévisionnel est revu.

- Révision du PIC pour le mois et l'année : le prévisionnel PIC révisé est présenté lors d'une réunion où est présent l'ensemble des directeurs de l'entreprise (direction SUPPLY, industriels, finance, commercial, marketing).
- Diffusion du PIC et des objectifs stratégiques : une fois le prévisionnel validé, il sera communiqué aux équipes finances, industriel, commercial et support client.
- À partir du PIC un plan de production révisé est élaboré par chaque usine, à partir de ce PDP commence la planification du besoin matière première et ventes en prenant en compte les stocks disponibles aux niveaux des usines.
- Élaboration du plan de transport de produit fini : ce dernier est communiqué à la coordination qui va le traduire en termes de capacité de transport (Nombre de camions, ratio par transporteurs...) ensuite l'équipe transport va s'occuper de trouver et de réserver les transporteurs.

Sur la base du pic un plan d'approvisionnement est alors établi puis est communiqué aux équipes achat, transport, usine.

### **Planning Hebdomadaire**

Chaque dimanche à lieu la « CONF CALL » (Vidéo conférences avec les autres usines) regroupant différentes parties qui sont :

- La commerciale
- La logistique
- Les usines

Dans le but de discuter des ventes de la semaine dernière et valider les ventes de la semaine prochaine, lundi se fait le dispatching des quotas et vont être communiqués à la commerciale. Le programme de vente est ensuite communiqué à toutes les équipes chaque jeudi.

Lundi le planificateur envoie le planning des ventes à la commerciale, cette dernière élabore le fichier de commande puis le transmet au CRC.

Le mercredi le plan de production et d'approvisionnement est confirmé, en parallèle un plan de charge de transport est réalisé le mercredi et validé le jeudi et transmis aux différents transporteurs. Pour la semaine elle-même, un suivi journalier est réalisé dans l'ensemble des structures afin de détecter les écarts et tenter d'y remédier.

### **Planification du Transport**

La première étape de la planification de transport survient lors de l'élaboration du budget de transport annuel, qui est défini à partir du budget exprimé par le central planning et par la commerciale. De là une estimation des besoins de transport est faite (en flotte propre/ mise à dispos/et spot) puis traduite en coûts à partir desquels sont définis les coûts ainsi que les seuils de rentabilité et l'allocation des ressources. Cette tâche est principalement faite par le central planning pour le moment. Ce budget, après validation, est décliné en plan de transport

mensuel puis hebdomadaire.

Chaque semaine, une réunion industrielle est organisée entre les sites de production, la carrière et la LBA, pour ajuster et fixer les objectifs hebdomadaires pour la matière première; une autre réunion se fait de la même façon pour le produit fini, mais est réalisée avec la commerciale et le central planning.

Puis à partir du planning d'évolution du besoin, un planning de transport sur la semaine est établi, ce dernier va être suivi et rectifié chaque jour, et sera communiqué à la coordination qui s'occupe de la gestion journalière (réservation des camions et leur suivi) la figure 1.8 résume le processus de planification du transport.



FIGURE 1.8 – Processus de planification du transport

La figure 1.9 représente une cartographie qui synthétise les différents processus de la chaîne logistique Lafarge.

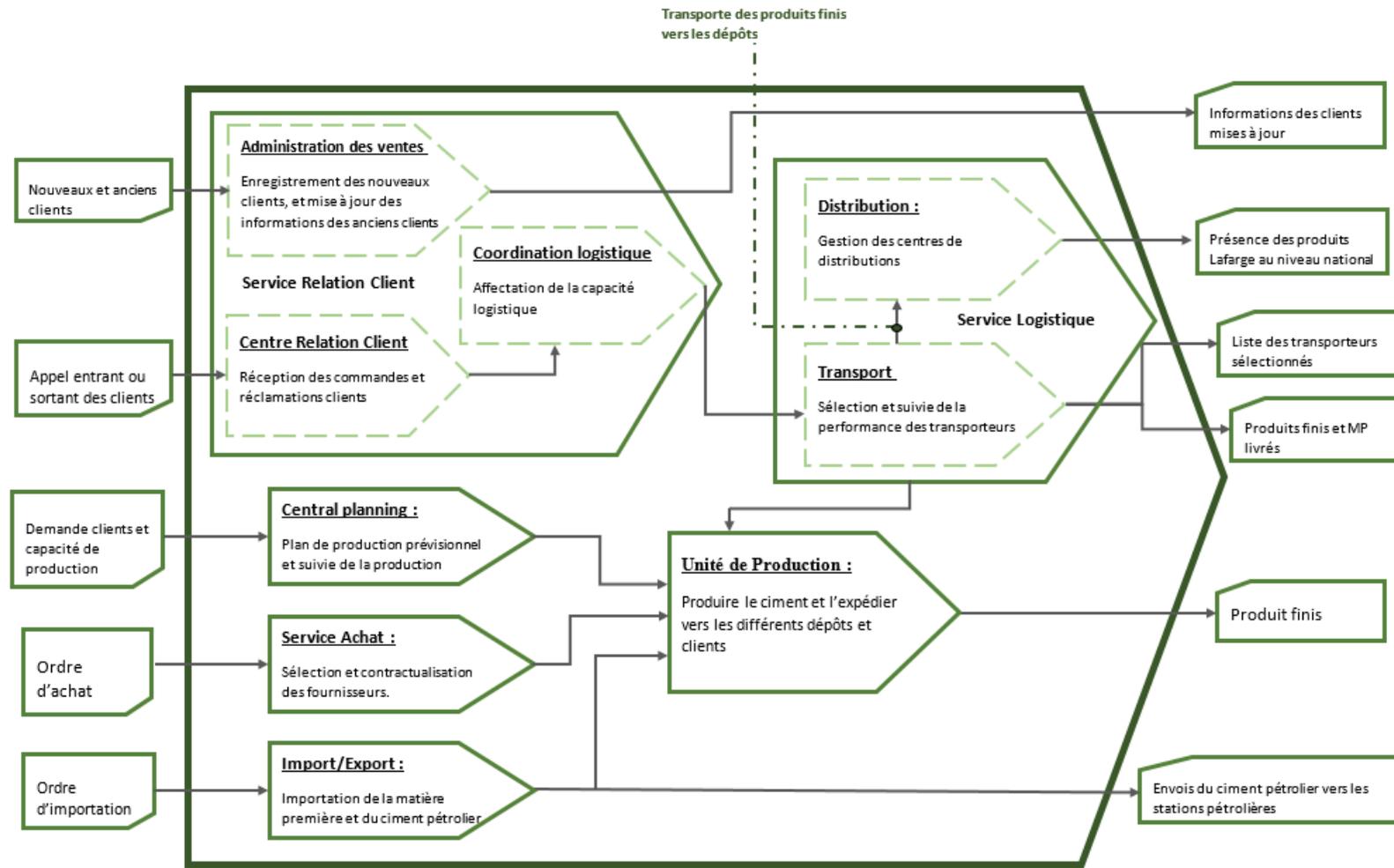


FIGURE 1.9 – Cartographie des processus au sein de la supply chain de Lafarge

## 1.4 Audit des pratiques logistiques

Dans le but de faire une analyse complète de la supply chain de Lafarge Algérie, et d'évaluer sa performance et de détecter les dysfonctionnements qui touchent les différents services, nous avons mené un audit afin de pouvoir cerner au mieux les différents processus ainsi que les interactions éventuelles entre eux, en nous basant sur le référentiel d'évaluation de la performance logistique ASLOG [2].

Dans la première partie, nous avons réalisé un audit logistique, ce qui nous a amené à passer des entretiens avec plusieurs personnes de différents départements et d'avoir ainsi une vision globale des processus, en l'occurrence des points forts, des faiblesses et des dysfonctionnements de cette chaîne. La deuxième partie du diagnostic a été orientée sur le Central Planning afin de l'analyser, de comprendre son fonctionnement, de déceler ses insuffisances, leurs causes ainsi que les axes d'amélioration possibles.

À la base, un audit peut être défini comme une démarche de contrôle et d'évaluation objective visant à vérifier l'existence et la mise œuvre de procédures et de règles formalisées au niveau du système audité en se basant sur un référentiel donné. Ce dernier incarne une représentation simplifiée issue d'une accumulation inférentielle d'informations sur des systèmes réels, comprenant un ensemble d'éléments et de faits théoriquement et pratiquement admis, qui permettent de comprendre et d'évaluer d'autres systèmes similaires

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

Notre analyse va se baser sur des outils et des méthodes qui aideront au recueil d'informations. Il s'agira de la recherche de documentation (tableaux de bords, manuel des procédures, etc...), ainsi que les entretiens avec les différents responsables de département. Nous avons sélectionné deux à trois personnes par département et nous nous sommes basés sur un périmètre de 5 chapitres (qui nous semble les plus pertinents) : Management, stratégie et planification ; la logistique d'approvisionnement ; la logistique de transport ; le stockage ; la logistique de distribution.

L'audit s'est déroulé sous forme d'entretiens individuels avec chacune des personnes auditées. Globalement, nous avons identifié deux à trois personnes pour chaque chapitre comme le montre le tableau 1.1.

Chapitre	Nom et prénom	Poste
Management, Stratégie et Planification	Ahmed BOUATTIA Ramzi AMOURI	Central Planner Demand Planner
Logistique d'approvisionnement	Ahmed BOUATTIA Khirddine BOUMAKHLA Mahdi GHERBI	Central Planner Responsable Achat Transport Responsable Achat Transport
Logistique de Transport	Abdelhak Fethi Smain OKBEBANE	Responsable performance transport Manager Transport
Logistique de Stockage	Ahmed BOUATTIA Ramzi AMOURI	Central Planner Demand Planner
Logistique de Distribution	Abdelhak Fethi Rabah MAZA	Responsable performance transportt Responsable coordination logistique

TABLE 1.1 – Personne interviewée lors de l'audit

### 1.4.1 Management, Stratégie et Planification

Comme nous l'avons déjà exposé, la supply chain chez Lafarge Algérie comporte quatre départements qui sont les achats, le central planning, la logistique et le support client. Chacun de ces départements possède un ou plusieurs managers ainsi qu'un directeur à la tête du département. Ces départements sont chapeautés par un directeur supply chain qui assure la coordination et la cohésion des actions.

Une réunion stratégique est organisée généralement annuellement afin de décider de la ligne directrice à suivre pour l'entreprise et définir le budget et l'objectif pour l'année en cours. Plusieurs directeurs et managers se voient réunis lors de cette journée (Achat, logistique, commercial, marketing, direction générale, finance). Une réunion mensuelle d'ordre tactique est organisée afin de parler du PIC du mois à venir, de discuter des réalisations du mois précédent, et s'assurer du respect du budget, et si nécessaire faire des réajustements.

Après que les objectifs aient été clairement définis, une planification des approvisionnements, de la production, et du transport est effectuée de façon hebdomadaire et un suivi journalier est assuré par le central planning.

Néanmoins, nous avons noté quelques problèmes au niveau de la coordination entre les différents départements. En effet, on retrouve parfois des informations ou des données contradictoires d'un département à un autre.

### 1.4.2 Logistique d'approvisionnement

La fonction approvisionnement est assurée par le département des achats, qui s'occupe de la satisfaction des besoins des autres départements. Ce département se divise en 6 familles, mais dans notre audit nous nous sommes surtout focalisés sur l'approvisionnement de la matière première.

Les besoins en matières premières sont exprimés par les usines, mais leur planification est assurée par le central planning, qui assure le suivi journalier des besoins et des consommations des usines via un PDP. Les besoins exprimés sont alors transmis à la fonction achat qui s'occupera de trouver le meilleur fournisseur dans le cas où le fournisseur n'a pas encore été sélectionné pour cette matière.

Pour la sélection du fournisseur, plusieurs critères sont définis afin de ne retenir que les meilleurs fournisseurs (coûts, distance entre le fournisseur et l'usine, l'état de la carrière et du site...); des audits sont organisés fréquemment pour s'assurer que le fournisseur respecte les règles en vigueur. La même procédure est faite pour les transporteurs en utilisant là aussi des critères bien spécifiques.

La planification du transport est aussi soumise à des règles et des exigences en termes de sécurité et de délais de livraison. Ainsi, avant chaque chargement, un contrôle global est effectué afin d'assurer sa conformité aux règles de sécurité. En outre, les itinéraires choisis répondent à des normes de sécurité pour réduire les risques d'accidents. Aussi, le département interdit aux chauffeurs de conduire à partir de 22h jusqu'à 6h du lendemain. Enfin, une maintenance préventive est appliquée pour réduire le risque de panne et assurer une meilleure satisfaction des clients dans les délais souhaités.

Lorsqu'il y a une pénurie de la matière première, la consommation va se faire suivant les priorités pour la production du produit fini, c'est-à-dire commencer d'abord par la production des produits qui sont dits de niche (Sari, Malaki, Moukaouem) pour ensuite aller vers les autres produits.

Toutefois, nous avons noté que les coûts liés à l'approvisionnement ne sont pris en compte que pour l'achat de la matière première en négligeant les coûts de stockage.

### 1.4.3 Logistique de transport

La stratégie principale de Lafarge Algérie est la couverture du marché. Le fait d'avoir ses produits distribués sur tout le territoire national est une nécessité pour le groupe. C'est pour cela qu'elle a investi énormément dans la formation et le suivi des transporteurs afin de construire une relation sur le long terme, Lafarge ne dispose que de quelques transporteurs sélectionnés de façon rigoureuse. Des audits sont fréquemment organisés afin de s'assurer du respect aux exigences. Tous les transporteurs sont obligés d'équiper leurs camions d'un système GPS afin d'en assurer la traçabilité.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, les chauffeurs ainsi que les transporteurs sont soumis à des règles très strictes de sécurité et de délais de livraison. Lafarge met l'accent sur l'objectif de zéro accident routier.

Mais nous avons noté que les coûts de transport ont été mal déterminés ou du moins une meilleure estimation pourrait être faite. Nous avons aussi noté une mauvaise allocation des ressources. On retrouve parfois l'utilisation du transporteur en SPOT alors que la flotte propre n'a même pas été saturée.

### 1.4.4 Logistique de stockage

La gestion du stock amont est gérée au niveau de chaque usine, et la supervision revient au Central Planning, qui s'occupe du suivi des alertes et lance les ordres de réapprovisionnement. La politique de réapprovisionnement adoptée est celle du stock minimum, au-delà duquel des ordres de réapprovisionnement sont lancés.

La gestion du stock en aval au niveau des dépôts est assurée par les gestionnaires de stock qui se trouvent auprès de chaque dépôt. Le réapprovisionnement se fait par quotas directement

depuis les usines. Chaque dépôt dispose de l'outil SD6<sup>2</sup> afin d'assurer un suivi et une traçabilité de l'information.

La gestion du stock au niveau des sites est régie par un ensemble de règles et de procédures établies pour assurer la sécurité des employés. Un ensemble de consignes de sécurité est appliqué, notamment, l'utilisation de harnais de sécurité et d'escabeau lors des opérations de chargement/déchargement ainsi que l'utilisation des EPI lorsqu'on se trouve dans les zones dites rouges. En outre, la répartition des zones de stockages et de circulation est conçue de façon rationnelle afin d'éviter les ralentissements et réduire le risque d'accident.

Le suivi du niveau du stock est assuré via des inventaires quotidiens afin de s'assurer du respect des conditions de stockages et l'élimination des avaries. Un point est fait avec le responsable du Central Planning chaque jour pour mettre à jour le fichier qui sert au suivi du stock.

Cependant, nous avons remarqué que le coût lié au stockage des produits n'est absolument pas pris en compte dans le calcul du coût global. Ce qui crée une mauvaise estimation de la valeur du produit en général, et de ce fait, engendre une gestion des stocks biaisée.

### 1.4.5 Logistique de distribution

Lafarge Algérie distribue ses produits suivant deux types de transport (Camion et train), les produits sont distribués selon deux formes (en Vrac et en Sac).

Lafarge possède trois principaux circuits de distribution. La distribution directe dont elle fait la prestation elle-même ou bien en Exwork<sup>3</sup>, les centrales à béton et les grossîtes, et les dépôts locaux, et enfin la distribution à travers un ensemble de points de vente locaux appelés Batistore qui sont dédiés à la vente en détail.

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

Un nouveau programme de distribution a été lancé par Lafarge Algérie nommé « TANSIK », qui est un Service Rendu. Ce programme se veut assez performant, avec une prise de commande par téléphone, via un centre d'appel disponible 24h/24 qui prend en charge la commande. Les clients pourront passer leurs commandes la veille et la réceptionner le lendemain. Le service offre aussi des délais de livraison fiables suivant la demande du client, les camions sont aussi dotés de plombage afin d'éviter toute tentative de vol.

L'affectation des clients du ciment sac, soit à l'usine ou au dépôt, est effectuée selon leurs consommation annuelle et leur localisation géographique. En effet, si un client se situe à proximité de l'usine et sa commande annuelle est assez importante, il sera affecté à l'usine, sinon, il sera orienté vers le dépôt le plus proche.

Pour les prévisions de ventes annuelles, elles sont faites selon l'historique des ventes, ainsi que les nouveaux grands projets qui sont annoncés. Ces données, une fois croisées, permettront d'avoir les ventes annuelles qui seront discutées par les différents départements (Central Planning, Marketing, Finance, . . . ) durant la réunion mensuelle du Sales and Operational Planning.

---

2. SD6 : Système d'information transactionnel que Lafarge Algérie utilise pour extraire les données.

3. Exwork : Le produit final est récupéré par les camions du client au niveau de l'usine

Cependant, nous avons constaté des écarts répétitifs et assez importants entre les prévisions et les ventes réalisées, dûs au fait que les prévisions ne sont pas basées sur des modèles mathématiques fiables. Ces écarts sont probablement voués à augmenter avec le retournement de marché prévu pour les prochaines années, où l'offre excédera la demande.

Nous avons constaté des faiblesses au niveau du respect des délais de livraison, généralement dues à deux types de blocages. Les blocages usine, causés par des défaillances machine et les blocages client, qui surviennent lorsque le client ne peut décharger directement après arrivée des camions.

Nous avons aussi constaté que les quotas<sup>4</sup> sont mal attribués aux clients ; Il arrive souvent que les quotas attribués par les commerciaux ne soient pas honorés par les clients ; ce qui remet en question la fiabilité des quotas .

### 1.4.6 Dysfonctionnements détectés

Cet audit nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la supply chain de Lafarge Algérie, de cerner les interactions entre les différents départements, et de pouvoir analyser ses principaux processus. Nous avons ainsi pu mettre en évidence un certain nombre de dysfonctionnements.

- Les prévisions de la demande sont faites sur la base de l'historique des ventes et non de la demande du marché.
- Aucune méthode de prévision n'est utilisée pour l'estimation de la demande.
- Manque de coordination entre les différents départements
- Un surplus d'informations est échangé entre les acteurs par mail ce qui amène à des problèmes de tri entre ce qui est important et ce qui ne l'est pas.
- Les dépôts sont certes équipés d'un système d'information, mais ils ne sont pas connectés entre eux ni même reliés avec le siège.
- Manque d'encadrement et de formalisation des relations qu'a Lafarge avec ses clients, ce qui très souvent engendre des pertes pour l'entreprise, en particulier avec ses clients internes.
- Le coût de stockage n'est pas calculé et n'est pas pris en compte dans le calcul du coût global.
- Surestimation des capacités de transport, et une affectation arbitraire des ressources logistiques.

---

4. Quotas : Quantité de ciment allouée au client par le commercial

## 1.5 Description de la problématique

### 1.5.1 Problèmes détectés

Après avoir mené à bien notre audit, et avoir analysé longuement les différentes problématiques potentielles, nous nous sommes finalement tourné vers le problème lié à la logistique en aval, sachant que sa résolution pourrait présenter une plus grande valeur ajoutée à l'entreprise. En effet nous avons détecté plusieurs dysfonctionnements liés à la gestion et à la planification du transport qui ont pour conséquence :

#### Un mauvais dimensionnement de la capacité logistique

Nous avons remarqué durant notre audit qu'il existe un écart entre la flotte possédée (flotte propre, mise à disposition) et la flotte utilisée comme le montre le tableau 1.2 et le tableau 1.3 :

	Flotte propre	Mise à Disposition	
Type	Cocotte	Cocotte	Plateau
Nombre	46	132	2

TABLE 1.2 – Nombre de Camions Cocotte et Plateau par Type de transport

	Flotte propre	Mise à Disposition	
Type	Cocotte	Cocotte	Plateau
Nombre	43	121	0

TABLE 1.3 – Nombre de Camions Cocotte et Plateau utilisés pour le mois de Mars

Le premier tableau représente la capacité logistique totale pour la flotte propre et la mise à disposition de l'entreprise. Les données présentées dans le deuxième tableau sont tirées du fichier Programme Dispatch<sup>5</sup> de la semaine, d'où nous avons extrait le nombre de cocottes et plateaux utilisés pour le transport du produit fini par les mises à disposition et la flotte propre. Dans les deux cas, l'entreprise subit des coûts fixes liés à la possession des camions (salaire du chauffeur, location du camion dans le cas de la mise à disposition. . . ) qui ne sont pas rentabilisés.

#### Une mauvaise allocation des ressources

Nous avons constaté que certains marchés pouvant être très lucratifs pour l'entreprise ne sont pas saturés, alors que d'autres marchés moins lucratifs le sont. Nous pouvons prendre comme exemple ces quatre wilayas qui font partie de celles qui rapportent le plus de gain pour le transport du produit fini en vrac comme le montre la figure 1.10 :

5. Programme Dispatch : Fichier téléchargé à partir du système d'information SD6 qui contient l'historique de chaque camion qui sort de l'usine avec les quantités transportés

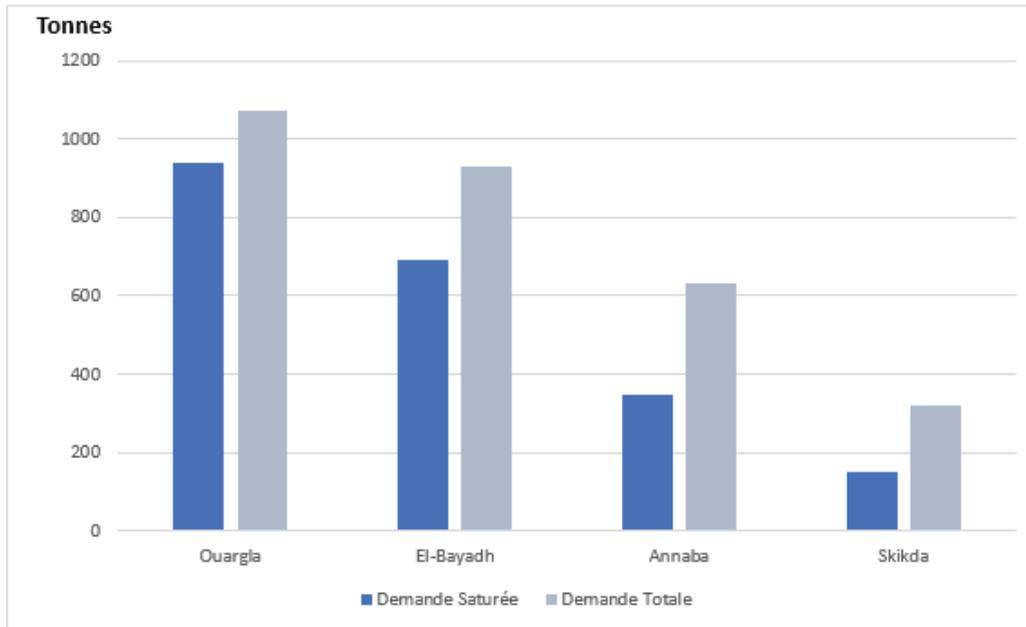


FIGURE 1.10 – Demande saturée vs Demande totale pour les marchés les plus rentables

Comme le montre la figure 1.10, plusieurs marchés à grande rentabilité logistique restent non saturés. C'est notamment le cas du marché de Skikda, qui bien qu'avec un revenu important (1339 DA/Tonne), est relégué au second plan en faveur de marchés tels que Mslia (794 DA/Tonne), ou bien Sétif (824 DA/Tonne). Comme le montre la figure 1.11 ces marchés à faible rentabilité sont complètement saturés.

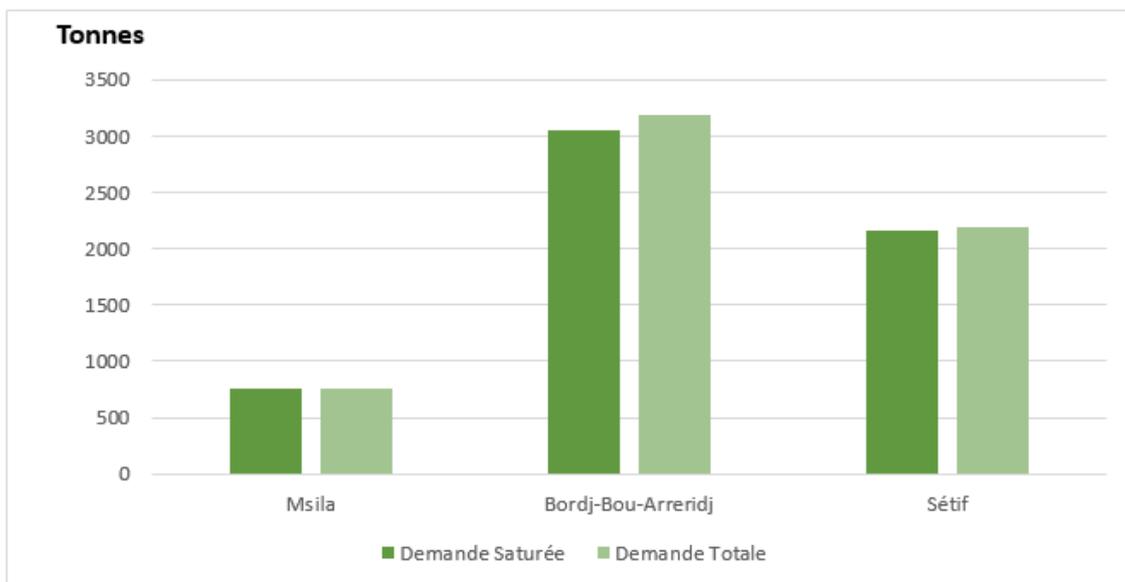


FIGURE 1.11 – Demande saturée vs Demande totale pour les marchés les moins rentables

Ces résultats peuvent être expliqués par un paramètre autre que le revenu engendré, qui est la distance et l'accessibilité de la région. En effet, selon ces paramètres, le nombre de rotations possible pour un camion varie d'une région à une autre, faisant varier la capacité de transport mensuelle. Ainsi, des marchés sont moins lucratifs que d'autres sur un voyage, mais le sont beaucoup plus sur le mois. Aussi, l'allocation de la capacité logistique par la coordination

logistique ne prend pas en compte les facteurs coûts et gains dans la prise de décision.

### 1.5.2 Causes des dysfonctionnements

Les causes de ces dysfonctionnements peuvent être dus à une absence de méthode de prévision, mais également de modèle de planification agrégée du transport.

#### Absence de méthode de prévision

Comme mentionné précédemment, Lafarge n'utilise aucune méthode mathématique pour l'élaboration de ses prévisions, ces dernières sont réalisées en utilisant seulement l'expérience des managers, ce qui cause des écarts plus ou moins importants entre ces prévisions et les ventes réelles. La figure 1.12 montre le comparatif entre réalisations et prévisions pour le vrac pour le mois de mars et d'avril :

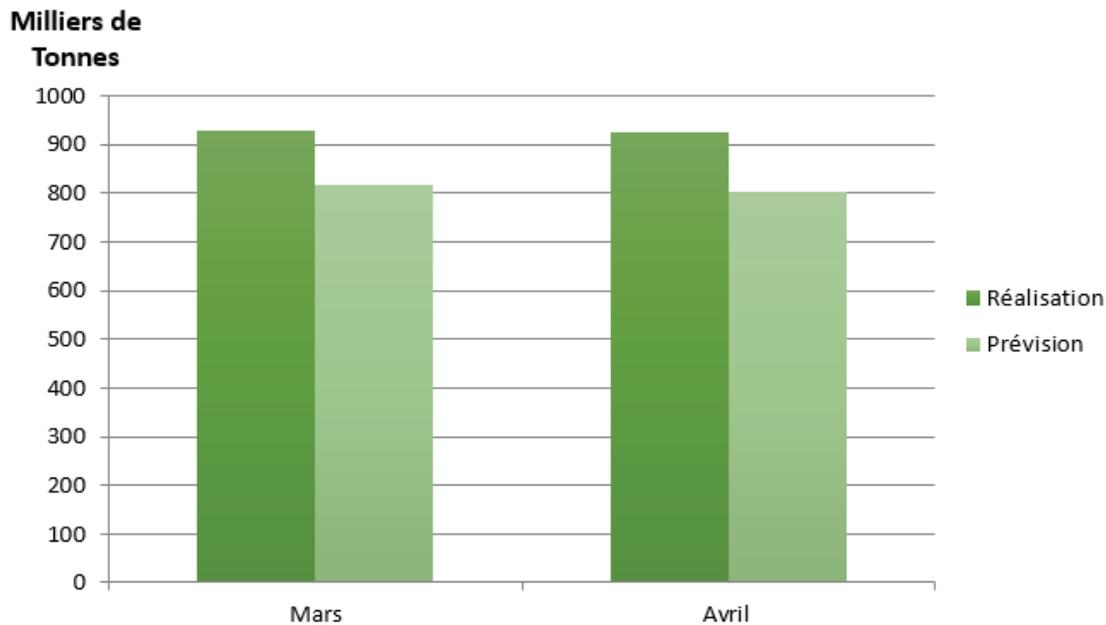


FIGURE 1.12 – Comparaison entre les prévisions de Lafarge et les ventes réalisées

Connaissant l'importance des prévisions dans la planification, des écarts aussi importants (mois de mars : 100 000 tonnes) ne peuvent être tolérés. Il est donc nécessaire d'aboutir à des prévisions plus proches de la réalité, et diminuer les écarts constatés. La solution pour cela serait selon notre analyse, la mise en place d'outils de prévision appropriés.

#### Absence de modèle de planification agrégée du transport

Comme déjà mentionné, la coordination logistique s'occupe d'attribuer la capacité logistique. Cette opération est exécutée d'une façon manuelle, sans aucune réelle optimisation du coût ou du gain engendré par le transport. L'écart constaté est dû à une absence de planification agrégée du transport, et à la vision limitée qu'ont les structures responsables de la planification du transport.

### 1.5.3 Énoncé de la problématique

Pour faire face à l'évolution que subit le marché du ciment en Algérie, avec une hausse de la capacité de production qui dépassera la demande dans les trois prochaines années, maîtriser ses coûts logistiques ne sera plus un luxe mais une nécessité si Lafarge veut rester compétitive et garder sa place dans le marché national.

Cependant, le manque de précision lors de l'élaboration de prévisions, du fait qu'elles se basent principalement sur l'expérience, engendre une faible visibilité sur la variation de la demande, et par conséquent rend toute planification moins performante, voire même inadéquate. Par ailleurs, la surestimation de la taille de sa flotte propre ainsi que de ses mises à disposition engendrent d'importants surcoûts logistiques. De plus, l'affectation de sa capacité de transport ne suit aucune règle de gestion, et n'est clairement pas optimisée, ce qui cause un manque à gagner.

Tous ces facteurs rendent difficile le fait de rentabiliser comme il se doit l'activité de distribution. Face à ce problème, Lafarge se trouve confrontée à deux questions majeures :

- Est-t-il possible d'assurer une meilleure visibilité sur la demande par le biais de prévisions basées sur des outils statistiques ?
- Est-t-il possible d'optimiser les coûts relatifs au transport par une affectation de la capacité logistique autre que celle déjà utilisée par Lafarge et de réduire la capacité logistique tout en assurant les mêmes volumes transportés ?

Les analyses précédentes nous ont permis de constater les causes de ces dysfonctionnements, ainsi que d'identifier deux pistes d'amélioration possibles qui sont :

- le développement d'un outil de prévision statistique, afin de fiabiliser les prévisions de la demande.
- L'optimisation des coûts de transport par une affectation des capacités logistiques basées sur un modèle mathématique d'optimisation.

## 1.6 Conclusion

Ce chapitre a mis en évidence, d'une part, l'évolution considérable de la demande et de la production et les spécificités du marché national. D'autre part, la présentation d'un acteur majeur dans le secteur cimentier, le groupe Lafarge en particulier, et plus précisément la supply chain de Lafarge Algérie. De plus, l'audit réalisé nous a permis de cerner, avec un certain niveau de détail, le fonctionnement de Lafarge, d'évaluer sa performance, de déceler ses dysfonctionnements, en particulier ceux de l'activité de transport, et d'identifier les causes et les axes d'amélioration possibles qui consistent en une fiabilisation des prévisions par l'utilisation d'outils statistiques, ainsi que par le développement d'un outil de planification agrégée du transport des produits finis. Une revue de littérature sera présentée dans le chapitre suivant sur les méthodes de prévision et la conception de modèle de planification agrégée.

---

## CHAPITRE 2

---

### État de l'art

## 2.1 Introduction

Ce chapitre basé sur deux sections, expliquera les notions fondamentales en matière de planification et de prévisions, essentielles pour la résolution de notre problématique.

La première section sera consacrée à la définition des principes généraux de la planification agrégée et son importance pour assurer une meilleure coordination entre les différents processus de l'entreprise, pour ensuite se focaliser sur la planification avancée. plus précisément le « Master Planning » et des différents éléments qui le composent.

Dans la deuxième section nous présenterons différentes méthodes de prévisions en nous concentrant sur les modèles utilisés dans le chapitre trois.

## 2.2 Planification agrégée

La Supply Chain par sa définition inclut tous les partenaires de l'entreprise allant du premier fournisseur jusqu'au client final. Cette structure complexe implique, selon l'entreprise et le secteur d'activité, jusqu'à des milliers d'acteurs différents, et sa gestion est d'autant plus difficile qu'un très grand nombre de décisions doivent être prises et coordonnées chaque instant. Ces décisions revêtent différents niveaux d'importance, et ne peuvent être prises sans une planification au préalable. L'objectif est de pouvoir synchroniser la production en fonction du flux, et d'éviter tout problème qui pourrait causer l'arrêt de la production. Un des outils qui permet une telle maîtrise des flux est nommé « Advanced Planning System ».

On peut définir « Advanced Planning System » comme un système de planification de l'ensemble des flux de l'entreprise (matières, informations et financiers) qui synchronisent et optimisent les activités et leurs interfaces, de façon globale et collaborative, en fonction d'objectifs prédéterminés. De part la complexité de la supply chain, un grand nombre paramètres doivent être pris en compte. Par conséquent, il est toujours nécessaire développer un modèle qui reflète la réalité de l'entreprise à travers les différentes contraintes qu'il prend en considération. La construction du modèle consiste à représenter la réalité de la façon la plus simple possible, mais aussi détaillée que nécessaire, sans ignorer les contraintes auxquelles l'entreprise fait face [15].

Il existe trois caractéristiques principales de APS :

- Planification intégrale de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, des fournisseurs aux clients finaux d'une entreprise, voire d'un réseau d'entreprises.
- une optimisation qui définit correctement les alternatives, les objectifs et les contraintes pour les différents problèmes de planification en utilisant des méthodes de planification optimisées, exactes ou basées sur des heuristiques.
- un système de planification hiérarchique qui est le seul cadre permettant la combinaison des deux propriétés précédentes.

Cependant, ils ne soutiennent pas la sélection d'une ou de quelques solutions qui sont bonnes en termes de critères prédéfinis à partir d'un large éventail de solutions réalisables [18]. C'est le but des modèles d'optimisation qui sont caractérisés par une fonction objectif qui doit être minimisée ou maximisée dont la validité est limitée à un horizon de planification prédéfini.

### 2.2.1 Horizon de planification

L'horizon de planification se caractérise par l'intervalle de temps pendant lequel les plans sont générés. Il est important de choisir un horizon de planification qui couvre au moins un cycle saisonnier. Sinon, il n'y aurait aucune possibilité d'équilibrer les capacités tout au long de la saison et par conséquent, les pics de demande ne seraient probablement pas couverts. Si, par exemple, des pics de demande auraient lieu au dernier quart d'année, et que seul six mois ont été pris en compte, il sera impossible d'équilibrer ce pic lors de la planification de la seconde moitié de l'année. Souvent, l'horizon de planification pour Master Planning couvre douze mois [15].

L'horizon de planification est divisé en plusieurs périodes. La durée de ces périodes (souvent une semaine ou un mois) doit être choisie avec précaution par rapport aux délais d'exécution à chaque étape de la chaîne d'approvisionnement.

L'horizon de planification (par exemple, un an) est divisé en périodes (par exemple, mois). Au début du mois de janvier, un plan est prévu de janvier à décembre. Mais seule la première période (période gelée), est mise en pratique. Au début de la deuxième période (février), un nouveau plan est réalisé compte tenu des changements qui ont eu lieu pendant de la première période et des prévisions mises à jour pour les périodes futures. Le nouvel horizon de planification se chevauche avec le précédent, et on ajoute l'horizon une période supplémentaire (jusqu'à la fin de janvier de l'année prochain) et ainsi de suite (voir figure 2.1). Cette procédure est un moyen commun de faire face à l'incertitude dans la planification opérationnelle à la fois dans les systèmes de planification classique et dans les APS.

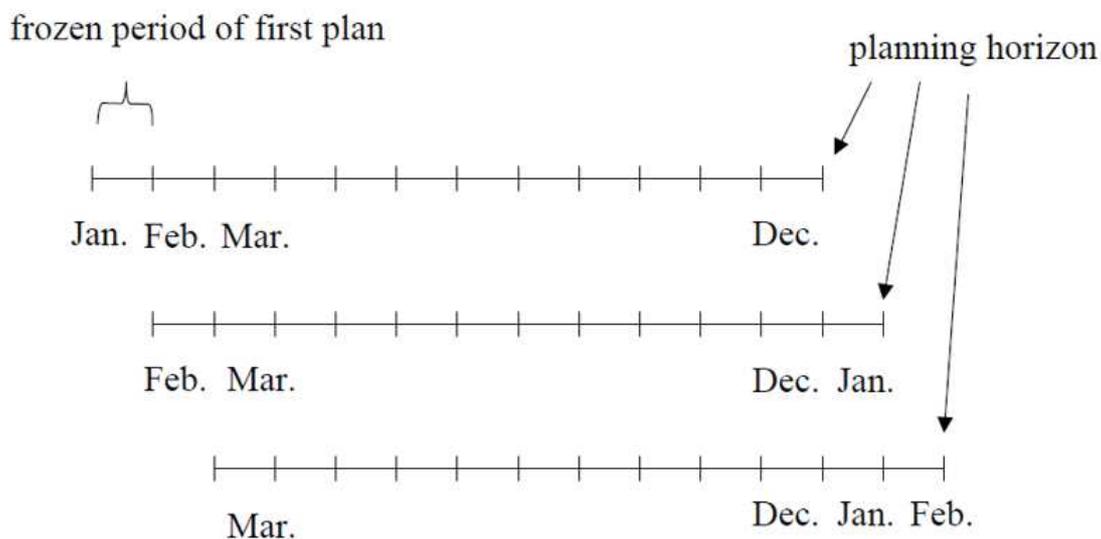


FIGURE 2.1 – Horizon de planification [18]

Une manière plus efficace de mettre à jour les plans est la planification événementielle. Dans cette optique, un nouveau plan n'est pas établi régulièrement mais seulement en cas d'événement important, comme des ventes inattendues, des changements majeurs dans les commandes des clients, l'arrêt d'une machine, etc. Cette procédure exige que toutes les données nécessaires à la planification (les stocks, la charge de travail, ... etc) soient mises à jour en permanence. C'est le cas pour un APS qui est basé sur des données d'un système de planification de ressources d'entreprise (ERP).

Selon la durée de l'horizon de planification et l'importance des décisions à prendre, les tâches de planification sont généralement classées en trois niveaux différents [18] :

- **Planification à long terme** : les décisions de ce niveau sont appelées décisions stratégiques et permettent de créer les conditions préalables au développement de la Supply Chain de l'entreprise. Elles concernent généralement la conception et la structure d'une Supply Chain avec des effets à long terme (plusieurs années).
- **Planification à moyen terme** : dans le cadre des décisions stratégiques, la planification à mi-parcours détermine un aperçu des opérations régulières, en particulier les quantités et les temps approximatifs pour les flux et les ressources dans la supply chain. L'horizon de planification varie de 6 à 24 mois, ce qui permet d'examiner les évolutions saisonnières.
- **Planification à court terme** : le niveau de planification le plus bas spécifie toutes les activités comme des instructions détaillées pour l'exécution et le contrôle immédiat. Par conséquent, les modèles de planification à court terme nécessitent le plus haut degré de précision. L'horizon de planification se situe entre quelques jours et trois mois. La planification à court terme est limitée par les décisions sur la structure et la portée quantitative des niveaux supérieurs. Néanmoins, c'est un facteur important pour la performance réelle de la supply chain.

Afin d'assurer une bonne planification de la supply chain, les APS utilisent plusieurs outils. Dans ce chapitre, nous allons nous focaliser sur deux d'entre eux qui nous semblent être les plus pertinents pour notre étude :

- Matrice de planification de la Supply chain (Supply Chain Planning Matrix)
- Master planning

## 2.2.2 Matrice de planification de la Supply Chain

La matrice de planification de la chaîne d'approvisionnement classe les tâches de planification dans les deux dimensions « horizon de planification » et « processus de la chaîne d'approvisionnement ». Les tâches à long terme sont présentées dans une seule case pour illustrer le caractère complet de la planification stratégique [18]. Les autres cases représentent les entrées matricielles, mais ne correspondent pas exactement aux modules de planification d'un HPS<sup>1</sup>. Ce dernier ne peut contenir que des parties d'une boîte à titre d'exemple sur le plan à court terme, les tâches de planification peuvent être décomposées selon d'autres dimensions, comme les sites d'usine ou les groupes de produits, ou combiner des tâches de plusieurs boîtes. Il s'agit de la conception du HPS qui peut également être utilisée pour positionner les modules logiciels de la plupart des fournisseurs APS (voir figure 2.2).

---

1. HPS : hierarchical planning system, ou Système de planification hiérarchique est l'utilisation du niveau d'abstraction différent à la fois dans le processus de planification et dans la description du domaine

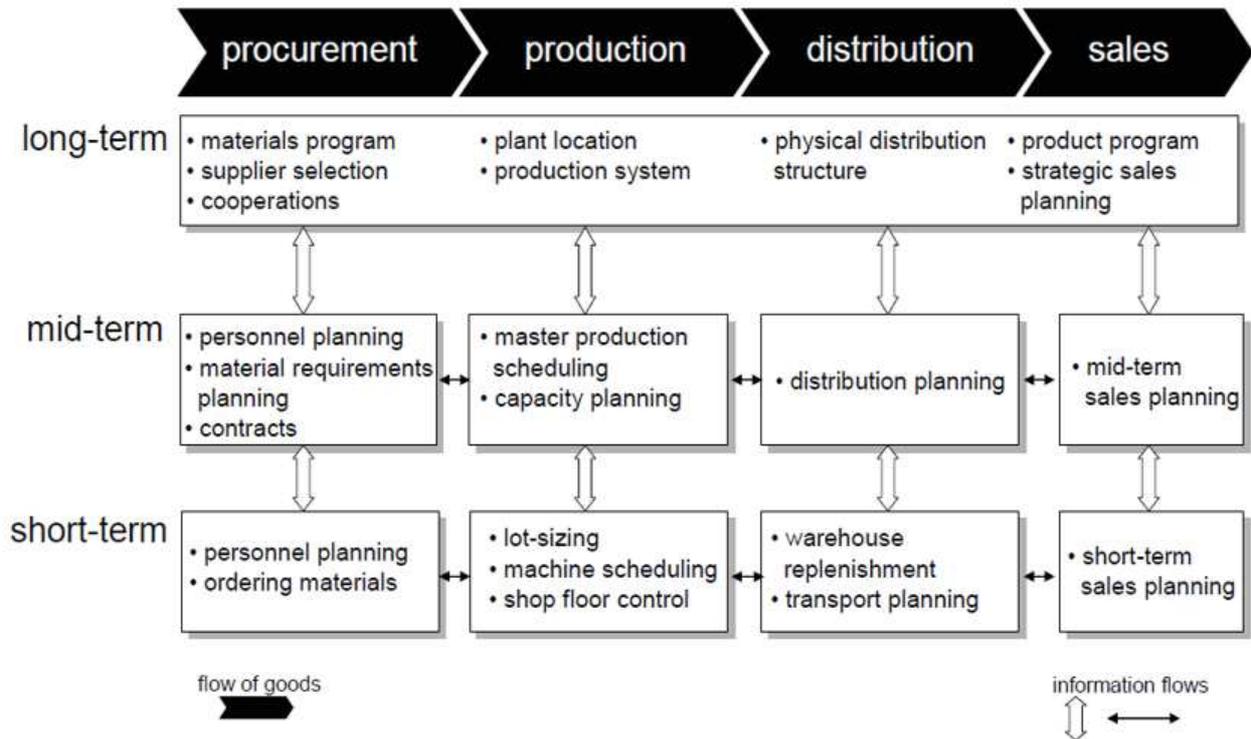


FIGURE 2.2 – Matrice de planification de la Supply chain [18]

### 2.2.3 Master Planning

L'objectif principal du Master Planning est de synchroniser le flux de matériaux sur toute la chaîne d'approvisionnement. Le Master Planning soutient les décisions à moyen terme sur l'utilisation efficace de la production, du transport, des capacités d'approvisionnement, des stocks saisonniers ainsi que sur l'équilibre de l'offre et de la demande [18]. À la suite de cette synchronisation, les entités de production et de distribution peuvent réduire leur niveau d'inventaire.

Sans planification centralisée, des stocks tampons plus importants sont nécessaires pour assurer un flux continu de matériaux. Les Master Plans coordonnés permettent de réduire ces stocks tampons en diminuant la variabilité des quantités de production et de distribution.

Pour synchroniser efficacement le flux de matériaux, il est important de décider de la manière dont les capacités disponibles de chaque entité de la chaîne d'approvisionnement seront utilisées. Comme la planification principale couvre les décisions à mi-parcours, il faut considérer au moins un cycle saisonnier pour équilibrer tous les pics de la demande. Les décisions sur les quantités de production et de transport doivent être traitées simultanément tout en minimisant les coûts totaux d'inventaire, les heures supplémentaires, la production et le transport.

Les résultats de la planification principale sont des cibles / instructions pour la planification de la production, la distribution et la planification du transport ainsi que les achats et la planification des besoins matériels. Par exemple, le module de planification de la production doit tenir compte du montant du stock prévu à la fin de chaque période de planification principale et de la capacité réservée jusqu'à l'horizon de planification. L'utilisation de lignes et de capacités de transport spécifiques sont des exemples d'instructions pour la planification de la distribution et des transports.

Cependant, il n'est pas possible et non recommandé d'effectuer une optimisation sur les données détaillées. La planification principale nécessite l'agrégation des produits et des matériaux pour les groupes de produits et les groupes de matériaux, respectivement, et la concentration sur les ressources des goulets d'étranglement. Non seulement une réduction des données peut être obtenue, mais l'incertitude sur les données à moyen terme et la complexité du modèle peuvent également être réduites.

Basé sur les données de la demande du module de planification de la demande, le Master Planning doit créer un plan de production et de distribution agrégé pour toutes les entités de la chaîne d'approvisionnement (figure 2.3).

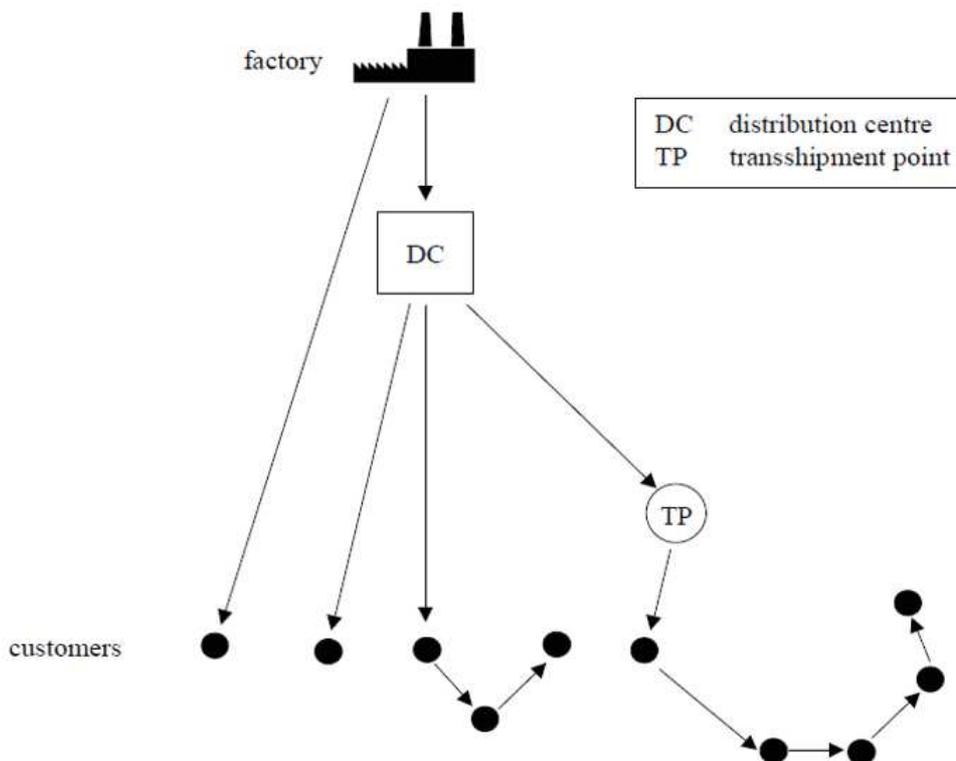


FIGURE 2.3 – Chemins de distribution [18]

Il est important de tenir compte de la capacité et des dépendances disponibles entre les différentes étapes de production et de distribution. Une telle contrainte pour l'ensemble de la Supply Chain conduit à un flux synchronisé de matériaux sans créer des stocks tampons important entre ces entités. Pour utiliser le module Master planning, il est nécessaire que les quantités de production et de transport puissent être divisées et produites en différentes périodes. En outre, les produits intermédiaires et les produits finis devraient être stockés (au moins pendant plusieurs périodes) pour pouvoir équilibrer les capacités en accumulant des inventaires. Étant donné que Master Planning est un module de planification déterministe, des résultats raisonnables ne peuvent être attendus que pour les processus de production ayant des variances de sortie faibles (figure 2.4). Les options suivantes doivent être évaluées si des goulets d'étranglement sur les ressources de production se produisent :

- Produire des périodes antérieures tout en augmentant le stock saisonnier.
- Produire sur des sites alternatifs avec des coûts de production et / ou de transport plus élevé.

- produire dans des modes de production alternatifs avec des coûts de production plus élevés.
- Acheter des produits auprès d'un fournisseur avec des coûts plus élevés que vos propres coûts de fabrication et travailler des heures supplémentaires pour répondre à la demande avec des coûts de production accrus et des coûts fixes supplémentaires possibles.

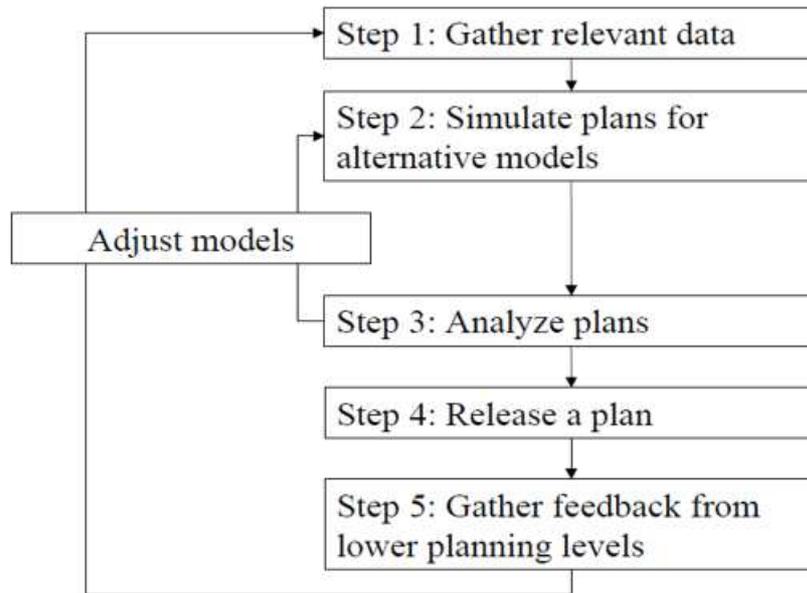


FIGURE 2.4 – Etape de construction d'un Master Plannig [18]

Il est également possible d'avoir un goulot d'étranglement sur les lignes de transport. Dans ce cas, les solutions de rechange suivantes doivent être prises en considération :

- Produire et expédier des périodes antérieures tout en augmentant le stock saisonnier dans un centre de distribution.
- Distribuer des produits en utilisant des modes de transport alternatifs avec des capacités et des coûts différents et livrer aux clients d'un autre centre de distribution.

Afin de résoudre ces problèmes de manière optimale, il faut considérer la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble et générer une solution avec une vue centralisée tout en tenant compte de tous les coûts et contraintes importantes. Dans le cas contraire, les approches décentralisées conduisent à des goulots d'étranglement à d'autres endroits et à des solutions sous-optimales.

Comme décrit dans la section précédente, un modèle pour la planification principale doit respecter plusieurs restrictions en minimisant les coûts totaux. Les coûts affectant la fonction objectif dépendent de la situation de décision.

Le Master Planning reçoit des données de différents systèmes et modules. Les données de prévision, qui décrivent la demande de chaque produit (groupe) dans chaque période dans l'horizon de planification, sont le résultat de la planification de la demande. Les capacités doivent

être incorporées pour chaque ressource potentielle de goulot d'étranglement (par exemple, machines, entrepôts, transport). Les capacités de transport ne doivent pas être modélisées si une entreprise engage un fournisseur de logistique tiers qui assure une disponibilité de 100% [18]. Mais si la capacité doit être étendue à condition que les taux de coûts augmentent, cette quantité supplémentaire de capacité et les taux de coûts respectifs doivent être pris en considération.

Pour le calcul de la capacité nécessaire, l'efficacité de la production et les coefficients de production doivent faire partie du modèle. Les nomenclatures de tous les produits (groupes) constituent la base des flux de matériaux dans le modèle et fournissent l'information sur les coefficients d'entrée-sortie. Pour chaque nœud de stockage (par exemple, l'entrepôt, l'inventaire du travail en cours), le minimum (par exemple, les stocks de sécurité et les stocks estimés de taille de lot) et les niveaux de stock maximum doivent être définis pour chaque produit (groupe). En outre, tous les éléments de coûts mentionnés ci-dessus sont entrés dans le modèle. Les données sont par exemple :

- Les prévisions pour chaque région de vente et produit à chaque période.
- Capacité régulière disponible pour chaque usine et période.
- Heures supplémentaires maximales dans chaque usine.
- L'efficacité de production des produits à des usines spécifiques.
- Les niveaux de stock actuels à chaque DC et pour chaque produit ainsi que les niveaux de stock minimums à chaque DC et pour chaque produit.

## 2.3 Planification de la demande

Dans cette section, nous nous intéresserons aux outils et méthodes de modélisation de la demande. Pour cela nous commencerons par les stratégies d'agrégations des données pour servir le processus de prévision, pour ensuite passer en revue les différents types de modèles présents dans la littérature scientifique. Puis enfin, nous terminerons avec les différents indicateurs de performance liés aux prévisions et à la mesure de l'erreur.

### 2.3.1 Stratégie de prévision et d'agrégation

Cette première partie est consacrée à la présentation de différents concepts importants dans le choix du niveau d'agrégations des données à adopter selon la nature de la demande, dans le but de fiabiliser les prévisions. Comprendre le type de demande et ce qui la caractérise est un élément clé pour choisir l'approche adaptée à l'élaboration de prévisions. Deux paramètres sont à considérer : « La variabilité de la demande » et « Le volume de la demande » [5].

Comme explicité dans la figure 2.5, il existe trois possibilités :

- **Variabilité faible de la demande** : dans ce cas, des prévisions basées sur les historiques sont à préconiser (méthodes quantitatives).
- **Grande variabilité de la demande avec un volume faible** : les prévisions sont sujettes à un fort risque d'erreurs et aller vers des commandes fermes est la meilleure solution.

- **Grande variabilité de la demande avec de grands volumes** : la trop grande variabilité pose problème aux méthodes quantitatives, pour cela, les méthodes qualitatives sont les plus adaptées dans ces conditions.

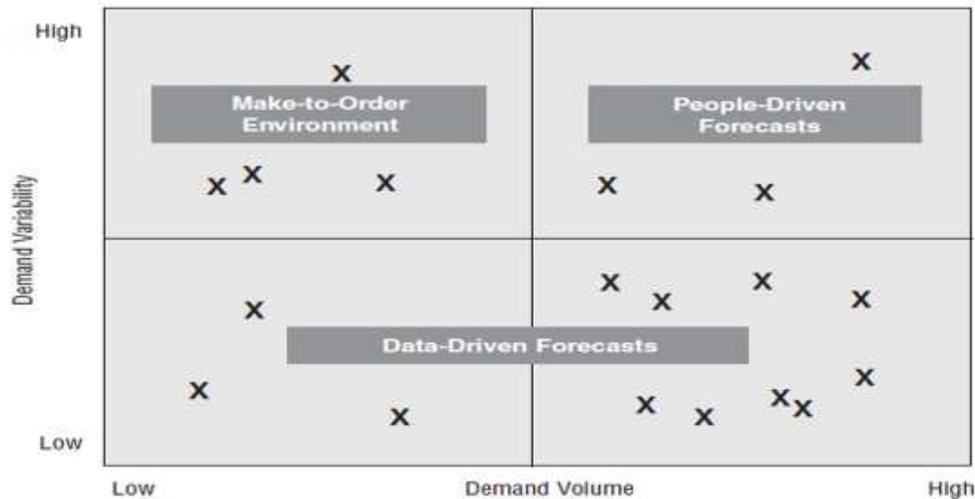


FIGURE 2.5 – Segementation des produits par type de prévisions adéquates[5]

Il existe deux principales stratégies de prévision en fonction de l'agrégation [14] :

- **Stratégie Top-Down** : consiste à faire des prévisions à partir des données agrégées (agrégation temporelle, par type de produit, par régions géographiques, ...). Le but est d'agréger les produits ayant plus ou moins le même comportement, selon différentes dimensions, afin de faire une première prévision, puis de faire une désagrégation pour avoir des prévisions à un niveau plus fin.
- **Stratégie Bottom-Up** : consiste à faire l'inverse. Des prévisions pour chaque référence produit sont faites, permettant ainsi d'analyser les fluctuations au plus fin niveau. De là, on additionne ces prévisions pour avoir un groupe d'agrégation.

À noter que dans le cas où il est possible d'avoir des groupes d'agrégats avec un comportement similaire, il est généralement préférable de travailler avec une stratégie Top-Down, dans le cas contraire, la stratégie Bottom-Up est préférable.

L'un des éléments les plus importants lors de la réalisation de prévision est l'horizon de cette dernière. Nous distinguons trois types d'horizons qui sont :

- **Les prévisions à court terme** : sont destinées à planifier l'activité opérationnelle immédiate. Le but est par exemple de planifier la production et le besoin en ressources des prochains jours ou des prochaines semaines. Une prévision à court terme ne devrait pas excéder un horizon de six mois.
- **Les prévisions à moyen terme** : sont nécessaires pour déterminer les budgets et plans annuels de production et pour planifier la capacité de production qui est peu flexible à court terme. Ces prévisions portent sur un horizon-temps annuel.
- **Les prévisions à long terme** : sont destinées à la planification stratégique et servent de base à des décisions d'investissement ou de désinvestissement en unités de production

ou en équipements. Elles sont aussi nécessaires pour décider du lancement de nouveaux produits et l'entrée sur de nouveaux marchés.

Chaque horizon a donc ses caractéristiques, il est donc important de choisir la méthode la plus appropriée aux objectifs de la prévision que l'on souhaite réaliser, comme explicité dans le tableau 2.1 :

Horizon	Caractéristiques	Techniques	Objectifs
Long terme	Prévision par grande famille de produit La demande dépend de l'environnement politico-socio-économique et de la concurrence	Méthode qualitative  Méthodes causales	Lancement d'un produit Acquisition d'un entrepôt Construction d'une usine Diversification vers d'autres activités
Moyen terme	Prévision par famille de produit Exploration de différents programmes de production possibles	Méthode d'exploration : Projection de tendance Méthode causale	plan directeur de production  planification de la capacité
Court terme	Prévision par produit ou par article Simplification dans la collecte et l'exploitation des données	Méthodes d'extrapolation : Projection de tendance Méthode causale	Approvisionnement en matières premières et produits finis

TABLE 2.1 – Les différents type d'horizons de prévision et leur caractéristiques[18]

### 2.3.2 Les Méthodes de Prévisions

Le domaine des prévisions est une des branches des mathématiques appliquées, riche en méthodes et approches variées. On distingue généralement deux grandes familles de prévisions, à savoir les méthodes « qualitatives » qui se basent plus sur l'expertise et le jugement, et les méthodes « quantitatives » qui elles, font appel aux outils statistiques des mathématiques (voir figure 2.6).

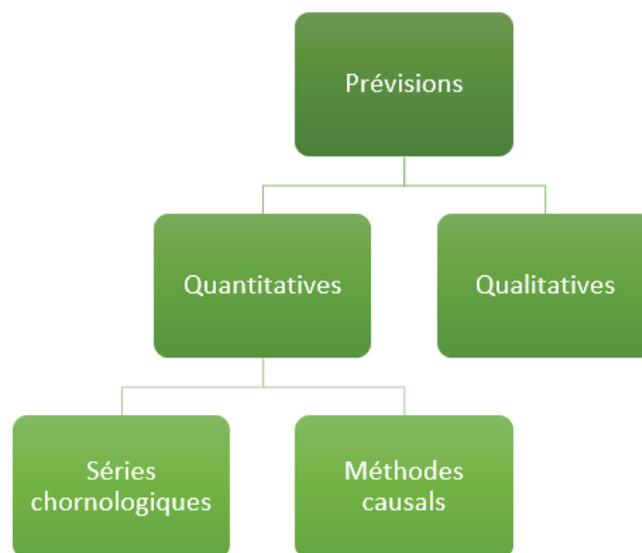


FIGURE 2.6 – Les différentes types d'approches en matière de prévision

## Méthodes qualitatives

les méthodes qualitatives utilisent des données subjectives. Le résultat dépend donc fortement de l'expérience et l'expertise de ceux en charge de la réalisation de ces prévisions. Parmi les méthodes les plus connues on cite :

- La méthode Delphi.
- Les enquêtes auprès des consommateurs.
- Les analogies historiques.
- Les panels d'experts.

Bien que les méthodes qualitatives permettent de prendre en compte des facteurs intangibles et d'avoir des résultats avec assez peu de données, comme dans le cas de l'introduction d'un nouveau produit, elles restent cependant assez longues et coûteuses à mettre en œuvre dans le cas où l'on sollicite l'avis d'experts ou de consommateurs, sans compter le risque d'avoir des prévisions biaisées ou arbitraires.

## Méthode causales ou explicatives

L'historique des données peut aussi être utilisé afin de déterminer les relations cause à effet entre certaines variables indépendantes et la demande elle-même, et cela en développant des modèles de régression, ceci permet de prévoir le comportement de la demande selon l'évolution de variables explicatives. Ces méthodes supposent que le comportement de la demande (variable endogène) est fortement corrélé avec un ou plusieurs facteurs environnementaux (variables exogènes).

Cependant, ces méthodes sont généralement difficile à appliquer en raison de la complexité qui découle de l'identification des variables explicatives, nécessitant ainsi plus de temps et d'énergie, comparativement aux autres approches.

## Méthodes auto-projectives

**Moyenne mobile :** la demande prévue est simplement la moyenne des  $n$  dernières demande. Dans le cas où la demande est quasi constante avec une faible variance, cette méthode devient alors particulièrement efficace. Elle peut aussi être utilisée pour réduire les perturbations dans la série chronologique [11], son calcul se fait par :

$$p_t = \frac{\sum_{k=1}^n d_{t-k}}{n}$$

Où  $p_t$  est la prévision pour la période  $t$ ,  $d_t$  la demande réelle de la période  $t$ , et  $n$  le nombre de périodes prises en compte.

**Lissage exponentiel simple :** Le lissage exponentiel simple est pertinent lorsqu'il n'y a ni tendance ni de saisonnalité apparentes, cette méthode permet de donner un poids dégressif aux données passées en fonction de leur antériorité, grâce à un paramètre  $\alpha \in [0;1]$ . Le principe étant qu'une information récente est plus pertinente qu'une information ancienne [11].

$$p_t = p_{t-1} + \alpha(d_t - p_{t-1})$$

Où  $p_t$  est la prévision pour la période  $t$ ,  $d_t$  la demande réelle de la période  $t$ , et  $n$  le nombre de périodes prises en compte.

**Lissage exponentiel double (modèle de Holt) :** L'atout de cette méthode est qu'elle peut aussi prendre en compte l'existence d'une tendance dans la série chronologique mais sans saisonnalité [11]. Les prévisions se calculent comme suit :

$$p_{t+h} = \alpha_{0t} + \alpha_{1t}h$$

Où  $p_{t+h}$  est la prévision pour la période  $t+h$ , et  $h$  l'horizon de la prévision.  $d_t$  La demande réelle pour la période  $t$ .  $\alpha_{0t}$  et  $\alpha_{1t}$  respectivement la moyenne lissée et la pente de la tendance estimée pour la période  $t$ .

$$\begin{cases} \alpha_{0t} = \alpha d_t + (1 - \alpha)(\alpha_{0t-1} + \alpha_{1t-1}) \\ \alpha_{1t} = \beta(\alpha_{0t} - \alpha_{0t-1}) + (1 - \beta)\alpha_{1t-1} \end{cases}$$

Où  $\alpha$  le coefficient de lissage de la moyenne ( $\alpha \in [0;1]$ ) et  $\beta$  le coefficient de lissage de la tendance ( $\beta \in [0;1]$ ).

**Lissage exponentiel triple (Holt-Winters) :** Cette méthode peut prendre en compte la présence de tendance et de saisonnalité dans la série chronologique. Il est néanmoins nécessaire de définir la périodicité des données (exemple  $p=12$  en mensuel) [11]. Les prévisions sont alors données comme suit :

$$\begin{aligned} p_{t+h} &= (\alpha_{0t} + \alpha_{1t}h)S_{t-p+h} \quad \text{si } 1 \leq h \leq p \\ p_{t+h} &= (\alpha_{0t} + \alpha_{1t}h)S_{t-p+2h} \quad \text{si } p+1 \leq h \leq 2p \end{aligned}$$

Avec :

$$\begin{cases} \alpha_{0t} = \alpha \left( \frac{d_t}{S_{t-p}} \right) + (1 - \alpha)(\alpha_{0t-1} + \alpha_{1t-1}) \\ \alpha_{1t} = \beta(\alpha_{0t} - \alpha_{0t-1}) + (1 - \beta)\alpha_{1t-1} \\ S_t = \gamma \left( \frac{d_t}{\alpha_{0t}} \right) + (1 + \gamma)S_{t-p} \end{cases}$$

Où  $p_{t+h}$  la prévision à  $t+h$ ,  $p$  la période,  $d_t$  la demande réelle pour la période  $t$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  paramètres à estimer.

## Méthodologie de Box et Jenkins

Cette technique permet de déterminer le meilleur modèle de type ARMA décrivant le processus stochastique d'une série observée ou d'une transformation stationnaire. On utilise ces trois types de processus pour construire un modèle restituant le mieux possible le comportement d'une série temporelle selon une procédure en trois étapes : identification, estimation et diagnostic, qu'il convient de réitérer jusqu'à ce que le résultat soit jugé satisfaisant [10].

Avant de rentrer plus profondément dans les détails de la méthode, quelques fondements de base doivent être définis.

1. **Concept de stationnarité :** Une série  $y_t$  pour  $t = 1, \dots, T$  est dite stationnaire si [8] :

- $E(y_t) = \mu \forall t$  (constante ne dépend pas de t)
- $\text{Var}(y_t) = \sigma^2 < \infty \forall t$  (Constante ne dépend pas de t)
- $\text{Cov}(y_t, y_{t-k}) = E[(y_t - \mu)(y_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$

Ce qui implique qu'un processus stationnaire n'a ni de saisonnalité ni de tendance.

Remarque : la série  $\epsilon_t$  telle que  $E(\epsilon_t) = 0$ ,  $\text{Var}(\epsilon_t) = \sigma^2$  est donc une série stationnaire, et est appelée bruit blanc.

## 2. Fonction d'autocorrélation simple et partielle :

Définition 1 : la fonction d'autocorrélation est la fonction notée  $p_k$  qui mesure la corrélation de la série avec elle-même décalée de k périodes [8] :

$$p_k = \frac{\text{cov}(y_t - y_{t-k})}{\sigma_{y_t} \sigma_{y_{t-k}}} = \frac{\sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{t=k+1}^n (y_{t-k} - \bar{y})^2}}$$

Où  $\bar{y}$  représente la moyenne empirique et de la série calculé sur n-k périodes, avec n le nombre d'observations. On peut en déduire que :

$$p_0 = 1 \quad \text{et} \quad p_k = p_{t-k}$$

Définition 2 : la fonction d'autocorrélation partielle de retard k mesure la corrélation entre  $y_t$  et  $y_{t-k}$ , sachant que l'influence des autres variables ( $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1}$ ) a été retirée.

Lorsque nous étudions la fonction d'autocorrélation d'une série chronologique, la question qui se pose est de savoir quels sont les termes  $\rho_k$  qui sont significativement différents de 0. En effet, si aucun terme n'est significativement différent de 0, le processus étudié est sans mémoire et donc il n'est affecté ni de tendance ni de saisonnalité. Ou encore, si une série mensuelle présente une valeur élevée pour  $\rho_k$  (corrélation entre  $y_t$  et  $y_{t-12}$ ), la série étudiée est certainement affectée d'un mouvement saisonnier.

## 3. Processus TS et DS

**Le processus TS (Trend Stationary) :** est un processus qui peut s'écrire de la façon suivante [8] :

$$y_t = \alpha + \beta t + \epsilon_t$$

Où  $\epsilon_t$  représente l'erreur du modèle à la période t.

Ce processus est de nature déterministe et non stationnaire, non stationnaire car  $E(y_t) = \alpha + \beta t$  dépend donc du temps. Cependant un processus TS peut être stationnarisé et cela en soustrayant une valeur estimée  $\hat{\alpha} + \hat{\beta}t$  en utilisant la méthode des moindres carrés.

**Le processus DS (Differency Stationary) :** aussi appelé marche au hasard, ce processus présente une non stationnarité de type stochastique et peut s'écrire de la sorte [8] :

$$y_t = y_{t-1} + \beta + \epsilon_t$$

Par récurrence, on obtient :

$$y_t = y_0 + \beta t + \sum_{i=1}^t \epsilon_i \text{ avec } \epsilon_t \sim \text{idd}(0, \sigma_t^2)$$

Avec  $\beta$  constante.

Deux cas sont alors à considérer :

- $\beta \neq 0$  (On parle alors de DS avec dérive) : ici la non stationnarité est alors causée par  $E(y_t) = y_0 + \beta t$  implique que  $E(y_t)$  dépend du temps.
- $\beta = 0$  (DS sans dérive) : dans ce cas la non stationnarité vient de la variance de  $y_t$  ; en effet  $V(y_t) = V(\sum_{i=1}^t \epsilon_i) = \sum_{i=1}^t V(\epsilon_i) = t\sigma_t^2$  ; implique que si  $t \rightarrow \infty$  alors  $V(y_t) \rightarrow \infty$ .

Enfin, pour stationnariser un DS (avec ou sans dérive), il suffit de le passer en différence première :

$$\begin{aligned} y_t - y_{t-1} &= \beta + \epsilon_t \quad (\text{cas avec dérive}) \\ y_t - y_{t-1} &= \epsilon_t \quad (\text{cas sans dérive}) \end{aligned}$$

A noter qu'une série est dite intégrée d'ordre  $d$  (notée  $y_t \sim I(d)$ ) s'il convient de la différencier  $d$  fois afin qu'elle soit stationnaire.

#### 4. Test de Dickey-Fuller simple et augmenté

Le test de Dickey Fuller permet de savoir si une série est stationnaire ou non, et permet aussi de déterminer la bonne façon de la stationnariser [8].

- Dans le cas du test dit « **Simple** » on suppose que l'erreur de la série ( $\epsilon_t$ ) suit une loi normale. Les hypothèses du test sont les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{processus non stationnaire, comprend l'une de ces formes de non stationnarité :} \\ \quad [1] \ y_t = \phi y_{t-1} + \epsilon_t \\ \quad [2] \ y_t = \phi y_{t-1} + c + \epsilon_t \\ \quad [3] \ y_t = \phi y_{t-1} + c + bt + \epsilon_t \\ \text{Avec : } \phi = 1 \text{ et } \epsilon_t \sim \text{idd}(0, \sigma_t^2) \\ H_1 : |\phi_1| < 1 \end{array} \right.$$

Sous  $H_0$  vraie, la statistique de test pour l'estimateur  $\phi_1$  est donnée par :

$$t_{\hat{\phi}_1} = \frac{\hat{\phi}_1 - 1}{\hat{\sigma}_{\phi_1}}$$

Le teste se déroule comme suit, après estimation de  $t_{\hat{\phi}_1}$ , Le choix du modèle se fait selon les règles de décision qui suivent :

Si  $t_{\hat{\phi}_1} > t_{DF}$  où  $t_{DF}$  désigne la valeur critique donnée par la table de DF  $\Rightarrow$  On accepte  $H_1$ , le coefficient de la variable explicative est significativement différent de 0

Si  $b$  est significativement différent de 0, on retient le modèle [3], et le test s'arrête là, sinon on passe au modèle [2] afin de tester  $c$ , si  $c$  est significativement différent de 0 le modèle [2] est retenu, sinon on passe au modèle [1].

**Remarque :** pour le modèle [1], la règle de décision s'inverse ; en effet dans ce cas si  $|t_{\hat{\phi}_1}| > t_{DF}$  alors on accepte  $H_0$ .

- Dickey-Fuller augmenté : ce teste suit exactement le même objectif et la même procédure de sélection, si ce n'est qu'à la différence du teste DF simple l'erreur n'est pas supposée bruit blanc, ce qui donne les hypothèses suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{processus non stationnaire, comprend l'une de ces formes de non stationnarité :} \\ [4] \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=2}^p \phi_t \Delta y_{t-k+1} + \eta_t \\ [5] \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=2}^p \phi_t \Delta y_{t-k+1} + c + \eta_t \\ [6] \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=2}^p \phi_t \Delta y_{t-k+1} + bt + c + \eta_t \\ \text{Avec : } \rho \text{ le nombre de retard, et } \eta_t \sim \text{idd}(0, \sigma_t^2) \\ H_1 : |\phi_1| < 1 \end{array} \right.$$

Nous proposons dans ce qui suit un schéma récapitulatif de l'ensemble des étapes à suivre lors du test de racine unitaire de Dickey Fuller dans la figure 2.7

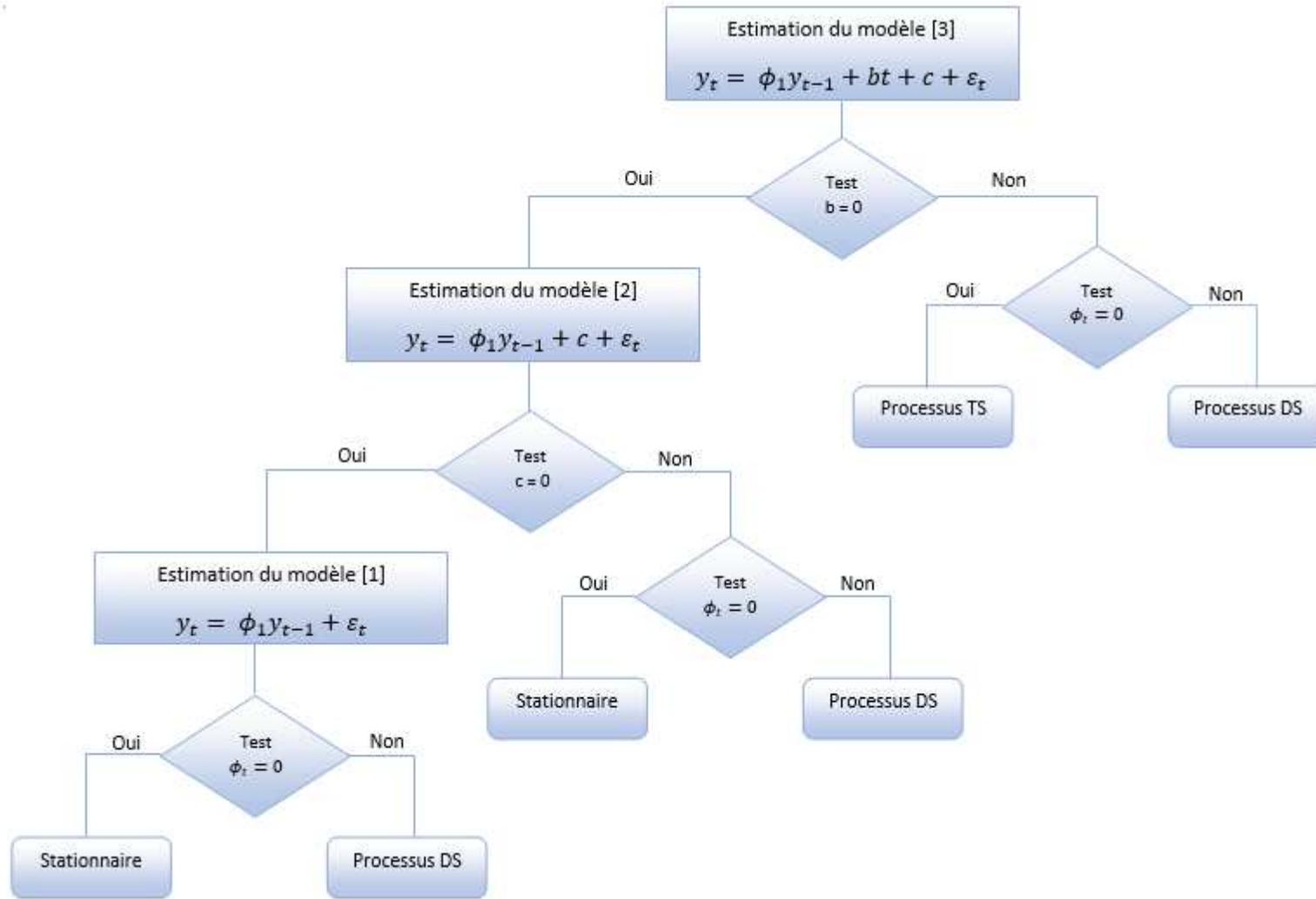


FIGURE 2.7 – Stratégie simplifiée des tests de racine

## 5. Typologie des modèles AR, MA et ARMA

**Modèle AR (Autoregressive : Autorégressif) :** Dans le processus autorégressif d'ordre  $p$ , l'observation est générée par une moyenne pondérée des observations passées jusqu'à la  $p$ -ième période sous la formule suivante [8] :

$$AR(p) : y_t = \theta_1 y_{t-1} + \theta_2 y_{t-2} + \dots + \theta_p y_{t-p} + \epsilon_t$$

Où  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$  sont des paramètres à estimer positifs ou négatifs,  $\epsilon_t$  est un aléa Gaussien.

Caractéristiques des corrélogrammes :

- Généralement le corrélogramme simple (FAC) d'un processus (p) est caractérisé par une décroissance géométrique de ses termes de type :  $p_k = p^k$
- Le corrélogramme partiel (FAP) a ses seuls  $p$  premiers termes différents de 0.

**Modèle MA (Moving Average : Moyenne Mobile) :** Dans le processus de moyenne mobile d'ordre  $q$ , chaque observation  $y_t$  est générée par une moyenne pondérée d'aléas jusqu'à la  $q$ -ième période [8].

$$MA(q) : y_t = \epsilon_t - \alpha_1 \epsilon_{t-1} - \alpha_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \alpha_q \epsilon_{t-q}$$

Où  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q$  sont des paramètres à estimer positifs ou négatifs,  $\epsilon_t$  est un aléa Gaussien.

Il est à noter qu'il y a équivalence entre un processus MA (1) et un processus AR d'ordre  $p$  infini :

$$MA(1) = AR(\infty)$$

Dans ce processus, tout comme le modèle autorégressif AR, les aléas sont supposés être engendrés par un processus de type bruit blanc.

Caractéristiques des corrélogrammes :

- Le corrélogramme simple (FAC) d'un processus MA( $q$ ) est de la forme générale :

$$p_k = \frac{\sum_{i=0}^{q-k} \alpha_i \alpha_{i+k}}{\sum_{i=0}^q \alpha_i^2} \quad \text{Pour } k = 0, 1, \dots, q \text{ et } p_k = 0 \text{ Pour } k > q$$

C'est-à-dire que seuls les  $q$  premiers termes du corrélogramme simple sont significativement différents de 0.

- Le corrélogramme partiel (FAP) est caractérisé par une décroissance géométrique des retards.

**Modèle ARMA (mélange de processus AR et MA) :** Les modèles ARMA sont donc représentatifs d'un processus généré par une combinaison des valeurs passées et des erreurs passées. Ils sont définis par l'équation [8] :

$$\text{ARMA}(p,q) : y_t = \theta_1 y_{t-1} + \theta_2 y_{t-2} + \dots + \theta_p y_{t-p+1} + \epsilon_t - \alpha_1 \epsilon_{t-1} - \alpha_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \alpha_q \epsilon_{t-q+1}$$

Caractéristiques des corrélogrammes :

Les corrélogrammes simples et partiels sont, par voie de conséquence, un mélange des deux corrélogrammes des processus AR et MA purs. Il s'avère ainsi plus délicat d'identifier ces processus à partir de l'étude des fonctions d'autocorrélation empiriques.

Nous terminons cette partie avec un schéma explicatif de la procédure à suivre lors d'une prévision par Box-Jenkins présentée dans la figure 2.8 :

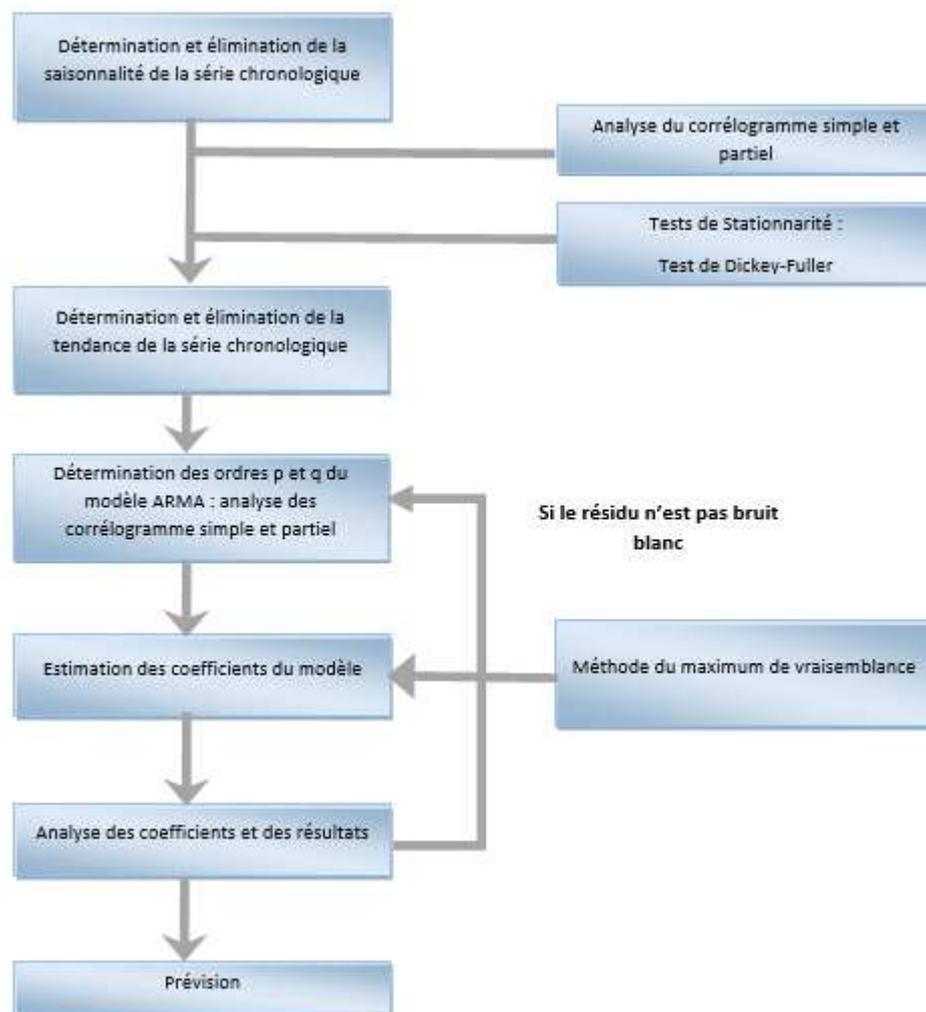


FIGURE 2.8 – Processus de prévision par Box et Jenkins[10]

### Mesure de l'erreur

Faire des prévisions implique de s'exposer au risque d'erreur, pour cela il est impératif de continuellement remettre en question la fiabilité des modèles utilisés et des prévisions qui en découlent. Cela peut être fait en mesurant le niveau d'erreur, et plusieurs méthodes existent à cet effet [4], on cite :

- Erreur brute de prévision :  $E_t$

$$E_t = F_t - D_t$$

$F_t$  : Prévision pour la période t.  $D_t$  : Réalisation pour la période t.

- Erreur quadratique moyenne (MSE Mean Squared error) :

$$MSE_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2$$

Du fait que cette méthode pénalise bien plus les grandes erreurs puisque tous les termes d'erreurs sont au carré. Cette méthode devient plus appropriée dans le cas où le coût d'une grande erreur de prévision est largement plus important que le gain issue d'une bonne prévision.

- Ecart absolu moyen (mean absolute deviation) MAD :

$$MAD_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |E_t|$$

Utile pour estimer la variance de l'erreur en supposant que l'erreur suit une loi normale.

- Pourcentage d'erreur moyenne absolue (Mean absolute percentage error « MAPE ») :

$$MAPE_n = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| 100}{n}$$

Cette méthode devient pertinente pour la mesure de l'erreur dans le cas où il existe une forte saisonnalité avec des grandes variations de la demande.

### Tableau de synthèse

Le tableau 2.2 présente la comparaison des différentes méthodes de prévision, à savoir : les techniques de lissage et la technique de contrôle.

Nous constatons que, le exponentiel correspond à une méthode supérieure à la méthode des moyennes mobiles et que la méthode de Box et Jenkins est la plus adaptée aux série de type aléatoire.

Méthode	Avantages	Inconvénients
Moyenne Mobile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de réduire l'effet du hasard et les fluctuations aléatoires</li> <li>- Simple à appliquer, ne nécessite pas beaucoup de calcul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Applicable que pour des séries stationnaire ou et des séries qui présentent une tendance linéaire</li> <li>- Ne prend pas en considération le changement de structure</li> <li>- Un stockage important de données</li> <li>- Ne prend en compte qu'un nombre limité de périodes</li> <li>- Prend du retard par rapport à la réalité</li> </ul> <p>Applicables uniquement pour le court terme</p>
Lissage Exponentiel <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple</li> <li>- Double</li> <li>- Triple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Applicable pour tous types de série stationnaire, avec tendance ou avec saisonnalité</li> <li>- Prise en compte de l'ensemble des données connues du passé</li> <li>- Règle le changement de structure en choisissant une constante du lissage <math>\alpha</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de règle précise pour le choix des paramètres de lissage</li> <li>- Calcul plus compliqué, nécessitant un logiciel</li> </ul>
Box et Jenkins	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptée au traitement de série chronologique complexe (la loi de base n'est pas apparente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficile à appliquer et nécessite beaucoup de temps</li> </ul>

TABLE 2.2 – Avantages et inconvénients des différentes méthodes de lissage

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini le cadre général de notre étude à savoir la planification agrégée, et nous avons démontré son importance dans l'entreprise afin d'assurer une coordination entre les processus.

Nous avons aussi présenté une revue de la littérature sur les différents modèles de prévisions et sur la manière de procéder au choix du modèle le plus adéquat.

Suite à cela et compte tenu de la nature de la problématique, nous proposons, dans le chapitre qui suit, une résolution de la problématique selon les pistes vues dans le chapitre 1.

---

---

## CHAPITRE 3

---

### Proposition et application des solutions

## 3.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la résolution de la problématique de développement d'un modèle de planification agrégée pour le transport du produit fini des usines au client final. Nous commencerons par une première section qui traitera du développement d'un outil de prévision. Puis nous continuerons avec une deuxième section, où nous exposerons un premier état des lieux concernant l'affectation des ressources logistiques, ensuite nous expliquerons notre démarche en détail, et pour finir, le modèle que nous proposons ainsi que les résultats.

## 3.2 Développement d'un outil statistique de prévision

L'industrie du ciment fait partie de ce que l'on nomme « les industries lourdes », qui se caractérisent par une supply chain efficace. Cela place la fiabilité des prévisions parmi les éléments-clés de performance aussi bien au niveau stratégique que tactique.

Or, comme nous l'avons précisé dans le chapitre 1, les prévisions chez Lafarge ne sont faites que sur la base de l'expérience. De plus, après l'analyse des prévisions de Lafarge, on note que celles-ci étaient loin d'être aussi performantes qu'elles devraient l'être. C'est donc pour cela que nous avons jugé crucial de les fiabiliser en utilisant des méthodes mathématiques, capables de prendre en compte la complexité de la demande du ciment relative au marché Algérie.

Nous commencerons ainsi par analyser la demande du marché afin de déterminer la meilleure approche en termes d'agrégations des données, puis nous continuerons avec le développement de deux modèles de prévisions en utilisant le logiciel EVIEWS. nous terminerons enfin avec une évaluation des résultats de chaque modèle et leur comparaison avec les prévisions existantes chez Lafarge.

### 3.2.1 Analyse de la demande

La demande ciment en Algérie peut être segmentée en deux parties, les ventes techniques qui regroupent les consommateurs de ciment, utilisé comme matière première, ce sont principalement les gros ouvrages et les centrales à béton. Ce segment représente près de 60% de la consommation de ciment, et présente une demande qui peut être connue de manière quasi sûre. Aussi, il convient de rajouter que ce type de clients travaille généralement en mode projet et a une bonne connaissance de ses besoins. Le reste de la demande est composée des distributeurs et grossistes. Ces derniers représentent 40% de la demande algérienne en ciment, et sont caractérisés par une instabilité de leurs besoins du fait que leurs principaux clients sont les chantiers des particuliers.

Ainsi, ces deux segments semblent très différents de par leur nature. Cependant, après avoir analysé ces deux demandes séparément dans un premier temps, puis d'une manière agrégée de leurs deux demandes, nous avons pu déceler un comportement commun aux deux segments, et qui se répète toutes les années. En d'autres termes, nous avons détecté une saisonnalité. En effet, les ventes baissent grandement durant l'hiver, particulièrement pour les mois de Janvier et Février, où les intempéries et le froid causent le gel ou le ralentissement des constructions. Aussi, une deuxième saisonnalité est à remarquer, celle-ci est propre au mois sacré du ramadan qui elle aussi cause une forte chute de la demande. Ceci nous donne donc une double saisonnalité, dont une flottante par rapport au calendrier grégorien, avec le glissement de 10 jours du calendrier hégirien par rapport au calendrier grégorien chaque année ; ce qui a pour conséquence

de complexifier la modélisation de la demande Lafarge en Algérie.

### Stratégie d'agrégation

Nous commençons par faire une première analyse ventes par produit, pour se faire une première idée du marché (figure 3.1)

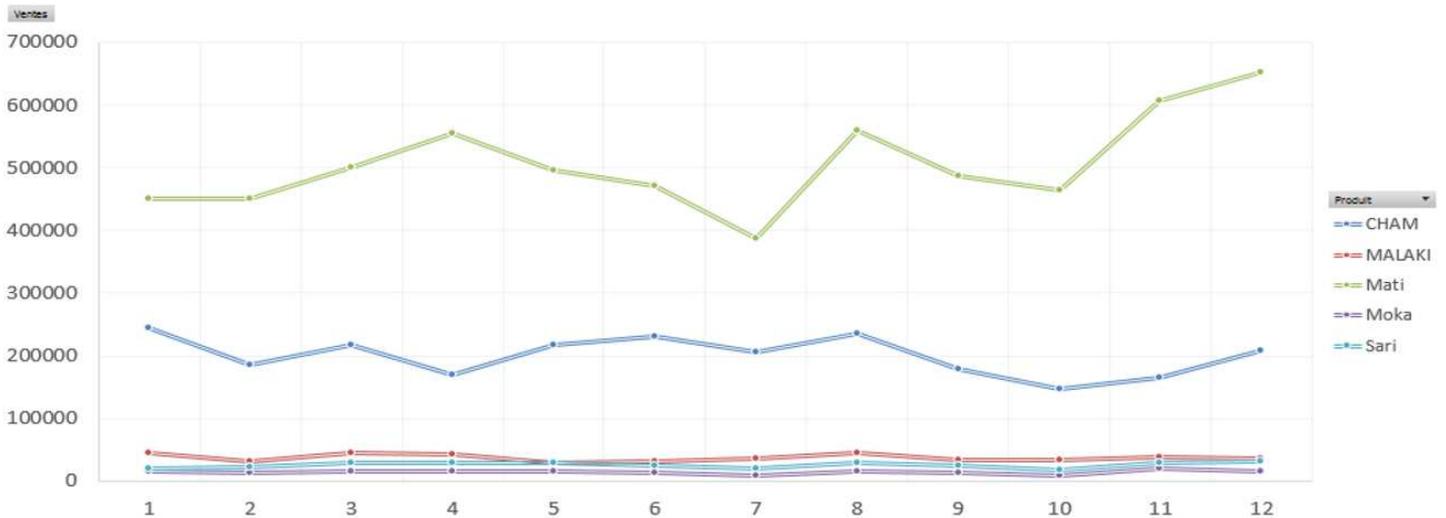


FIGURE 3.1 – Evolution des ventes Lafarge par produit

Nous remarquons alors deux points importants :

- La grande majorité de la production de Lafarge consiste en deux produits « Matine et Chamil », les autres produits dits de niches ne constituent que 9% de leur vente.
- Les ventes des différents produits évoluent de la même façon et croissent et décroissent en même temps.

Aussi, même si à priori il pourrait être intéressant de segmenter entre Sac et Vrac, cela n'est pas le cas, car le ratio entre sac et vrac est décidé au niveau stratégique, 40% Vrac 60% Sac, et reste fixe au cours du temps.

Il devient alors évident qu'une stratégie top-down est à privilégier, c'est-à-dire qu'il vaut mieux faire des prévisions sur l'ensemble des produits agrégés, peu importe leurs conditionnements, puis éclater cette demande produit par produit et d'affiner ces prévisions. Ainsi, nous optons pour une agrégation des données de ventes au plus haut niveau possible, c'est-à-dire, pour un historique des ventes mensuelles en tonnes, regroupant l'ensemble des produits et conditionnements possibles.

### 3.2.2 Prévision de la demande

Dans cette partie, nous nous concentrerons sur le développement d'un modèle de prévision fiable, pour cela nous commencerons par une première analyse de l'évolution des ventes chez Lafarge, puis nous nous attaquerons à la modélisation de la demande en un premier temps par la méthode du lissage exponentiel triple, puis nous continuerons avec la méthodologie proposée par Box et Jenkins.

**Etude de la série temporelle « ventes »**

La série temporelle « Ventes » représente l'évolution mensuelle des ventes de Lafarge pour l'ensemble de ses produits, et cela de 2012 à 2016.

Première analyse :

Nous commençons par visualiser le graphe des ventes ainsi que le graphe saisonnier de la série afin d'avoir une première idée des caractéristiques de celle-ci (figure 3.2 figure 3.3).

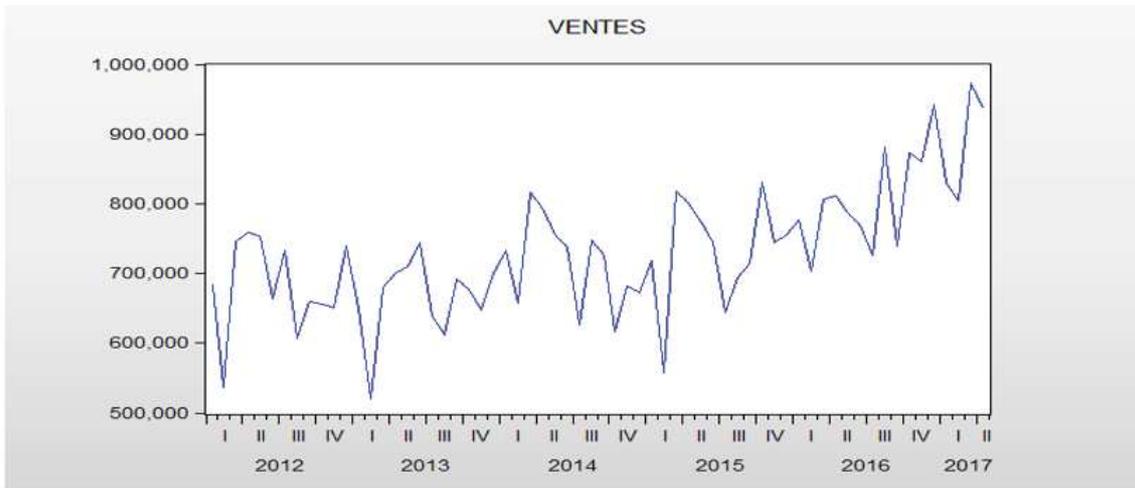


FIGURE 3.2 – Evolution des ventes Lafarge de 2012 à 2016

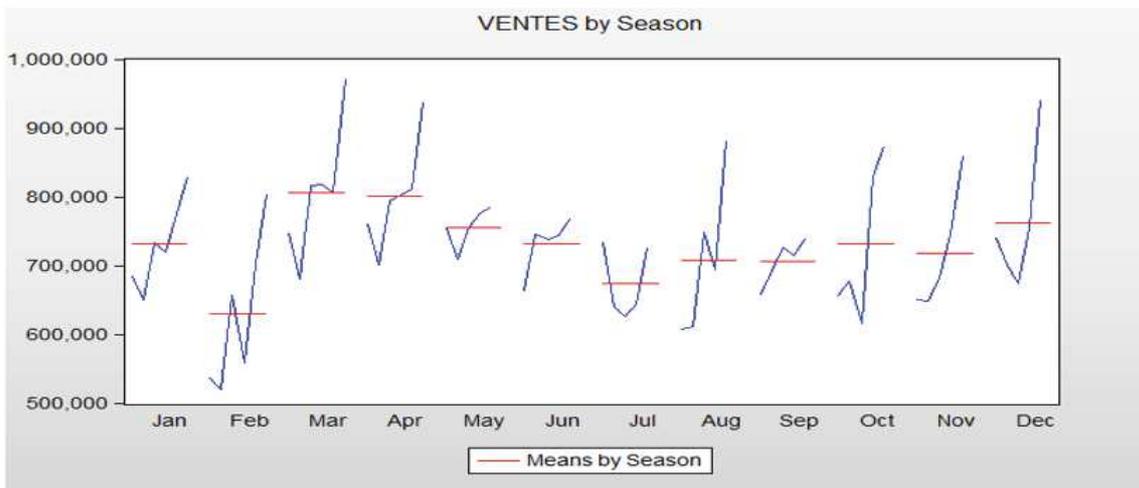


FIGURE 3.3 – Graphe saisonnier

De par ces deux premiers graphes, nous arrivons déjà à déceler l'existence d'une tendance, et nous confirmons la présence de saisonnalité dans la série.

Analyse du corrélogramme de la série Ventes (figure 3.4) :

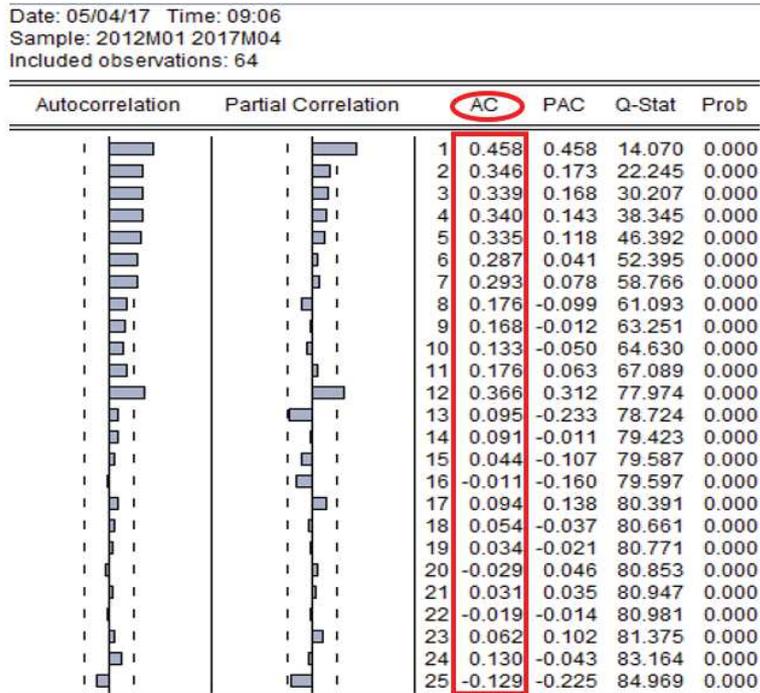


FIGURE 3.4 – Résultats corrélogramme pour la série "Ventes"

Nous remarquons plusieurs pics significatifs, ce qui confirme la présence de saisonnalité, de plus on peut observer que le critère AC est décroissant et converge vers 0, ce qui indique l'existence d'une tendance.

Afin de confirmer l'existence de la saisonnalité, un premier test ANOVA est réalisé sous Excel, dans le but de déterminer le type de cette saisonnalité, en l'occurrence additive ou bien multiplicative, on effectue une régression linéaire sur l'écart type de la série.

### Teste de saisonnalité de Fisher (voir Annexe 1)

Les résultats du test montrent clairement une présence de saisonnalité, on remarque d'abord que la Pvalue = 3,817E-5 qui est donc bien inférieur à 0,05, de plus la valeur F = 7,975 est nettement supérieure à la valeur critique du test qui est de 2,539. On accepte donc l'hypothèse de présence de saisonnalité.

### Identification du schéma (Additif ou Multiplicatif)

Nous avons procédé à une régression linéaire sur Excel comme suit :

Nous calculons les moyennes et écarts types de chaque année, puis à l'aide de la méthode des moindres carrés (voir Annexe 2), nous estimons la validité de la relation :  $\sigma_x = a | X | + b$ , ce qui nous donne les deux hypothèses suivantes :

$H_0$  : a est non significativement différent de 0 → Schéma additif

$H_1$  : a est significativement différent de 0 → Schéma multiplicatif

On remarque que probabilité de  $X_1$ , variable qui représente la moyenne, est égale à 0,26 et donc supérieure à 0,05 ce qui indique que l'hypothèse  $H_0$  est acceptée, nous avons donc un schéma additif.

### Modèles de prévision

#### Modèle 1 : lissage exponentiel triple « Holt Winter »

Notre première approche consiste à modéliser la demande de Lafarge par la méthode de Holt Winter, étant donné que celle-ci est à caractère saisonnier et comporte une tendance comme nous l'avons vu. Cette méthode peut donc potentiellement donner des résultats satisfaisants. Pour cela, nous utilisons une des fonctionnalités d'Eviews, qui permet l'estimation des paramètres d'un modèle Holt Winter additif avec saisonnalité.

L'estimation des paramètres du modèle est faite sur la période allant de Janvier 2012 à Août 2016, ce qui nous donne les résultats présentés dans la figure 3.5 :

Sample: 2012M01 2016M08		
Included observations: 56		
Method: Holt-Winters Additive Seasonal		
Original Series: VENTES		
Forecast Series: VENTESSM		
Parameters:	Alpha	0.1200
	Beta	0.0000
	Gamma	0.0000
	Sum of Squared Residuals	1.17E+11
	Root Mean Squared Error	45779.44
End of Period Levels:	Mean	777599.6
	Trend	1413.806
	Seasonals:	
	2015M09	-4117.593
	2015M10	-8380.551
	2015M11	-23327.33
	2015M12	10981.61
	2016M01	5689.604
	2016M02	-124229.0
	2016M03	71493.92
	2016M04	68864.25
	2016M05	51832.16
	2016M06	24897.52
	2016M07	-38361.53
	2016M08	-35343.00

FIGURE 3.5 – Modèle Holt Winter retenu par eviews

Nous effectuons alors une prévision basée sur ce modèle pour la période allant de septembre 2016 à Avril 2017, afin de pouvoir comparer ces résultats avec les réalisations de Lafarge pour les mêmes mois. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.1 :

Date	Sept-16	Oct-16	Nov-16	Déc-16	Janv-17	Fév-17	Mars-17	Avr-17
Holtwinter	774896	772047	758514	794236	790358	661853	858990	857774

TABLE 3.1 – Résultat des Prévisions par Holt Winter

Cependant, nous ne voulons pas nous arrêter à cette première approche, et proposons d'aller plus loin en suivant la méthodologie de Box Jenkins afin de voir s'il est possible d'aboutir à des prévisions de meilleure qualité.

**Modèle 2 : Méthodologie de Box et Jenkins**

Comme démontré dans l'étude de la série temporelle « ventes », il y a présence de saisonnalité de type additive, pour cela, nous devons procéder à une correction des facteurs saisonniers en dessaisonnant à l'aide des moyennes mobiles. Nous obtenons alors la série « ventessa ». C'est à partir de cette série que nous continuons notre démarche.

**1. Teste de Dickey Fuller sur la série « Ventessa »**

Dans cette partie, nous allons appliquer les tests de Dickey Fuller augmentés, tels que présentés dans le chapitre 2, afin de déterminer la meilleure façon de stationnariser la série « Ventessa ». Nous commençons donc par estimer le modèle 6 à travers le test du coefficient de la tendance « test de b » qui est le suivant :

$$H_0 : b = 0 \rightarrow b \text{ n'est pas significativement différent de } 0$$

$$H_1 : b \neq 0 \rightarrow b \text{ est significativement différent de } 0$$

Avec la condition que si le coefficient de b est inférieur à 0,05 nous rejettons l'hypothèse  $H_0$  et on accepte  $H_1$ .

Les valeurs du test donné par Eviews sont présentées dans la figure 3.6 :

Null Hypothesis: QTESA has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)				
			t-Statistic	Prob.*
<b>Augmented Dickey-Fuller test statistic</b>			<b>-5.734627</b>	<b>0.0001</b>
Test critical values:	1% level		-4.110440	
	5% level		-3.482763	
	10% level		-3.169372	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(QTESA)				
Method: Least Squares				
Date: 05/04/17 Time: 09:05				
Sample (adjusted): 2012M02 2017M04				
Included observations: 63 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
QTESA(-1)	-0.711687	0.124103	-5.734627	0.0000
C	447920.2	79332.30	5.646126	0.0000
@TREND("2012M01")	2284.572	509.9918	4.479625	0.0000
R-squared	0.355142	Mean dependent var		3290.051
Adjusted R-squared	0.333646	S.D. dependent var		61228.70
S.E. of regression	49981.28	Akaike info criterion		24.52313
Sum squared resid	1.50E+11	Schwarz criterion		24.62519
Log likelihood	-769.4787	Hannan-Quinn criter.		24.56327
F-statistic	16.52185	Durbin-Watson stat		2.154702
Prob(F-statistic)	0.000002			

FIGURE 3.6 – test racine unitaire modèle 6 pour la serie "Ventessa"

Nous remarquons que la probabilité de b est égale à 0, ce qui est inférieur à 0,05, nous acceptons donc  $H_1$ . De plus nous avons la valeur du T-test de la racine unitaire égale à -5,73 ce qui est supérieure en valeur absolue à la valeur critique 3,48, on rejette donc l'existence d'une racine unitaire.

Nous avons donc un processus TS qui doit être stationnarisé en soustrayant la tendance de la série.

Nous estimons donc la tendance à l'aide de la méthode des moindres carrés; ce qui nous donne l'équation suivante :

$$Trend = 632340.352377 + 3095.02924118 * @TREND$$

À partir de là, nous générons une nouvelle série chronologique que l'on nomme « ventesd » telle que :

$$ventesd = ventessa - (632340.352377 + 3095.02924118 * @TREND)$$

Nous repassons alors de nouveau au test de DF, cette fois ci sur la série « venesd ». Nous commençons avec le Modèle 6, ce qui nous donne (voir figure 3.7) :

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VENTESD(-1)	-0.711687	0.124103	-5.734627	0.0000
C	-3000.319	12747.27	-0.235370	0.8147
@TREND("2012M01")	81.88136	346.4276	0.236359	0.8140
R-squared	0.355142	Mean dependent var		195.0220
Adjusted R-squared	0.333646	S.D. dependent var		61228.70
S.E. of regression	49981.28	Akaike info criterion		24.52313
Sum squared resid	1.50E+11	Schwarz criterion		24.62519
Log likelihood	-769.4787	Hannan-Quinn criter.		24.56327
F-statistic	16.52185	Durbin-Watson stat		2.154702
Prob(F-statistic)	0.000002			

FIGURE 3.7 – Test Racine Unitaire modèle 6 pour la serie "Ventesd"

Nous voyons ainsi que la probabilité de la tendance est supérieure à 0,05, on accepte alors l'hypothèse  $H_0$  ce qui veut dire donc absence de tendance, nous passons donc au modèle 5 (voir figure 3.8)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VENTESD(-1)	-0.712508	0.123091	-5.788474	0.0000
C	-380.7800	6248.920	-0.060935	0.9516
R-squared	0.354541	Mean dependent var		195.0220
Adjusted R-squared	0.343960	S.D. dependent var		61228.70
S.E. of regression	49592.98	Akaike info criterion		24.49232
Sum squared resid	1.50E+11	Schwarz criterion		24.56035
Log likelihood	-769.5080	Hannan-Quinn criter.		24.51908
F-statistic	33.50644	Durbin-Watson stat		2.150625
Prob(F-statistic)	0.000000			

FIGURE 3.8 – Test Racine Unitaire modèle 5 pour la serie "Ventesd"

Nous remarquons que la probabilité de C est supérieure à 0,05, on accepte l'hypothèse  $H_0$  ce qui veut dire donc absence de constante dans le modèle. Nous passons alors au modèle 4 (voir figure 3.9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.835312	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.602185	
5% level	-1.946072	
10% level	-1.613448	

FIGURE 3.9 – Test Racine Unitaire modèle 4 pour la serie "Ventesd"

La t-statistique de la racine unitaire est supérieure au seuil critique de 5% en valeur absolue, on rejette l'existence de racine unitaire. C'est donc une série stationnaire

## 2. Choix du modèle ARMA : (identification des paramètres)

Maintenant que nous savons que la série « ventesd » est stationnaire, la prochaine étape est d'estimer le processus ARMA(p,q) le plus adapté. Pour cela, nous utilisons le correlogramme de la série afin d'analyser les fonctions d'autocorrélation simple et partielle (voir figure 3.10).

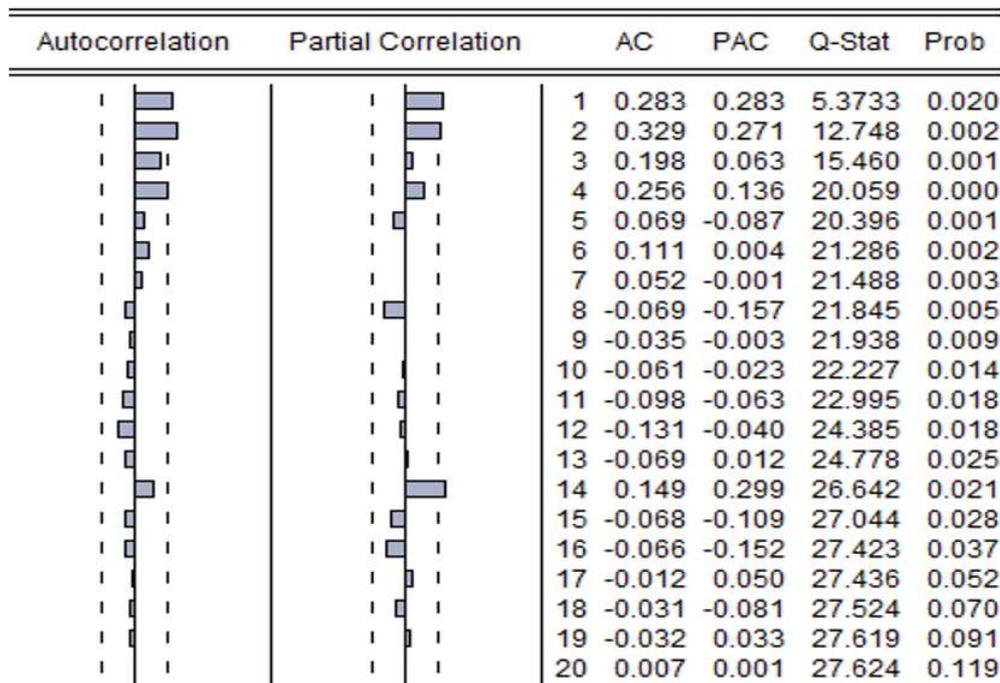


FIGURE 3.10 – Correlogramme de la serie "ventesd"

En analysant les pics significatifs, nous arrivons à identifier les modèles suivants : AR(2); MA(2); MA(14); ARMA(1,1); ARMA(2,2); ARMA(2,14)

Modélisation avec AR(2) (voir figure 3.11)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.249980	0.137878	1.813055	0.0755
R-squared	0.026198	Mean dependent var		-8641.354
Adjusted R-squared	0.026198	S.D. dependent var		47166.57
S.E. of regression	46544.63	Akaike info criterion		24.35256
Sum squared resid	1.15E+11	Schwarz criterion		24.38939
Log likelihood	-656.5190	Hannan-Quinn criter.		24.36676
Durbin-Watson stat	1.550663			

FIGURE 3.11 – Modèle AR(2)

Modélisation avec MA(2) (voir figure 3.12)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(2)	0.231953	0.138346	1.676608	0.0993
R-squared	0.025394	Mean dependent var		-7613.689
Adjusted R-squared	0.025394	S.D. dependent var		46746.73
S.E. of regression	46149.37	Akaike info criterion		24.33485
Sum squared resid	1.17E+11	Schwarz criterion		24.37102
Log likelihood	-680.3758	Hannan-Quinn criter.		24.34887
Durbin-Watson stat	1.533768			

FIGURE 3.12 – Modèle MA(2)

Modélisation avec MA(14) (voir figure 3.13)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(14)	0.870200	0.023294	37.35646	0.0000
R-squared	0.402546	Mean dependent var		-7613.689
Adjusted R-squared	0.402546	S.D. dependent var		46746.73
S.E. of regression	36132.95	Akaike info criterion		23.84549
Sum squared resid	7.18E+10	Schwarz criterion		23.88166
Log likelihood	-666.6738	Hannan-Quinn criter.		23.85952
Durbin-Watson stat	1.370419			

FIGURE 3.13 – Modèle MA(14)

Modélisation avec ARMA (1 ,1) (voir figure 3.14)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.868726	0.133731	6.496063	0.0000
MA(1)	-0.740621	0.194989	-3.798277	0.0004
R-squared	0.086364	Mean dependent var		-8454.411
Adjusted R-squared	0.069126	S.D. dependent var		46748.37
S.E. of regression	45103.67	Akaike info criterion		24.30700
Sum squared resid	1.08E+11	Schwarz criterion		24.37999
Log likelihood	-666.4425	Hannan-Quinn criter.		24.33523
Durbin-Watson stat	1.838889			

FIGURE 3.14 – Modèle ARMA(1,1)

Modélisation par ARMA (2,2) (voir figure 3.15)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.763549	0.195414	3.907335	0.0003
MA(2)	-0.649989	0.245996	-2.642271	0.0109
R-squared	0.086129	Mean dependent var		-8641.354
Adjusted R-squared	0.068555	S.D. dependent var		47166.57
S.E. of regression	45521.12	Akaike info criterion		24.32607
Sum squared resid	1.08E+11	Schwarz criterion		24.39974
Log likelihood	-654.8040	Hannan-Quinn criter.		24.35448
Durbin-Watson stat	1.581158			

FIGURE 3.15 – Modèle ARMA(2,2)

Modélisation par ARMA (2 ,14) (voir figure 3.16)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.200897	0.142488	1.409928	0.1645
MA(14)	0.867607	0.025279	34.32144	0.0000
R-squared	0.485138	Mean dependent var		-8641.354
Adjusted R-squared	0.475237	S.D. dependent var		47166.57
S.E. of regression	34167.72	Akaike info criterion		23.75228
Sum squared resid	6.07E+10	Schwarz criterion		23.82595
Log likelihood	-639.3117	Hannan-Quinn criter.		23.78069
Durbin-Watson stat	1.385834			

FIGURE 3.16 – Modèle ARMA(2,14)

Nous remarquons en premier lieu que seul trois modèles, le MA (14) l'ARMA (1,1) et l'ARMA (2,2), ont leurs termes significativement différents de 0, ce qui élimine directement les autres modèles.

Afin de trancher entre ces trois modèles, nous effectuons une comparaison selon 3 critères qui sont le « R-carré » le critère « d'Akaike » et enfin le critère de « Schwarz », sachant que l'objectif est de maximiser le premier et de minimiser les deux autres. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.2 :

Modèle	$R^2$	AKAIKE	SCHWARZ
MA(14)	0.4	23.84	23.88
ARMA(1,1)	0.08	24.3	24.37
ARMA(2,2)	0.08	24.32	24.39

TABLE 3.2 – Résultat des Critère de Choix du Meilleur Modèle

A partir de ces résultats, nous retenons le modèle MA (14) qui s'écrit comme suit :

$$Y_t = U_t - 0,87U_{t-14}$$

**Prévisions**

En se basant sur le modèle MA (14) retenu précédemment, nous effectuons une prévision sur 8 mois allant de septembre 2016 à avril 2017 sur Eviews, ce qui nous donne les résultats présentés dans le tableau 3.3 :

Date	Sept-16	Oct-16	Nov-16	Déc-16	Janv-17	Fév-17	Mars-17	Avr-17
ARMA(14)	718933	767742	784557	847391	808951	734329	881519	930818

TABLE 3.3 – Resultat des Prévisions par Box-Jenkins

### 3.2.3 Mesure de la fiabilité des prévisions

La dernière étape de cette partie sera la comparaison des deux modèles développés auparavant, c'est à dire le « modèle 1 » basé sur le lissage exponentiel triple, ainsi que le « modèle 2 » qui lui est basé sur la méthodologie de Box Jenkins. Nous ajoutons aussi les prévisions faites par Lafarge, que nous appellerons « modèle 0 », pour le même mois c'est à dire la période de Septembre 2016 à Avril 2017.

Nous basons notre analyse sur trois indicateurs de performance :

$$MSE_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2$$

$$MAD_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t$$

$$MAPE_n = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| 100}{n}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau 3.4 :

Modèle	Holt Winter	MA(14)	Prévision Lafarge
MSE	4.21E+09	1.23E+09	1.40E+10
MAD	3.95E+04	2.70E+04	1.13E+05
MAPE	5%	3.21%	13%

TABLE 3.4 – Tableau comparatif des différentes prévisions

Nous remarquons une nette amélioration des prévisions faites par Lafarge, et cela dès l'application du modèle 1, cette amélioration est encore plus importante avec les prévisions faites par Box Jenkins. Le modèle 2 est donc le plus fiable des trois.

Les résultats de la solution proposée sont basés exclusivement sur des approches quantitatives qui peuvent être améliorées et corrigées à travers des approches qualitatives, ainsi que par l'expérience des managers responsables de la gestion de la demande chez Lafarge.

Après avoir sélectionné un modèle de prévision et abouti à des prévisions agrégées qui ont été validées, nous proposons de désagréger ces résultats afin d'obtenir des résultats utilisables dans la planification du transport. Pour cela, nous déterminons des prévisions pour le mois de mars 2017 pour l'ensemble des régions approvisionnées par l'usine de M'Sila, ces résultats sont présentés dans l'annexe 5.

### 3.3 Modèle de Planification

Comme il a été précisé dans l’audit que nous avons mené, Lafarge Algérie présente une sous-performance quant à l’affectation de ses ressources logistiques dans la distribution des produits finis aux clients. Cette situation est due d’une part à l’absence de modèle de planification fiable, et d’autre part, à la non-prise en compte des coûts de transport lors de l’élaboration du plan de transport. Cette situation amène à une sous-performance de la supply chain qui se traduit par des pertes pour l’entreprise.

Pour remédier à cette situation, nous proposons un modèle que nous avons développé en nous inspirant des travaux antérieurs. Ce modèle est adapté au marché local, et surtout à la structure très particulière du circuit de distribution de Lafarge Algérie. Dans notre étude, nous allons surtout nous intéresser à l’usine de Msila, par soucis de complexité, et nous essayerons d’établir au mieux son programme de transport pour le mois, avec l’objectif de maximiser le gain généré par le transport du produit fini.

#### 3.3.1 Modèle de planification du transport

Afin de résoudre au mieux la problématique, nous nous sommes beaucoup documenté sur les modèles de planification du transport utilisés dans les industries [6], surtout l’industrie du ciment, dans le but de trouver un modèle adapté au contexte du marché et de l’environnement algérien [7], [17].

La plupart des modèles que nous avons trouvés étaient inadéquats, car soit la structure de la supply chain était complètement différente, ou bien même le type de transport utilisé différait (exemple : transport par bateau, ce qui ferait que la problématique aurait été plus de l’ordre du problème de tournée). Cependant ces modèles ont aidé et guidé notre réflexion dans la définition de nos paramètres ainsi que nos variables.

Le modèle de planification va donc être un modèle mathématique linéaire spécifique à Lafarge Algérie ainsi qu’à sa supply chain caractéristique, avec une période mensuelle. La fonction objective est la maximisation des gains de transport par région, type de produit (sac/vrac), et par transporteur. On aura donc comme résultats pour chaque marché ainsi que pour chaque dépôt les quantités à livrer pour le mois et le transporteur qui va s’occuper de la livraison.

#### Indices :

$m$  : marché à desservir  $m \in M$  ;  
 $k$  : type de ciment en vrac  $k \in K$  ;  
 $l$  : type de ciment en sac  $l \in L$  ;  
 $i$  : usines  $i \in I$  ;  
 $j$  : centres de distributions  $j \in J$  ;  
 $t$  : Transporteur Vrac  $t \in T$  ;  
 $ts$  : Transporteur Sac  $ts \in TS$  ;

#### Paramètres :

##### — Production :

$CapCiment_i$  : capacité de production du ciment de l’usine  $i$ .

$CapSac_i$  : capacité d'ensachage.

— **Demande :**

$DemandVrac_{m,k}$  : matrice de demande pour le ciment de type k dans le marché m.

$DemandSac_{m,l}$  : matrice de demande pour le ciment de type l dans le marché m.

$DemandVracR_{m,k}$  : matrice de demande pour le ciment de type k dans le marché m en redirection.

$DemandSacR_{m,l}$  : matrice de demande pour le ciment de type l dans le marché m en redirection.

— **Transport :**

$GainTransVracR_{i,j,m,t}$  : matrice de gain de transport du vrac de l'usine i au marché m en passant par le dépôt j par le transporteur t.

$GainTransSacR_{i,j,m,ts}$  : matrice de gain de transport du Sac de l'usine i au marché m en passant par le dépôt j par le transporteur ts.

$GainTransVrac_{i,m,t}$  : matrice de gain de transport du Vrac de l'usine i au marché m par le transporteur t.

$GainTransSac_{i,m,ts}$  : matrice de gain de transport du Sac de l'usine i au marché m par le transporteur ts.

$C_{i,m,t}$  : capacité nominale du transporteur t en Vrac pour le trajet de l'usine i vers le marché m.

$Cs_{i,m,ts}$  : capacité nominale du transporteur ts en Sac pour le trajet de l'usine i vers le marché m.

$Cr_{i,j,m,t}$  : capacité nominale du transporteur t en Vrac pour la redirection de l'usine i vers le marché m qui passe par le dépôt j.

$Crs_{i,j,m,ts}$  : capacité nominale du transporteur ts en Sac pour la redirection de l'usine i vers le marché m qui passe par le dépôt j.

$Connecte_{i,j}$  : Matrice binaire de connectivité du centre de distribution j avec l'usine i.

$Distrib_{i,m}$  : Matrice binaire de connectivité entre l'usine i et le marché m.

**Variable de décision :**

$QteVracR_{i,j,m,k,t}$  : Quantité de vrac de ciment de type k, produit à l'usine i et envoyé au marché m en passant par le centre de distribution j et livré par le transporteur t.

$QteSacR_{i,j,m,l,ts}$  : Quantité de sac de ciment de type l, produit à l'usine i et envoyé au marché m en passant par le centre de distribution j et livré par le transporteur ts.

$QteVrac_{i,m,k,t}$  : Quantité de vrac de ciment de type k, envoyé de l'usine i au marché m et transporté par le transporteur t.

$QteSac_{i,m,l,ts}$  : Quantité de sac de ciment de type l, envoyé de l'usine i au marché m et transporté par le transporteur ts.

**Fonction objective :**

$$\begin{aligned} \max \quad & \left\{ \sum_{i,m,k,t} QteVrac_{i,m,k,t} \times GainTranspVrac_{i,m,t} \times Distrib_{i,m} \right. \\ & + \sum_{i,m,l,ts} QteSac_{i,m,l,ts} \times GainTranspSac_{i,m,ts} \times Distrib_{i,m} \\ & + \sum_{i,j,m,k,t} QteVracR_{i,j,m,k,t} \times GainTranspVracR_{i,j,m,t} \times Distrib_{i,m} \times Connecte_{i,j} \\ & \left. + \sum_{i,j,m,l,ts} QteSacR_{i,j,m,l,ts} \times GainTranspSacR_{i,j,m,ts} \times Distrib_{i,m} \times Connecte_{i,j} \right\} \end{aligned} \quad (3.1)$$

**Sous contrainte :**

**Demande :**

$$\sum_{i,t} QteVrac_{i,m,t,k} \leq DemandVrac_{m,k}; \forall m, k \quad (3.2)$$

$$\sum_{i,ts} QteSac_{i,m,ts,l} \leq DemandSac_{m,l}; \forall m, l \quad (3.3)$$

$$\sum_{i,j,t} QteVracR_{i,j,m,t,k} \leq DemandVracR_{m,k}; \forall m, k \quad (3.4)$$

$$\sum_{i,j,ts} QteSacR_{i,j,m,ts,k} \leq DemandSacR_{m,l}; \forall m, l \quad (3.5)$$

**Capacité de production :**

$$\begin{aligned} \sum_{m,k,t} QteVrac_{i,m,k,t} + \sum_{m,l,ts} QteSac_{i,m,l,ts} + \sum_{j,m,k,t} QteVracR_{i,j,m,k,t} \\ + \sum_{j,m,l,ts} QteSacR_{i,j,m,l,ts} = CapCiment_i; \forall i \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\sum_{m,l,ts} QteSac_{i,m,l,ts} + \sum_{j,m,l,ts} QteSacR_{i,j,m,l,ts} = CapSac_i; \forall i \quad (3.7)$$

**Contraintes sur la flotte :**

$$\sum_{i,m,k} \frac{QteVrac_{i,m,t,k}}{C_{i,m,t}} + \sum_{i,j,m,k} \frac{QteVracR_{i,j,m,t,k}}{Cr_{i,j,m,t}} \leq 1; \forall t \quad (3.8)$$

$$\sum_{i,m,l} \frac{QteSac_{i,m,ts,l}}{Cs_{i,m,ts}} + \sum_{i,j,m,l} \frac{QteSacR_{i,j,m,ts,l}}{Crs_{i,j,m,ts}} \leq 1; \forall ts \quad (3.9)$$

La fonction objectif (3.1) va maximiser le gain engendré par le transport du ciment en Vrac et en Sac.

Les contraintes (3.2), (3.3), (3.4) et (3.5), expriment le fait que les quantités vendues en Vrac ou en Sac que ce soit de façon directe ou bien en redirection ne puissent pas dépasser la demande du marché.

La contrainte (3.6), limite les quantités vendues par rapport à la capacité de production totale de l'usine, ce qui est vrai pour le moment, car, comme la demande est supérieure à l'offre les ventes sont limitées seulement par la capacité de l'usine.

La contrainte (3.7), est similaire à la contrainte (3.6), et limite la production du ciment sac via la capacité d'ensachage.

La contrainte (3.8) et (3.9), vont limiter la capacité de transport de chaque transporteur par rapport aux destinations possibles.

Le modèle dans sa globalité comporte environ 48384 variables de décisions, et 786 contraintes. Par souci de complexité, nous allons simplifier le modèle tout en le gardant parfaitement pertinent pour la problématique :

Nous allons nous limiter à une seule usine (Msila) pour réduire la complexité du modèle. On peut se permettre cela car les usines ont des flottes bien distinctes.

Nous allons aussi simplifier les paramètres de gain ainsi que les variables de décision de la façon suivante : pour le Vrac nous négligerons les redirections, car elles ne représentent qu'une partie infime de la quantité globale (moins de 2%). Pour le Sac, comme le transport est assuré exclusivement en SPOT et que le gain ne va pas dépendre du transporteur, mais seulement de l'itinéraire, nous nous retrouvons donc avec des variables de décisions qui ne vont dépendre que du marché et du centre de distribution. Nous allons aussi ignorer le type du vrac ou du sac transporté dans la mesure où le gain ne dépend pas du type de produit transporté. De par ces modifications, nous aboutissons à un modèle qui comporte 630 variables de décisions et 119 contraintes. Le modèle simplifié va donc se présenter comme ceci :

**Paramètres :**

— **Production :**

$CapCiment$  : capacité de production du ciment.

$CapSac$  : capacité d'ensachage.

— **Demande :**

$DemandVrac_m$  : matrice de demande pour le Vrac dans le marché m.

$DemandSac_m$  : matrice de demande pour le Sac dans le marché m.

$DemandSacR_m$  : matrice de demande pour le Sac dans le marché m en redirection.

— **Transport :**

$GainTransSacR_{j,m}$  : matrice de gain de transport du Sac de l'usine au marché m en passant par le dépôt j.

$GainTransVrac_{m,t}$  : matrice de gain de transport du Vrac de l'usine au marché m par le transporteur t.

$GainTransSac_m$  : matrice de gain de transport du Sac de l'usine au marché m.

$C_{m,t}$  : capacité nominale du transporteur t en Vrac pour le trajet de l'usine vers le marché m.

$C_{s_{m,ts}}$  : capacité nominale du transporteur ts en Sac pour le trajet de l'usine vers le marché m.

$C_{rs_{j,m,ts}}$  : capacité nominale du transporteur ts en Sac pour la redirection de l'usine vers le marché m qui passe par le dépôt j.

**Variable de décision :**

$QteSacR_{j,m}$  : Quantité de sac produit à l'usine et envoyé au marché m en passant par le centre de distribution j et livré.

$QteVrac_{m,t}$  : Quantité de vrac envoyé de l'usine au marché m et transporté par le transporteur t.

$QteSac_m$  : Quantité de sac envoyé de l'usine au marché m.

**Fonction objectif :**

$$\begin{aligned} \max \quad & \left\{ \sum_{m,t} QteVrac_{m,t} \times GainTranspVrac_{m,t} \right. \\ & + \sum_m QteSac_m \times GainTranspSac_m \\ & \left. + \sum_{j,m} QteSacR_{j,m} \times GainTranspSacR_{j,m} \right\} \end{aligned} \quad (3.10)$$

*Sous contrainte :*

**Demande :**

$$\sum_t QteVrac_{m,t} \leq DemandVrac_m; \forall m \quad (3.11)$$

$$QteSac_m \leq DemandSac_m; \forall m \quad (3.12)$$

$$\sum_j QteSacR_{j,m} \leq DemandSacR_m; \forall m \quad (3.13)$$

**Capacité de production :**

$$\sum_{m,t} QteVrac_{m,t} + \sum_m QteSac_m + \sum_{j,m} QteSacR_{j,m} = CapCiment \quad (3.14)$$

$$\sum_m QteSac_m + \sum_{j,m} QteSacR_{j,m} = CapSac \quad (3.15)$$

**Contraintes sur la flotte :**

$$\sum_m \frac{QteVrac_{m,t}}{C_{m,t}} \leq 1; \forall t \quad (3.16)$$

$$\sum_m \frac{QteSac_m}{C_{S_{m,ts}}} + \sum_{j,m} \frac{QteSacR_{j,m}}{C_{RS_{j,m,ts}}} \leq 1; \forall ts \quad (3.17)$$

### 3.3.2 Analyse du marché de Msila

Le produit (en Rendu) est distribué à deux types de clients, d'une part, nous avons les dépôts, majoritairement du sac, livrés à partir de l'usine de Msila. Une quantité infime est stockée sur place (moins de 5%) le reste est redirigé vers d'autres localisations pour desservir des détaillants, ceci par obligation judiciaire car on ne peut pas livrer les détaillants directement de l'usine. De ce fait, dès que le camion arrive au dépôt il ne décharge pas la marchandise, il signe seulement une feuille de route, pour ensuite continuer sa route vers son client final, on parle alors de redirection.

D'autre part, les marchés, par marché on entend les clients de Lafarge Algérie en dehors des clients internes (dépôts). Msila s'occupe de desservir le côté Est et Centre du pays. Pour notre modèle, nous avons divisé les marchés en wilaya.



FIGURE 3.17 – Emplacement des usines et des centres de distribution de Lafarge Algérie

Msila livre les wilayas suivantes, qui sont classées par quantités livrés :

Alger, Blida, Bejaia, Constantine, Msila, Médéa, Sétif, Annaba, Jijel, Bordj-Bou-Argeridj, Djelfa, Boumerdès, Tizi-Ouzou, Ouargla, El-Bayad, Oran, Laghouat, Bouira, Tipaza, Relizane, Biskra, Batna, Skikda, Saida, Khenchela, Mila, Tissemsilt, Ghardaïa, Chlef, Mostaganem, Guelma, Tiaret, Oum-El-Bouaghi- Tébessa.

Dans la figure 3.18, une représentation de la quantité envoyée pour les wilayas les plus importantes, où on peut constater que les trois wilayas les plus importantes (Alger, Blida, et Bejaia) représentent plus de 50% de la quantité totale vendue, ce qui nous donne un premier aperçu sur l'importance des marchés.

Les wilayas qui restent cumulent à 4,76%.

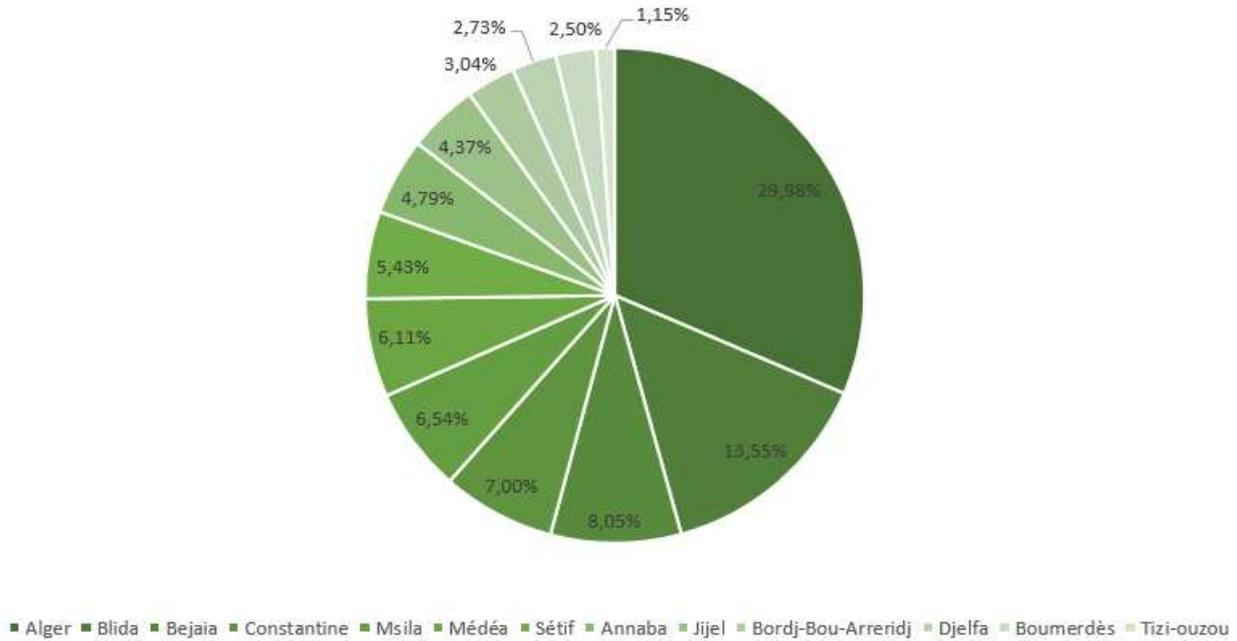


FIGURE 3.18 – Part des ventes du ciment de Lafarge Algérie par Wilaya

### 3.3.3 Les données utilisées

Afin de mener à bien notre étude, nous allons tout d’abord exposer les différentes données dont nous aurons besoin ainsi que les contraintes auxquelles nous avons dû faire face.

#### Capacité de transport

Tout d’abord, nous aurons besoin de déterminer la capacité de transport de Lafarge Algérie. Comme précédemment évoqué, Lafarge Algérie possède trois types de transports qui assurent la logistique en aval comme le montre le tableau 3.5 :

Type	Flotte propre	Mise à Disposition		Spot	
	Cocotte	Cocotte	Plateau	Cocotte	Plateau
Nombre	46	132	2	27	104

TABLE 3.5 – Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Type de transport

À noter que les quantités données en Spot ne sont que des estimations, car les camions sont loués seulement pour la prestation en question, donc c’est des contrats à très court terme. Ceci fait que cette valeur est amenée à varier, la valeur que nous avons présentée ici est une moyenne mensuelle prise sur trois mois consécutifs.

À partir du tableau, on peut constater que le coût de la prestation de chaque type est différent de l’autre, ce qui implique le fait que nous ne pouvons les traiter de la même manière.

Ajouter à cela, nous avons plusieurs prestataires différents qui assurent le transport en mise à disposition ou bien en Spot. on peut prendre comme exemple l’usine de Msila où nous avons 4 prestataires, sachant que pour la mise à disposition le coût de la prestation va différer d’un transporteur à un autre, donc il va aussi falloir prendre cet aspect en compte dans l’élaboration

du plan de transport.

Dans le tableau 3.6 et le tableau 3.7, on présente le nombre de camions (cocotte/plateau) par type de prestation et pour chaque transporteur ; (les vrais noms des transporteurs seront changés par souci de confidentialité).

MAD :

	Cocotte			Plateau
	20t	30t	37t	40t
Transporteur 1	-	-	59	-
Transporteur 2	-	-	9	-
Transporteur 3	-	-	25	-
Transporteur 4	10	11	18	2

TABLE 3.6 – Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Transporteur MAD

SPOT :

	Cocotte		Plateau		
	30t	40t	20t	30t	40t
Transporteur 5	-	3	29	4	7
Transporteur 6	-	4	-	-	2
Transporteur 7	-	-	-	-	11
Transporteur 8	-	-	-	-	17
Transporteur 9	5	10	-	-	-
Transporteur 10	-	-	-	-	3
Transporteur 11	4	18	-	-	13

TABLE 3.7 – Nombre de Camion Cocotte et Plateau par Transporteur Spot

A partir de là, il manque plus que les délais de livraisons pour déterminer la capacité de transport nominale mensuelle pour chaque transporteur et par destination.

### Délais de livraisons

Afin de déterminer au mieux la capacité logistique mensuelle dont on doit disposer, il est clair qu'il faudra tenir compte des délais de livraison entre l'usine de Msila et les différents marchés. Lafarge Algérie fait en sorte que ses chauffeurs respectent les règles de santé et de sécurité, ce qui inclut une interdiction pour le chauffeur de conduire plus de 10h, mais aussi qu'ils doivent se reposer à chaque fois qu'ils en ressentent le besoin, sans oublier la limitation de vitesse qui leur est imposées et les itinéraires bien définis qui ont été sélectionnés sur des critères de sécurité et non de distance. Pour s'assurer que les chauffeurs respectent ces règles, des limiteurs de vitesse sont installés sur chaque camion ainsi qu'un dispositif qui détecte si le chauffeur est fatigué. Toutes ces contraintes doivent être prises en compte afin de calculer au mieux les délais de livraison.

Le tableau 3.8 représente les délais aller/retour pour livrer chaque wilaya à partir de l'usine de Msila.

Wilaya	Durée (j)	Wilaya	Durée (j)
Constantine	2	Guelma	2
Bordj-Bou-Argeridj	1	Mila	1.5
Msila	0.5	Oran	3.5
Djelfa	2	Relizane	3
Boumerdès	2	Mostaganem	3
Alger	2	Tiaret	2
Blida	2	El-Bayad	3
Ouargla	3.5	Bouira	2
Batna	1	Laghouat	2
Khenchela	1.5	Tipaza	2
Skikda	2	Biskra	0.5
Jijel	2	Chlef	2
Médéa	2	Tissemsilt	2
Annaba	2	Saida	2.5
Tizi-Ouzou	2	Oum-El-Bouaghi	1.5
Sétif	1	Bejaia	2
Ghardaia	3.5	Tébessa	1.5
El Taref	2.5		

TABLE 3.8 – Durée du trajet Aller-Retour par destination

Nous avons aussi calculé le temps de trajet entre l'usine et quelques wilayas en passant par l'un des centre de distribution. Les résultats sont présentés dans l'annexe 6.

### Capacité nominale de transport

La capacité nominale représente la capacité totale en tonnes que le transporteur possède pour livrer une destination donnée sans tenir compte des autres destinations.

La capacité nominale pour chaque transporteur et chaque marché va être déterminée suivant le nombre de camions que possède le transporteur avec leurs tonnages, ainsi que la durée du trajet pour livrer la marchandise et revenir à l'usine.

En utilisant les données présentées nous allons calculer la capacité nominale pour chaque transporteur suivant la formule :

$$C_i = \sum_j N_{i,j} \times T_j \times R_m$$

Avec :

$C_i$  : capacité nominale pour le transporteur i en Vrac.

$N_{i,j}$  : nombre de camions de type j que possède le transporteur i.

$T_j$  : le tonnage de chaque camion j.

$R_m$  : nombre de rotation qu'il peut effectuer en un mois en livrant le marché m.

j : le type de camion (en tonnage e.g. 37t, 40t. . .).

m : marché à livrer.

i : le transporteur.

Les capacités nominales sont présentés dans les annexes 7, 8 et 9.

### Gain du transport

Comme notre fonction objectif maximise le gain du transport, nous aurons donc besoin des données concernant les gains, selon le type du transport (Spot, MAD) et selon la destination. Le tableau 3.9 nous donne les coûts de transport du sac en Spot de façon directe (à noter que le gain en spot ne dépend pas du transporteur) :

Wilaya	Gain(DA/Tonne)	Wilaya	Gain(DA/Tonne)
Alger	336	Laghouat	385
Blida	414	Bouira	368
Bejaia	319	Tipaza	434
Constantine	499	Relizane	473
Msila	144	Biskra	368
Médéa	392	Batna	415
Sétif	352	Skikda	532
Annaba	553	Saida	578
Jijel	442	Khenchela	435
Bordj-Bou-Argeridj	229	Mila	347
Djelfa	414	Tissemsilt	406
Boumerdès	351	Guardaia	740
Tizi-Ouzou	391	Chlef	424
Ourgla	828	Mostaganem	583
El-Bayadh	741	Guelma	448
Oran	467	Tiaret	569
Tébessa	660	Oum-El-Bouaghi	403
El Taref	647		

TABLE 3.9 – Gain généré par le Transport du Sac de l’usine au marché

Les tableaux 3.10, 3.11 et 3.12 donnent les gains de transport du sac en SPOT en passant par un des centres de distribution :

Dépôt de Annaba		Dépôt de Bejaia	
Wilaya	Gain(DA/Tonne)	Wilaya	Gain(DA/Tonne)
Annaba	590	Bejaia	440
El Tarf	600	Bouira	441
Guelma	594	Boumerdès	440
Oran	602	Jijel	547
Souk	684	Tébessa	401
Tipaza	590	Tizi-Ouzou	515

TABLE 3.10 – Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Annaba et Bejaia

Dépôt de Lakhroub		Dépôt de Meftah	
Wilaya	Gain(DA/Tonne)	Wilaya	Gain(DA/Tonne)
Batna	767	Ain-Defla	717
Bordj-Bou-Argeridj	877	Alger	481
Constantine	547	Blida	484
Guelma	540	Boumerdès	534
Khenchela	725		
Mila	578		
Oum-El-Bouaghi	578		
Skikda	636		

TABLE 3.11 – Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Lakhroub et Meftah

Dépôt de Sétif		Dépôt de Msila	
Wilaya	Gain(DA/Tonne)	Wilaya	Gain(DA/Tonne)
Batna	620	Msila	415
Bordj-Bou-Argeridj	562		
Mila	578		
Msila	623		
Sétif	469		
Tiaret	437		

TABLE 3.12 – Gain généré par le transport du sac en redirection en passant par les dépôts de Sétif et Msila

Enfin, les gains engendrés par le transport du Vrac en MAD (les gains sont donnés par transporteur et par destination) sont donnés dans l’annexe 10.

### La demande

Enfin, nous aurons besoin de la demande du marché par wilayas, et par type de produit (Vrac, Sac direct, Sac redirection) qui est donnée dans l’annexe 5.

### 3.3.4 Résultat du modèle

La résolution du problème s’est faite sur le logiciel IBM ILOG CPLEX Optimisation Studio, en utilisant la méthode du simplex (car notre modèle s’apparente à un problème linéaire d’optimisation). Le logiciel utilise deux bases de données : une sur Excel pour les données dites statiques dans le temps (les gains, les capacités nominales), et une autre sur Access (voir annexe 3 et 4) pour les données qui varient selon la période (la demande) où l’utilisateur peut interagir directement en modifiant les données via des formulaires (voir annexe 14). Les résultats sont directement injectés sur Access (voir annexe 16, 17 et 18).

Après application de notre modèle en utilisant les données présentées dans les annexes, les résultats obtenus sont les suivant :

- Un programme du transport détaillé pour le mois, par transporteur pour le Vrac et par région (voir annexe 11, 12 et 13).
- Une meilleure allocation des ressources de transport, ce qui nous a permis de réduire le

nombre de camions utilisés (voir annexe 19 et 20).

- Une augmentation des revenus engendrés par le transport des produits, grâce à la réduction du nombre de camions utilisés, une meilleure gestion des rotations et une saturation en priorité des marchés dont le transport engendre le plus de gain pour l'entreprise comme le montrent les figures 3.19 et 3.20.

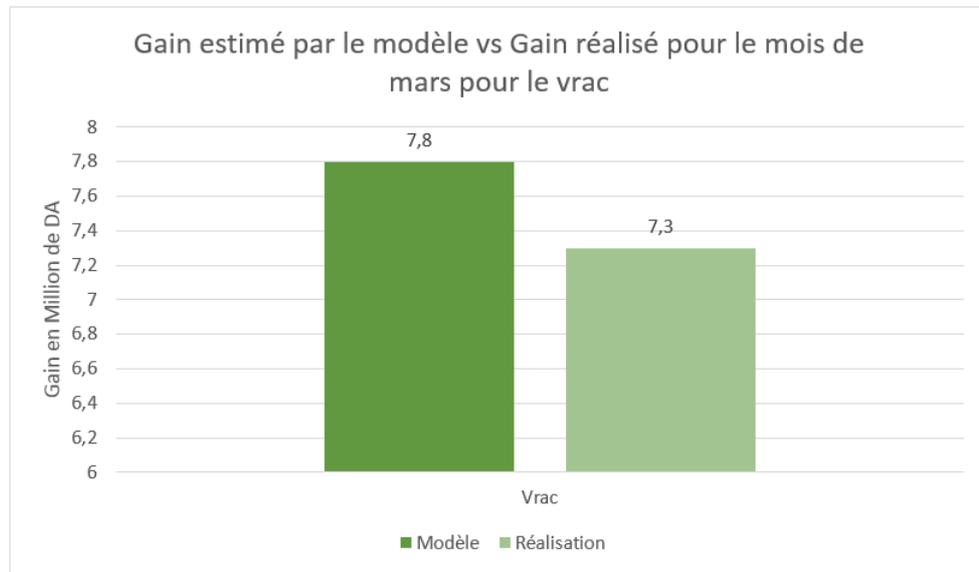


FIGURE 3.19 – Comparatif entre le gain estimé du modèle et le gain réalisé pour le vrac pour le mois de mars

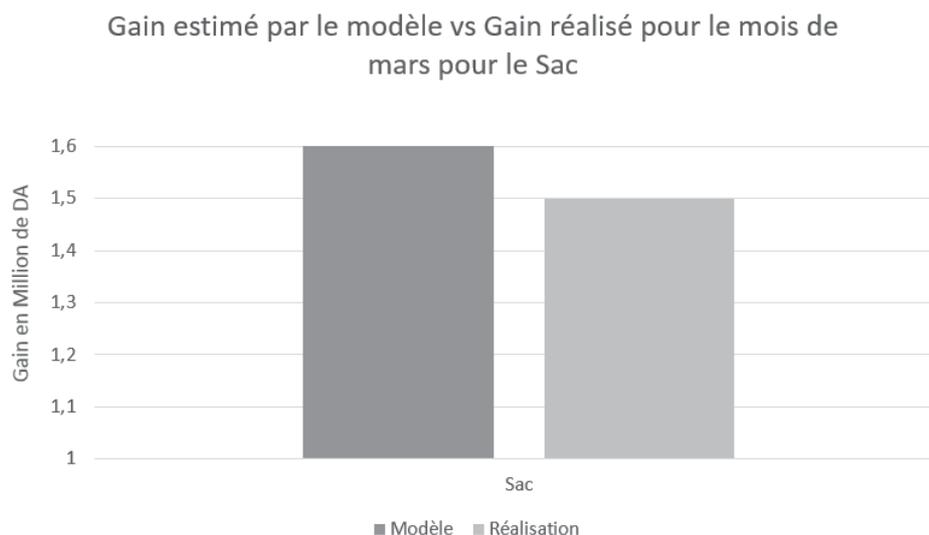


FIGURE 3.20 – Comparatif entre le gain estimé du modèle et le gain réalisé pour le sac pour le mois de mars

Comme le montrent les figures 3.19 et 3.20, grâce à la planification produite par notre modèle on arrive à réaliser un gain de plus de 5 millions de DA et pour seulement un mois d'exercice. À noter que ces résultats sont amenés à croître, selon l'importance de

la demande.

- Comme on peut le voir sur notre modèle, les quantités sont limitées par la capacité de production, ce qui est vrai pour le moment mais qui risque de changer dans le futur. Un des avantages de notre modèle, est sa flexibilité. car nous pouvons limiter les quantités par la demande ou même par la capacité logistique et ceci suivant le besoin.

### 3.4 Suivi de la performance du service Rendu

En plus du modèle de planification que nous avons proposé afin de réduire les coûts et augmenter le revenu engendré par la fonction transport, nous avons aussi travaillé sur un outil simple capable d'assurer le suivi de la performance du service Rendu et ceci à travers deux tableaux de bord (développés sur Excel) :

#### 3.4.1 Suivi journalier

Le premier outil permet de faire le suivi des ventes pour chaque usine et les comparer avec les prévisions faites chaque semaine. Il recense aussi les causes dans le cas où les objectifs ne sont pas atteints afin de garder une traçabilité (voir figure 3.21). Ce fichier est fait pour chaque mois, les données sont injectées depuis leur système d'informations transactionnel (SD6) en faisant trois extractions par jours.

Usine M'Sila		mer-01-mars	jeu-02-mars	ven-03-mars	sam-04-mars	dim-05-mars	lun-06-mars	mar-07-mars
Rendu	Chamil-s (tonne)	- 238	- 1 628	- 716	- 840	- 725	- 196	- 797
	Matine-s (tonne)	1 248	-	1 247	1 650	1 300	699	1 050
	Sarie-s (tonne)	-	-	-	200	-	-	-
	Mokaouem-s (tonne)	-	-	141	-	-	203	-
	<b>Total sac</b>	<b>1 010</b>	<b>- 1 628</b>	<b>672</b>	<b>1 010</b>	<b>575</b>	<b>706</b>	<b>253</b>
	Chamil-v (tonne)	-	-	-	-	38	-	-
	Matine-v (tonne)	- 11	- 721	- 137	- 790	- 444	- 175	- 312
	Mokaouem-v (tonne)	- 39	-	97	-	-	- 458	-
	Sarie-v (tonne)	-	- 101	-	-	- 45	-	- 109
	<b>Total vrac</b>	<b>- 50</b>	<b>- 822</b>	<b>- 40</b>	<b>- 790</b>	<b>- 452</b>	<b>- 633</b>	<b>- 421</b>

FIGURE 3.21 – Suivi journalier des écart entre les prévisions et les réalisations pour l'usine de Msila.

Le tableau contient aussi le temps d'attente usine (le temps entre l'entrée du camion à l'usine jusqu'à sa sortie), mais aussi les absences des chauffeurs, ainsi que la capacité logistique disponible pour le jour j. Cet outil permet donc un suivi au jour le jour, et détecter tous les incidents qui peuvent se produire sur les différentes fonctions (production, transport, ... etc.) comme le montre la figure 3.22.

Temps Moyen Permis/sortie (h)	2:29	3:24	8:13	4:05	3:19	6:15	4:53
Temps Moyen Entrée/Sortie (h)	1:42	2:14	3:10	2:14	2:04	2:25	2:14
Quantité absence chauffeur (tonne)	259	37	144	64	0	498	325
Capacité Jour J (tonne) (capacité logistique annoncé)	4125	4200	4200	4360	4200	4125	3950
Relicat Jour J (tonne) (facturé J+1 de la réservation)	0	85	0	0	0	0	0

FIGURE 3.22 – Suivi journalier des temps d’attentes usine, absences des chauffeurs et de la capacité logistique pour l’usine de Msila

### 3.4.2 Suivi hebdomadaire

Cet outil quant à lui va permettre d’avoir une vision plus globale sur tous les évènements qui se sont passés durant la semaine, et permet d’assurer un suivi optimal de la performance de la supply chain. Là aussi, une partie des données est directement extraite du système d’information, quant à l’autre partie, des opérateurs assurent la tâche de remplissage pour les champs qui les concernent.

Le tableau de bord va recenser les réalisations de la semaine par comparaison aux prévisions, au budget et à la capacité logistique annoncée(voir figure 3.23).

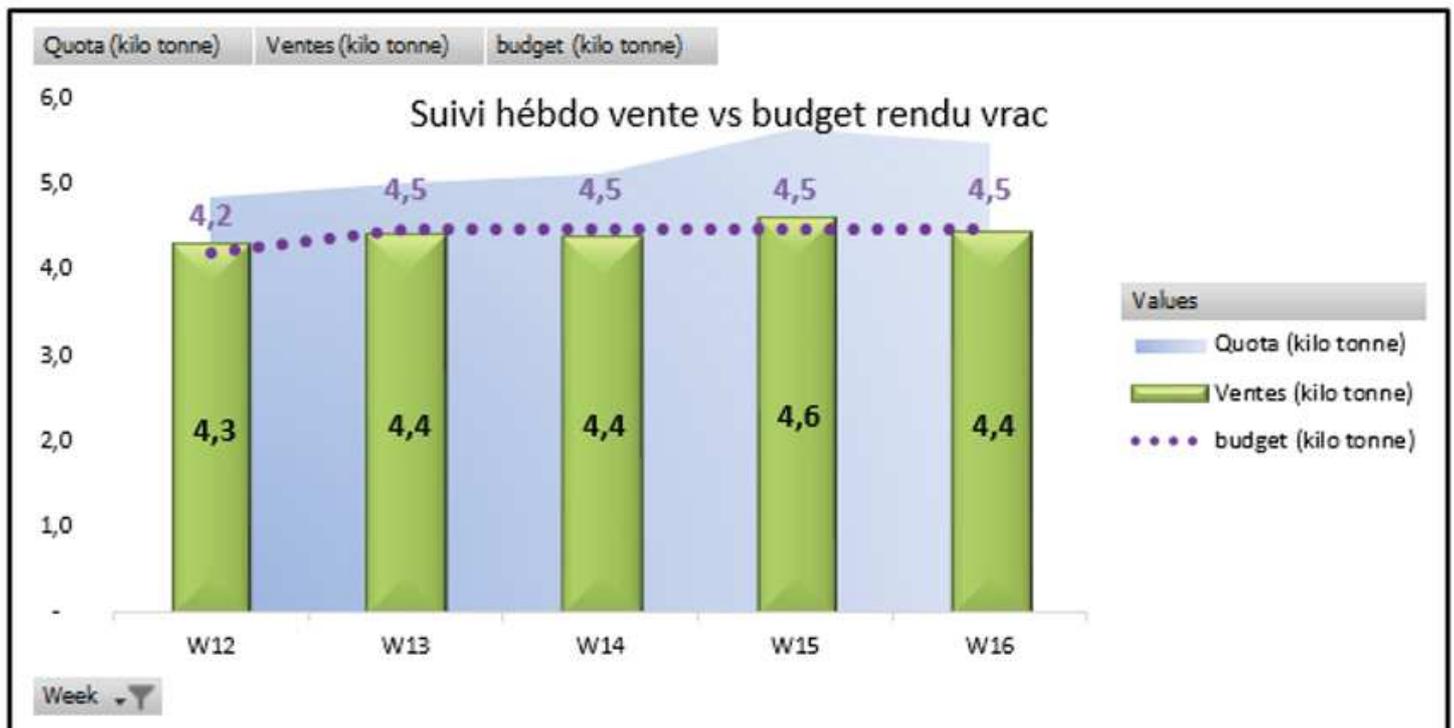


FIGURE 3.23 – Suivi hebdomadaire des quotas vs le budget vs les réalisations

Il permet aussi d'avoir l'évolution hebdomadaire des temps d'attente usine pour le rendu, les absences des chauffeurs ainsi que le On time <sup>1</sup> (voir figure 3.24).

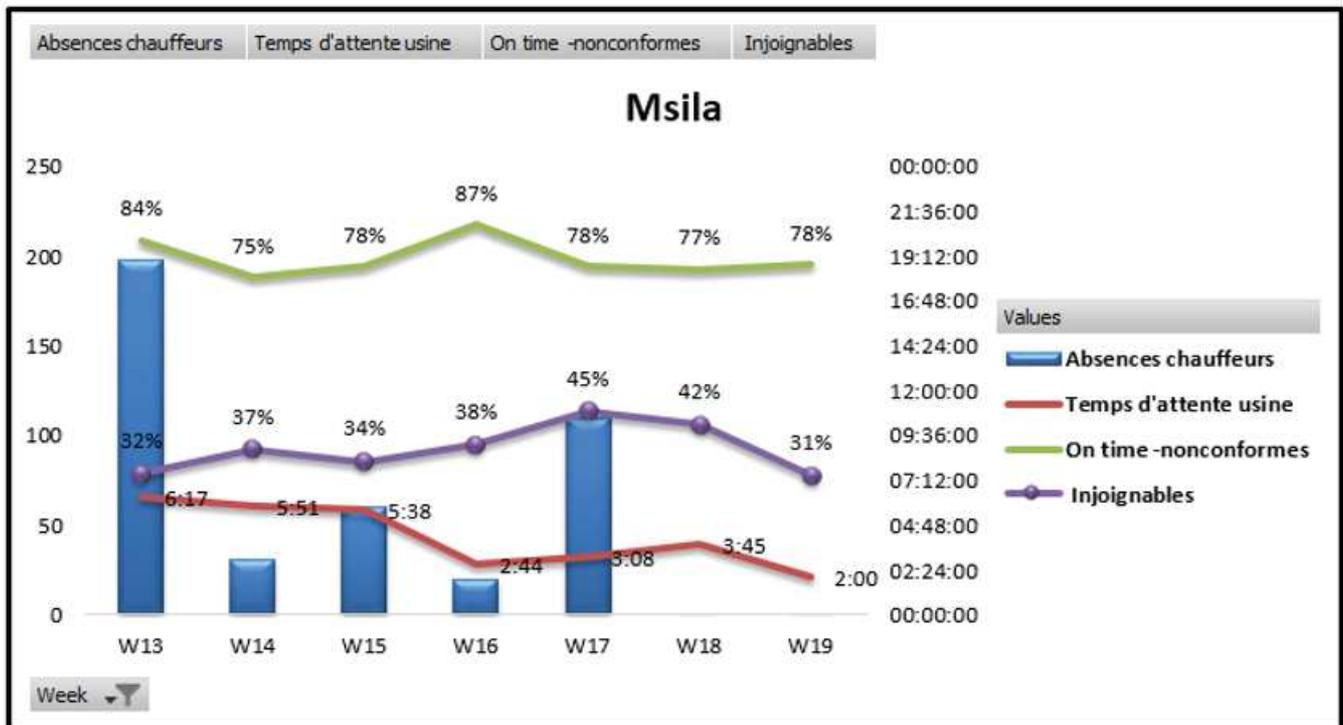


FIGURE 3.24 – Suivi hebdomadaire des temps d'attente usine, absence chauffeur, on time et de l'injoignabilité

Cet outil nous permet aussi d'avoir la liste des clients qui créent le plus de blocage camion au niveau de leur site, ainsi que les clients qui annulent le plus leurs commandes le jour même comme le montrent les figures 3.25 et 3.26.

**Flop 5 blocage clients W14**

Client	Raison social	blocage
1296	SPA LAFARGE BETON ALGERIE	4
1843	SARL DEKIN SAN	2
3049	GRUPE DE CONSTRUCTION ET D'INVESTIS	1
3280	DANIELI AND COFFICINE MECCANUCHE	1
2096	CRCC LTD	1

FIGURE 3.25 – Suivi hebdomadaire des 5 clients qui créent le plus de blocage

Enfin nous avons un suivi de la performance des transporteurs avec le nombre de camions mis à notre disposition contre le nombre promis, ainsi que le taux de rotation par transporteur comme le montre la figure 3.27.

1. On Time : Pourcentage de livraisons faites dans les temps

**Flop 5 annulation clients W14**

Client	Raison social	Annulation (tonne)
3269	CONSORTIUM SINOSTEEL EQUIPEMENT AN	217
2750	SPA CIMENTS ET MORTIERS D'ALGERIE	157
1296	SPA LAFARGE BETON ALGERIE	105
2639	CHINA STATE CONSTRUCTION CSCEC	80
1804	EPE/SPA COSIDER CONSTRUCTION P26	40

**Fiabilité quota W14**

	Fiabilité quota	
<b>Msila</b>	Fiabilité quota	78,00%
	Commande supp (t/jr)	746
	Absence (t/jr)	798
<b>Oggaz</b>	Fiabilité quota	78,00%
	Commande supp (t/jr)	622
	Absence (t/jr)	391
<b>Cilas</b>	Fiabilité quota	72,00%
	Commande supp (t/jr)	223
	Absence (t/jr)	496

FIGURE 3.26 – Suivi hebdomadaire des 5 clients qui annulent le plus, et la fiabilité des quotas

**Performance transporteur W14**

Transporteur	Rotation moyenne	Nombre coquette	Prévisionnel Cocotte
FLECHE BLEU ALGERIENNE	3,66	59	59
LAFARGE LOGISTIQUE ALGERIE	2,56	45	40
EUURL SPEEDY LINE	2,97	36	32
SARL CEC BISKRA	3,16	25	24
BAC LOGISTIQUE	3,25	8	7
SARL STITEN TRANSPORT	3,86	14	14
		<b>173</b>	<b>162</b>

FIGURE 3.27 – Suivi hebdomadaire de la performance transporteur

### 3.5 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons proposé deux solutions à Lafarge pour lui permettre de remédier à quelques dysfonctionnements décelés lors du chapitre 1.

- La première solution porte sur la mise en place d'un outil statistique de prévision basé sur des méthodes extrapolatives. En occurrence par la méthode de Box et Jenkins.
- La deuxième solution concerne la mise en place d'un outil de planification agrégée du transport en aval, capable d'affecter la capacité logistique d'une manière optimisée tout en respectant les contraintes spécifiques à Lafarge.

Ainsi, nous avons pu obtenir des résultats significatifs, et une baisse des coûts de transport considérable. Enfin, nous avons proposé des outils de suivi de la performance du service rendu.

---

## Conclusion Générale

L'objectif de notre étude était de répondre à la problématique soulevée par la direction Supply Chain de Lafarge Algérie concernant la planification de son réseau de distribution.

Pour ce faire, nous avons, en premier lieu, effectué un audit logistique de l'entreprise en suivant le référentiel ASLOG. Cet audit nous a permis d'affiner notre vision sur le fonctionnement de la logistique et de faire ressortir les dysfonctionnements des processus de planification, de transport et de distribution.

À partir de ces dysfonctionnements, nous avons commencé à mener un diagnostic dont la finalité était de préciser les sources causant le manque de performance pour ensuite proposer des solutions adéquates afin de remédier aux problèmes auxquels fait face l'entreprise.

En utilisant les résultats de ces études, nous avons pu repérer plusieurs pistes de progrès stratégiques et tactiques et proposer ainsi des axes d'amélioration adéquats. Nous avons proposé d'une part, la mise en place d'un outil statistique de prévision basé sur les méthodes exploratoires. D'autre part, dans le but de remédier aux surcoûts du transport et de maximiser le revenu lié à cette activité, nous avons opté pour la mise en place d'un outil qui propose une affectation optimisée de la capacité logistique, tout en prenant en compte un grand nombre de contraintes spécifiques à la supply chain de Lafarge en Algérie.

Pour ce faire, nous avons commencé par modéliser le problème sous une forme linéaire comprenant l'ensemble des contraintes existant dans la supply chain en aval, et de proposer une affectation des capacités logistiques pour les trois usines de Lafarge. Cependant, en raison de la complexité à laquelle nous avons abouti, nous nous sommes résolus à ne prendre que les contraintes les plus pertinentes et limiter notre application à l'usine de M'Sila seule. Nous avons ensuite proposé une solution optimale au problème en utilisant la méthode de résolution du simplexe à l'aide du logiciel CPLEX. Nous avons enfin terminé en proposant une interface utilisateur simple et ergonomique sur ACCESS pour l'entrée et la modification de données, ainsi que pour la présentation des résultats obtenus.

Aussi, en parallèle à ces deux travaux, nous avons proposé deux outils de suivi de la performance du service Rendu de Lafarge, à travers des tableaux de bords développés sur Excel.

La principale contribution de cette étude réside premièrement dans les propositions pour améliorer les prévisions en se basant sur des méthodes statistiques. Et deuxièmement, dans l'optimisation de l'allocation des capacités logistiques en proposant une réflexion plus affinée, et de prioriser entre les différents marchés à saturer, de proposer une affectation des capacités qui tient en compte des différences entre les transporteurs, et qui enfin détermine la taille optimale des capacités de transport de Lafarge. Et cela pour sa flotte propre mais aussi pour ses mises à disposition transporteur par transporteur.

---

## Bibliographie

---

- [1] Agudelo and Isabel. *Supply chain management in the cement industry*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [2] ASLOG. *Référentiel évaluation de la performance logistique*, 2008.
- [3] Bukhari, Syed Kalim Hyder, Abdul, Jalil, Rao, and Nasir Hamid. *Detection and forecasting of Islamic calendar effects in time series data : Revisited*, 2011.
- [4] Chopra, Sunil, Meindl, and Peter. *Supply Chain Management : strategy, planning, and operation*, 2012.
- [5] Croxton, Keely L, Lambert, Douglas M, García-Dastugue, Sebastián J, Rogers, and Dale S. *The demand management process*, 2002.
- [6] D'Amours, Sophie, Rönnqvist, Mikael, Weintraub, and Andres. *Using operational research for supply chain planning in the forest products industry*, 2008.
- [7] Dikos, George, Spyropoulou, and Stavroula. *Supply chain optimization and planning in Heracles General Cement Company*, 2013.
- [8] Gourieroux, C, and A Monfort. *Cours de séries temporelles : Collectoin «ECONOMIE ET STATISTIQUES AVANCEES» ; Ed*, 1983.
- [9] Hamisultane and Hélène. *ECONOMETRIE*, 2002.
- [10] Hamisultane and Hélène. *ECONOMETRIE DES SERIES TEMPORELLES*, 2002.
- [11] Hubert and Thibault. *Prévision de la demande et pilotage des flux en approvisionnement lointain*. PhD thesis, Ecole Centrale Paris, 2013.
- [12] lafargeholcim.com. Présence globale de lafargeholcim. <http://reports.lafargeholcim.com/2015/rapport-annuel/en-bref/presence-globale-de-lafargeholcim.html>, 2015.
- [13] lafargeholcim.com. Rapport annuel 2015. <http://reports.lafargeholcim.com/2015/rapport-annuel/en-bref>, 2015.
- [14] Ivette Luna and Rosangela Ballini. Top-down strategies based on adaptive fuzzy rule-based systems for daily time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 27(3) :708–724, 2011.
- [15] Mauergauz and Yuri. *Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains*. Springer, 2016.
- [16] planetoscope.com. La production mondiale de ciment. <https://www.planetoscope.com/matieres-premieres/1708-production-mondiale-de-ciment.html>.
- [17] Abhaya Sahoo, Prateep Kumar Aitha, Neeraja Y, Sandeep Lagishetti, Sarika K, Anurag Singh, Amiya K Nanda, Saran K Dhurjati, Sridhar Vallala, and Rahul Pandea. *A Multi-Period Optimization Model for Cement Production, Allocation and Logistics Planning*, 2011.
- [18] Hartmut Stadtler, Christoph Kilger, and Herbert Meyr. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, 2008.

---

# Annexes

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1,4592E+11	4	3,6479E+10	7,97552385	3,8175E-05	2,53968863
A l'intérieur des groupes	2,5157E+11	55	4573922795			
Total	3,9748E+11	59				

Annexe 1 - Teste d'analyse de la variance

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	probabilité	Limite inf pour seuil de confiance 95%	Limite sup pour seuil de confiance 95%
Constante	8794.59	42308.39	0.21	0.85	-125849.58	143438.74
X1	0.08	0.06	1.39	0.26	-0.11	0.27

Annexe 2 - Résultat régression linéaire

The screenshot displays the IBM ILOG CPLEX Optimization Studio interface. The main window shows a CPLEX model file named \*pfe ACCESS.mod. The code defines decision variables, an objective function, and constraints for a mathematical model.

```
39
40 //Variables de décisions
41
42 dvar float+ QteVrac [Marche][TVrac];
43 dvar float+ QteSac [Marche];
44 dvar float+ QteSacR [Dc][Marche];
45
46 // Fonciotn objective
47
48 maximize ((sum(i in Marche, j in TVrac) QteVrac[i][j] * GainTransVrac[i][j]) + (sum(i in Marche) QteSac[i] * GainTransSac[i]) + (sum(i in Dc, j in Marche) QteSacR[i][j] * GainTransSacR[i][j]));
49
50 // contrainte
51
52 subject to {
53
54 forall (j in Marche)
55     demande_Sac:
56     QteSac[j] <= Demandata[j].DemandSac;
57
58 forall (j in Marche)
59     demande_Sac_R:
60     (sum(i in Dc) QteSacR[i][j]) <= Demandata[j].DemandSacR;
61
62 forall (j in Marche)
63     demande_Vrac:
64     (sum (k in TVrac) QteVrac[j][k]) <= Demandata[j].DemandVrac;
65
66
67
68 Capacite prod:
```

The bottom status bar shows the current file is 'Accessi...criture', the cursor is at 'Insérer', the model has 12:1 - 268 lines, and the execution time is 00:00:08:41.

Annexe 3 - Modèle mathématique sur Cplex



Wilaya	Demande Vrac	Demande Sac	demande Sac Redirection
Alger	29126	80	8140
Blida	8095	160	3240
Bejaia	2390	0	2371
Constantine	1154	0	4610
Msila	690	1400	0
Médéa	5963	0	0
Sétif	1990	0	1010
Annaba	630	0	400
Jijel	4263	0	0
Bordj-Bou-Argeridj	2900	0	40
Djelfa	2631	40	0
Boumerdès	2436	0	5030
Tizi-Ouzou	1119	0	0
Ourgla	1070	0	0
El-Bayadh	930	0	0
Oran	446	0	120
Laghouat	447	0	0
Bouira	277	120	80
Tipaza	366	0	20
Relizane	318	0	0
Biskra	209	0	0
Batna	150	0	20
Skikda	320	0	80
Saida	114	0	0
Khenchla	113	0	80
Mila	111	0	2980
Tissemsilt	74	0	0
Ghardaia	70	0	0
Chlef	68	0	0
Mostganem	38	0	0
Guelma	36	0	280
Tiaret	34	0	0
Oum-El-Bouaghi	32	0	640
Tébessa	28	0	20
El Tarf	0	0	2240

Annexe 5 - Demande du ciment pour les différentes wilayas par type

	Annaba	Bejaia	Lakhroub	Meftah	Msila	Sétif
Alger	-	-	-	2.1	-	-
Blida	-	-	-	2.2	-	-
Bejaia	-	2	-	-	-	-
Constantine	-	-	2.1	-	-	-
Msila	-	-	-	-	0.6	1.15
Médéa	-	-	-	-	-	-
Sétif	-	-	-	-	-	1.1
Annaba	2.1	-	-	-	-	-
Jijel	-	2.2	-	-	-	-
Bordj-Bou-Argeridj	-	-	1.3	-	-	1.15
Djelfa	-	-	-	-	-	-
Boumerdès	-	2.2	-	2.25	-	-
Tizi-Ouzou	-	2.2	-	-	-	-
Ourgla	-	-	-	-	-	-
El-Bayadh	-	-	-	-	-	-
Oran	4.5	-	-	-	-	-
Laghouat	-	-	-	-	-	-
Bouira	-	2.2	-	-	-	-
Tipaza	3.5	-	-	-	-	-
Relizane	-	-	-	-	-	-
Biskra	-	-	-	-	-	-
Batna	-	-	1.5	-	-	1.25
Skikda	-	-	2.4	-	-	-
Saida	-	-	2.4	-	-	-
Khenchla	-	-	2.5	-	-	-
Mila	-	-	2.1	-	-	-
Tissemsilt	-	-	-	-	-	-
Ghardaia	-	-	2.5	-	-	-
Chlef	-	-	-	-	-	-
Mostganem	-	-	-	-	-	-
Guelma	2.5	-	-	-	-	-
Tiaret	-	-	-	-	-	2.4
Oum-El-Bouaghi	-	-	-	-	-	-
Tébessa	-	2.6	-	-	-	-
El Tarf	2.75	-	-	-	-	-

Annexe 6 - Temps de trajet entre l'usine de Msila et les wilayas en passant par les centres de distributions

Wilaya	C				
	T1	T2	T3	T4	T12
Alger	32745	4995	13875	17940	25530
Blida	32745	4995	13875	17940	25530
Bejaia	32745	4995	13875	17940	25530
Constantine	32745	4995	13875	17940	25530
Msila	130980	19980	55500	71760	102120
Médéa	32745	4995	13875	17940	25530
Sétif	65490	9990	27750	35880	51060
Annaba	32745	4995	13875	17940	25530
Jijel	32745	4995	13875	17940	25530
Bordj-Bou-Argeridj	65490	9990	27750	35880	51060
Djelfa	32745	4995	13875	17940	25530
Boumerdès	32745	4995	13875	17940	25530
Tizi-ouzou	32745	4995	13875	17940	25530
Ourgla	18711	2854	7929	10251	14589
El-Bayadh	21830	3330	9250	11960	17020
Oran	18711	2854	7929	10251	14589
Laghouat	32745	4995	13875	17940	25530
Bouira	32745	4995	13875	17940	25530
Tipaza	32745	4995	13875	17940	25530
Relizane	21830	3330	9250	11960	17020
Biskra	130980	19980	55500	71760	102120
Batna	65490	9990	27750	35880	51060
Skikda	32745	4995	13875	17940	25530
Saida	26196	3996	11100	14352	20424
Khenchela	43660	6660	18500	23920	34040
Mila	43660	6660	18500	23920	34040
Tissemsilt	32745	4995	13875	17940	25530
Ghardaia	18711	2854	7929	10251	14589
Chlef	32745	4995	13875	17940	25530
Mostaganem	21830	3330	9250	11960	17020
Guelma	32745	4995	13875	17940	25530
Tiaret	32745	4995	13875	17940	25530
Oum-El-Bouaghi	43660	6660	18500	23920	34040
Tébessa	43660	6660	18500	23920	34040
El Tarf	26196	3996	11100	14352	20424

Annexe 7 - Capacité nominale pour les transporteurs vrac

Wilaya	Cs					
	T5	T6	T7	T8	T10	T11
Alger	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Blida	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Bejaia	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Constantine	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Msila	58800	4800	26400	40800	7200	52800
Médéa	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Sétif	29400	2400	13200	20400	3600	26400
Annaba	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Jijel	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Bordj-Bou-Argeridj	29400	2400	13200	20400	3600	26400
Djelfa	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Boumerdès	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Tizi-ouzou	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Ourgla	8400	686	3771	5829	1029	7543
El-Bayadh	9800	800	4400	6800	1200	8800
Oran	8400	686	3771	5829	1029	7543
Laghouat	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Bouira	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Tipaza	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Relizane	9800	800	4400	6800	1200	8800
Biskra	58800	4800	26400	40800	7200	52800
Batna	29400	2400	13200	20400	3600	26400
Skikda	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Saida	11760	960	5280	8160	1440	10560
Khenchela	19600	1600	8800	13600	2400	17600
Mila	19600	1600	8800	13600	2400	17600
Tissemsilt	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Ghardaia	8400	686	3771	5829	1029	7543
Chlef	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Mostaganem	9800	800	4400	6800	1200	8800
Guelma	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Tiaret	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Oum-El-Bouaghi	19600	1600	8800	13600	2400	17600
Tébessa	19600	1600	8800	13600	2400	17600
El Tarf	11760	960	5280	8160	1440	10560

Annexe 8 - Capacité nominale pour les transporteur sac

<b>Annaba</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Annaba	14000	1143	6286	9714	1714	12571
Oran	6533	533	2933	4533	800	5867
Tipaza	8400	686	3771	5829	1029	7543
Guelma	11760	960	5280	8160	1440	10560
El Tarf	10691	873	4800	7418	1309	9600

<b>Bejaia</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Bejaia	14700	1200	6600	10200	1800	13200
Jijel	13364	1091	6000	9273	1636	12000
Boumerdes	13364	1091	6000	9273	1636	12000
Tizi ousou	13364	1091	6000	9273	1636	12000
Bouira	13364	1091	6000	9273	1636	12000
Tébessa	11308	923	5077	7846	1385	10154

<b>Setif</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Msila	25565	2087	11478	17739	3130	22957
Setif	26727	2182	12000	18545	3273	24000
Bordj Bou Arreridj	25565	2087	11478	17739	3130	22957
Batna	23520	1920	10560	16320	2880	21120
Tiaret	12250	1000	5500	8500	1500	11000

Annexe 9 - Capacité nominale pour les transporteurs sac redirection

<b>El Khroub</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Constantine	14000	1143	6286	9714	1714	12571
Bordj Bou Arreridj	22615	1846	10154	15692	2769	20308
Batna	19600	1600	8800	13600	2400	17600
Skikda	12250	1000	5500	8500	1500	11000
Khenchela	11760	960	5280	8160	1440	10560
Mila	14000	1143	6286	9714	1714	12571
Guelma	12783	1043	5739	8870	1565	11478

<b>M'sila</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Msila	49000	4000	22000	34000	6000	44000

<b>Meftah</b>						
<b>Regions</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
Alger	14000	1143	6286	9714	1714	12571
Blida	13364	1091	6000	9273	1636	12000
Boumerdes	13067	1067	5867	9067	1600	11733

Annexe 9 - Capacité nominale pour les transporteurs sac redirection

Wilaya	Gain Vrac				
	T1	T2	T3	T4	T12
Alger	1052	1114	959	1430	996
Blida	1089	1153	992	1480	1031
Bejaia	956	1013	871	1300	905
Constantine	1100	1169	1006	1500	1045
Msila	794	841	724	1080	752
Médéa	1162	1231	1059	1580	1100
Sétif	824	872	751	1120	780
Annaba	1692	1792	1542	2300	1602
Jijel	1148	1215	1046	1560	1086
Bordj-Bou-Argeridj	515	545	469	700	487
Djelfa	875	927	798	1190	829
Boumerdès	1008	1067	918	1370	954
Tizi-ouzou	956	1013	871	1300	905
Ourgla	2045	2166	1864	2780	1936
El-Bayadh	1939	2053	1767	2635	1835
Oran	1920	2034	1750	2610	1818
Laghouat	1184	1254	1079	1610	1121
Bouira	927	982	845	1260	877
Tipaza	956	1013	871	1300	905
Relizane	1692	1792	1542	2300	1602
Biskra	809	857	737	1100	766
Batna	1011	1071	922	1375	957
Skikda	1339	1418	1220	1820	1267
Saida	1636	1732	1490	2223	1548
Khenchela	1435	1519	1307	1950	1358
Mila	1067	1130	972	1450	1010
Tissemsilt	1545	1636	1408	2100	1463
Ghardaia	2045	2166	1864	2780	1936
Chlef	1766	1870	1609	2400	1672
Mostaganem	1839	1948	1676	2500	1741
Guelma	1324	1402	1207	1800	1254
Tiaret	1552	1644	1415	2110	1470
Oum-El-Bouaghi	1148	1215	1046	1560	1086
Tébessa	1619	1714	1475	2200	1532
El Tarf	1766	1870	1609	2400	1672

Annexe 10 - Gain pour le transport du ciment en vrac par wilaya

	Transporteur 1	Transporteur 2	Transporteur 3	Transporteur 4	Transporteur 5
Alger	28241	0	0	0	855
Blida	4504	3591	0	0	0
Bejaia	0	0	0	0	2390
Constantine	0	623	0	531	0
Msila	0	0	0	690	0
Médéa	0	0	0	5963	0
Sétif	0	0	0	1990	0
Annaba	0	0	0	630	0
Jijel	0	0	0	4263	0
Bordj-Bou-Argeridj	0	0	0	0	0
Djelfa	0	0	0	0	830
Boumerdès	0	0	0	0	2436
Tizi-Ouzou	0	0	0	0	1119
Ourgla	0	0	0	1070	0
El-Bayadh	0	0	0	930	0
Oran	0	446	0	0	0
Laghouat	0	0	0	447	0
Bouira	0	0	0	0	277
Tipaza	0	0	0	366	0
Relizane	0	0	0	318	0
Biskra	0	0	0	209	0
Batna	0	0	0	150	0
Skikda	0	0	0	320	0
Saida	0	0	0	114	0
Khenchla	0	0	0	113	0
Mila	0	0	0	111	0
Tissemsilt	0	0	0	74	0
Ghardaia	0	0	0	70	0
Chlef	0	0	0	68	0
Mostganem	0	0	0	38	0
Guelma	0	0	0	36	0
Tiaret	0	0	0	34	0
Oum-El-Bouaghi	0	0	0	32	0
Tébessa	0	0	0	28	0
El Tarf	0	0	0	0	0

Annexe 11 - Résultat du modèle pour les quantité vrac

Wilaya	Quantité Sac	Wilaya	Quantité Sac
Alger	80	Blida	160
Bejaia	0	Constantine	0
Msila	1329	Médéa	0
Sétif	0	Annaba	0
Jijel	0	Bordj-Bou-Argeridj	0
Djelfa	40	Boumerdès	0
Tizi-Ouzou	0	Ourgla	0
El-Bayadh	0	Oran	0
Laghouat	0	Bouira	120
Tipaza	0	Relizane	0
Biskra	0	Batna	0
Skikda	0	Saida	0
Khenchla	0	Mila	0
Tissemsilt	0	Ghardaia	0
Chlef	0	Mostganem	0
Guelma	0	Tiaret	0
Oum-El-Bouaghi	0	Tébessa	0
El Tarf	0		

Annexe 12 - Résultat du modèle pour les quantité sac direct

	Annaba	Bejaia	Lakhroub	Meftah	Msila	Sétif
Alger	0	0	0	8140	0	0
Blida	0	0	0	3240	0	0
Bejaia	0	2371	0	0	0	0
Constantine	0	0	4610	0	0	0
Msila	0	0	0	0	0	0
Médéa	0	0	0	0	0	0
Sétif	0	0	0	0	0	1010
Annaba	400	0	0	0	0	0
Jijel	0	0	0	0	0	0
Bordj-Bou-Argeridj	0	0	40	0	0	0
Djelfa	0	0	0	0	0	0
Boumerdès	0	0	0	5030	0	0
Tizi-Ouzou	0	0	0	0	0	0
Ourgla	0	0	0	0	0	0
El-Bayadh	0	0	0	0	0	0
Oran	120	0	0	0	0	0
Laghouat	0	0	0	0	0	0
Bouira	0	80	0	0	0	0
Tipaza	20	0	0	0	0	0
Relizane	0	0	0	0	0	0
Biskra	0	0	0	0	0	0
Batna	0	0	20	0	0	0
Skikda	0	0	80	0	0	0
Saida	0	0	0	0	0	0
Khenchla	0	0	80	0	0	0
Mila	0	0	2980	0	0	0
Tissemsilt	0	0	0	0	0	0
Ghardaia	0	0	0	0	0	0
Chlef	0	0	0	0	0	0
Mostganem	0	0	0	0	0	0
Guelma	280	0	0	0	0	0
Tiaret	0	0	0	0	0	0
Oum-El-Bouaghi	0	0	0	0	0	0
Tébessa	0	20	0	0	0	0
El Tarf	2240	0	0	0	0	0

Annexe 13 - Résultat du modèle pour les quantité sac en redirection

modifier demande

Region :

Demande Vrac

Demande Sac

Demande Sac Depot

**Modifier**

Annexe 14 - Formulaire utilisateur pour modifier la demande marché

Navigation Form

**Navigation Form**

- Demande par Regions
  - transport Vrac
  - transport Sac direct
  - transport Sac Redirection
  - Capacité Vrac
  - Capacité Sac

**Liste des demandes par region en Tonnes**

Region	Demande Vrac	Demande Sac	Demande Sac Depot	<a href="#">Modifier les demandes</a>
Alger	29126	80	8140	
Blida	8095	160	3240	
Bejaia	2390	0	2371	
Constantine	1154	0	4610	
Msila	690	1400	0	
Médéa	5963	0	0	
Sétif	1990	0	1010	
Annaba	630	0	400	
Jijel	4263	0	0	
Bordj-Bou-Arredj	2900	0	40	
Djelfa	2631	40	0	
Boumerdès	2436	0	5030	

Annexe 15 - Formulaire utilisateur pour visualiser demande marché

## Navigation Form

Demande par Regions

transport Vrac

transport Sac direct

transport Sac  
Redirection

Capacité Vrac

Capacité Sac

### Résultats pour le transport Vrac

Marche	Transporteur	Quantité
Alger	FBA	28241
Alger	LLA	885
Blida	FBA	4504
Blida	BAC	3591
Bejaia	LLA	2390
Constantine	BAC	623
Constantine	Speedy	531
Msila	Speedy	690
Médéa	Speedy	5963
Sétif	Speedy	1990
Annaba	Speedy	630
Jijel	Speedy	4263
Djelfa	LLA	830
Boumerdes	LLA	2126

Annexe 16 - Formulaire utilisateur pour visualiser le résultat du modèle pour le ciment en vrac

## Navigation Form

Demande par Regions

transport Vrac

transport Sac direct

transport Sac  
Redirection

Capacité Vrac

Capacité Sac

### Résultats pour le transport Sac direct

Marche	Quantité
Alger	80
Blida	160
Msila	1329
Djelfa	40
Bouira	120

Annexe 17 - Formulaire utilisateur pour visualiser le résultat du modèle pour le ciment en sac direct

## Navigation Form

Demande par Regions

transport Vrac

transport Sac direct

transport Sac  
Redirection

Capacité Vrac

Capacité Sac

## Résultats pour le transport SAC par Redirection

Centre de distribution	Marche	Quantité
Annaba	Annaba	400
Annaba	Oran	120
Annaba	Tipaza	20
Annaba	Guelma	280
Annaba	El Tarf	2240
bejaia	Bejaia	2371
bejaia	Bouira	80
bejaia	Tébessa	20
Lakhroub	Constantine	4610
Lakhroub	Bordj-Bou-Argeridj	40
Lakhroub	Batna	20
Lakhroub	Skikda	80
Lakhroub	Khenchla	80
Lakhroub	Mila	2980

Annexe 18 - Formulaire utilisateur pour visualiser le résultat du modèle pour le ciment en sac en redirection

## Navigation Form

Demande par Regions

transport Vrac

transport Sac direct

transport Sac  
Redirection

Capacité Vrac

Capacité Sac

## Capacité Logistique Vrac

Transporteur	<input type="text" value="FBA"/>
Camions de 20T	<input type="text" value="0"/>
Camions de 30T	<input type="text" value="0"/>
Camions de 37T	<input type="text" value="59"/>
Camions de 40T	<input type="text" value="0"/>
Transporteur	<input type="text" value="BAC"/>
Camions de 20T	<input type="text" value="0"/>
Camions de 30T	<input type="text" value="0"/>
Camions de 37T	<input type="text" value="8"/>
Camions de 40T	<input type="text" value="0"/>
Transporteur	<input type="text" value="CEC"/>

Annexe 19 - Formulaire utilisateur pour visualiser la capacité logistique vrac à utiliser

**Navigation Form**

- Demande par Regions
- transport Vrac
- transport Sac direct
- transport Sac Redirection
- Capacité Vrac
- Capacité Sac**

## Capacité Logistique Sac

### Transport Spot

Camion type 20T	<input type="text" value="23"/>
Camion type 30T	<input type="text" value="3"/>
Camion type 40T	<input type="text" value="51"/>

Annexe 20 - Formulaire utilisateur pour visualiser la capacité logistique sac à utiliser