

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A/Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département de Recherche Opérationnelle



---

# Mémoire de Master

Mathématiques Appliquées

Option :

Modélisation Mathématique et Techniques de Décisions

Thème :

**Planification des besoins en composants :**  
**Cas de l'entreprise Général Emballage d'Akbou**

---

Présenté par :

*M<sup>elle</sup> FEDALA Nedjmila*

*M<sup>elle</sup> DRIF Souad*

Devant le jury composé de :

<b>Président</b>	M.	<i>DJABRI Rabah</i>	U. A/Mira Béjaïa.
<b>Encadreur</b>	M.	<i>BELAID Ahror</i>	U. A/Mira Béjaïa.
<b>Examineur</b>	M.	<i>BRAHMI Belkacem</i>	U. A/Mira Béjaïa.
<b>Examineur</b>	M.	<i>ASLI larbi</i>	U. A/Mira Béjaïa.

Béjaïa 2016.



# Remerciements

*Nous* aimerions remercier avant tout, **Dieu** Clément et Miséricordieux le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force et la puissance pour pouvoir mener ce travail à terme.

*Nous* remercions *M. A.Blaid*, notre promoteur pour l'honneur qu'il nous a fait en assurant le suivi du présent mémoire.

*Nous* remercions *M. R. Djabri* ,qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.

*Nous* adressons nos vifs remerciements à *M. B.Brahmi* , et *M. L.Asli* , pour avoir accepté de juger ce travail.

*Nous* remercions vivement tout le personnel de l'entreprise Général Emballage sise à Akbou sans exception et tout particulièrement *M<sup>elle</sup> D. Ait Hellal* du service programmation, d'avoir assuré le suivi de ce travail au sein de l'entreprise.

*Nous* remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Enfin nous remercions nos deux familles DRIF et FEDALA.



# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A ma tendre mère, qui m'a tout donné. ;*

*A mon père qui a tant attendu ce moment ;*

*A mon très chère ami Tarik ;*

*A mon frère Rafik, mes sœurs Rosa, Melissa ;*

*A tous mes Amis proches ou loin ;*

*A mes amis de la R.O.*

*N. Fedala*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents, qui ont su être à la hauteur avec leur compréhension et leurs  
incontestables encouragements pendant toute ma Carrère;*

*A mes deux sœurs Sarah et Amel;*

*A mon mari ainsi que ma belle-famille;*

*A mes amis Nedjmila, Sedda , Sylia, Rahima, Samira, Koukou, Nora, Nassima.*

*S.Drif*

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Présentation de Général Emballage</b>	<b>4</b>
1.1 Raison sociale . . . . .	4
1.2 Localisation . . . . .	5
1.3 Historique . . . . .	6
1.4 Mission . . . . .	7
1.5 Organisation de la Spa Général Emballage . . . . .	7
1.6 Processus de production de l'entreprise . . . . .	9
1.6.1 Les matières premières utilisées . . . . .	9
1.6.2 Présentation de l'onduleuse . . . . .	10
1.6.3 La formation du carton ondulé . . . . .	11
1.7 Transformation de la plaque en emballage . . . . .	14
1.8 Position du problème . . . . .	15
<b>2 Gestion de production</b>	<b>16</b>
2.1 Définition du MRP . . . . .	16
2.2 Historique de MRP . . . . .	17
2.3 Principe de MRP . . . . .	17
2.4 Objectifs de MRP . . . . .	18
2.5 Domaine d'application . . . . .	19
2.6 La démarche MRP . . . . .	19
2.6.1 Point de départ du calcul des besoins . . . . .	19
2.7 La logique MRP . . . . .	20
2.8 Déroulement du calcul des besoins . . . . .	20
2.9 Dynamique du système MRP . . . . .	21
2.10 Avantages et limites du MRP . . . . .	22

2.10.1	Avantages . . . . .	22
2.10.2	Limites . . . . .	22
2.11	MRP2 . . . . .	23
2.11.1	Structure globale du MRP2 . . . . .	23
2.11.2	Schéma fonctionnel du MRP2 . . . . .	24
2.11.3	Principe du Calcul des Charges Détaillées . . . . .	25
2.11.4	Résultats du Calcul des Charges Détaillées . . . . .	26
2.11.5	Actions . . . . .	26
2.11.6	Le PIC (Plan Industriel et Commercial) . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Méthodes de prévision</b>	<b>29</b>
3.1	Définitions et généralités . . . . .	30
3.1.1	Stationnarité . . . . .	30
3.1.2	Processus bruit blanc . . . . .	30
3.1.3	Séries chronologiques . . . . .	30
3.1.4	Description d'une série chronologique . . . . .	31
3.1.5	Modélisation d'une série chronologique . . . . .	31
3.1.6	Filtration des séries . . . . .	32
3.1.7	Fonctions d'autocorrélation . . . . .	33
3.1.8	Définition du corrélogramme . . . . .	33
3.1.9	Fonction d'autocorrélation partielle . . . . .	33
3.1.10	Définition du corrélogramme partiel . . . . .	34
3.2	Processus autorégressifs d'ordre $p$ : AR( $p$ ) . . . . .	34
3.3	Processus de moyennes mobile : MA( $q$ ) . . . . .	34
3.4	Processus autorégressifs et de moyennes mobiles : ARMA( $p,q$ ) . . . . .	35
3.5	Les processus ARIMA et SARIMA . . . . .	35
3.6	Prévision par Box et Jenkins . . . . .	36
3.7	Prévision . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Prévision de la demande</b>	<b>41</b>
4.1	Présentation des produits étudiés . . . . .	41
4.2	Récolte des données . . . . .	42
4.3	Modélisation statistique de la série des ventes de la caisse Maxon Caramel . . . . .	42
4.3.1	Analyse préliminaire des données . . . . .	42
4.3.2	Identification du modèle . . . . .	45

---

4.3.3	Estimation des paramètres . . . . .	46
4.3.4	Validation du modèle . . . . .	47
4.3.5	Prévision . . . . .	49
4.3.6	Etude comparative . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Application de MRP à l'entreprise Général Emballage</b>	<b>53</b>
5.1	Différentes étapes de M.R.P . . . . .	53
5.1.1	Données nécessaires en entrées . . . . .	53
5.1.2	Détermination des besoins nets d'un composant . . . . .	55
5.1.3	Interprétation des résultats . . . . .	59
5.2	L'ajustement charge-capacité (MRP2) . . . . .	60
5.2.1	Interprétation des résultats . . . . .	62
	<b>Conclusion générale</b>	<b>64</b>
	<b>Annexe A</b>	<b>66</b>
5.3	Présentation du logiciel utilisé pour les prévisions . . . . .	67
5.4	Présentation du logiciel utilisé pour les méthodes MRP1 et MRP 2. . . . .	67

# Liste des tableaux

3.1	Résumé des propriétés des fonctions d'autocorrélations simples et partielles. . . . .	38
4.1	Historique des ventes mensuelles(en tonnes) Janvier 2012/ Décembre 2015 de la Caisse Américaine : Maxon Caramel . . . . .	42
4.2	Prévisions des ventes de la Caisse Américaine : Maxon Caramel calculées à l'aide du logiciel R de l'année 2016. . . . .	51
4.3	Les ventes réelles ainsi que les prévisions de la Caisse Américaine : Maxon Caramel réalisées par Général Emballage de l'année 2016. . . . .	51
5.1	Resultats des besoins nets de la Plaque Cannelure 'C', stocks en fin de chaque période et lancement de production . . . . .	55
5.2	Résultats des besoins nets des différents types de Papiers (Test Blanc, Kraft E cru et Fluting), stocks en fin de chaque période et l'ordre d'achat . . . . .	56
5.3	Résultats des besoins nets de la Colle , stocks en fin de chaque période et l'ordre de fabrication . . . . .	56
5.4	Résultats des besoins nets de Amidon, Boraxe et Soude, stocks en fin de chaque période et l'ordre d'achat . . . . .	57
5.5	Lancement de production après l'ajustement au niveau 0. . . . .	62
5.6	Délai d'approvisionnement, de fabrication et l'état des stock. . . . .	66
5.7	Les livraisons attendues de la plaque cannelure C. . . . .	67

# Table des figures

1.1	Localisation de l'entreprise Général Emballage . . . . .	5
1.2	Organigramme de l'entreprise Général Emballage . . . . .	7
1.3	Arrivage des bobines de papier devant l'onduleuse Général Emballage . . . . .	10
1.4	Schéma d'une onduleuse . . . . .	11
1.5	Le carton simple face . . . . .	11
1.6	La carton double face. . . . .	11
1.7	Le carton double double face . . . . .	12
1.8	Types de cannelures . . . . .	12
2.1	Structure globale du MRP2 . . . . .	23
2.2	Schéma fonctionnel du MRP2 . . . . .	24
2.3	Plan Industriel et Commercial . . . . .	27
3.1	Processus de modélisation. . . . .	37
4.1	Graphe de la série originale : la Caisse Américaine Maxon Caramel ( $y_t$ ) . . . . .	43
4.2	Graphe de la série originale ainsi ses différentes composantes . . . . .	44
4.3	Corrélogramme et corrélogramme partiel de la série originale . . . . .	44
4.4	Graphe de la série avec application d'une tendance d'ordre 1, une transformation log et un filtre saisonnier. . . . .	45
4.5	Corrélogramme et corrélogramme partiel de la série transformée . . . . .	46
4.6	Corrélogramme et corrélogramme partielle des résidus . . . . .	48
4.7	Prévisions des ventes pour 2016 : la Caisse Américaine : Maxon Caramel . . . . .	50
4.8	Graphe des prévisions des ventes de la Caisse Américaine : Maxon Caramel de l'année 2016 . . . . .	51
5.1	Ordres de lancement de la Caisse Américaine : Maxon Caramel . . . . .	53
5.2	Construction de la nomenclature de la caisse américaine : Maxon Caramel . . . . .	55

5.3	Besoins et stocks du la plaque cannelure 'C' . . . . .	58
5.4	Besoins et stocks du Papier Test Blanc . . . . .	58
5.5	Besoins et stocks de la Colle . . . . .	59
5.6	Besoins et stocks de L'Amidon . . . . .	59

# *Introduction générale*

# Introduction générale

L'entreprise peut se définir comme une unité économique reposant sur une organisation préétablie et fonctionnant autour de moyens de production ou de distribution elle recouvre plusieurs définitions, certaines d'entre elles sont classiques et cernant pas entièrement la réalité d'autres en revanche intègrent un ensemble d'éléments de grande importance comme système. L'entreprise est considérée comme un centre de production réunissant des facteurs de production combinables et substituables qui sont : le facteur travail, le facteur capital et enfin le facteur naturel. Sur ce plan l'une des préoccupations principale d'une entreprise est la gestion de production qui s'intéresse aux modes de gestion des flux, ainsi qu'aux techniques opérationnelles qui leur sont associées et qui permettent à l'entreprise de satisfaire ces clients en fournissant le produit demandé dans les délais prévus.

Le choix de la méthode de gestion des flux n'est pas un arbitre accessible pour tout entreprise vue le nombre de contrainte qui s'imposent à elles, telle que la nature du produit, les exigences des consommateurs, les performances des équipements, les modes de distribution, etc. De plus, une étude attentive montre que la recherche de l'efficacité pousse généralement les entreprises à gérer leur production, dont le rôle est aussi important que l'entreprise elle-même vue que cette dernière a pour but de concevoir les processus de production, gérer les stocks et les approvisionnements, planifier la fabrication et enfin mettre en œuvre une politique de qualité.

De nos jours, un plan de fabrication doit donc réagir aux données courantes de production, de stockage et de demande. Mais les décisions qu'il génère doivent aussi prendre en compte l'évolution future du système en intégrant les données prévisionnelles. Cette intégration doit porter sur les deux composantes fondamentales de toute prédiction : le prévisible et l'aléatoire. Une prévision au plus juste des entrées et des états futurs du système

de production est déterminante pour l'optimisation du plan de fabrication.

Le travail présenté dans ce mémoire s'appuie sur une approche de gestion de production et des flux. Notre choix s'est porté sur MRP (Material Requirements Planning) ou planification des besoins en composants comme méthode de planification et de gestion des stocks de matières premières tout en prenant en considération les demandes des clients en produits finis, et la nature du système de production rencontré dans le cas pratique. Ces demandes sont déterminées à base d'une modélisation statistique (prévision) par la méthode de Box et Jenkins dont le but d'avoir une demande régulière qui reflète réellement celle du client afin de reprendre le plus possible à l'ensemble des besoins. L'objectif de cette étude est d'ordre opérationnel, qui consiste en la résolution du problème rencontré au sein de l'entreprise Général Emballage qui est un problème de planification par la détermination des besoins nets, des ordres de fabrication et des ordres d'achats qui sont indispensables à la bonne satisfaction des demandes, en précisant la limitation des méthodes classiques.

L'entreprise agroalimentaire Général Emballage, comme toute entreprise industrielle, se trouve confrontée à une forte mutation de son environnement se traduisant par une clientèle de plus en plus exigeante sur le coût, la qualité du produit et les délais de livraison. Ces diverses contraintes imposent automatiquement une amélioration croissante de la productivité tout en recherchant une grande flexibilité des moyens de production afin d'adapter la capacité des systèmes productifs à des modifications de la demande et aux aléas internes du système productif. Pour faire face à cette situation, les responsables de la production accordent un rôle très important à la disponibilité de l'information sur la demande des clients à l'avance ce qui permet de mieux estimer les besoins futurs et d'améliorer les règles de pilotage du flux de production, en visant à mieux satisfaire le client tout en minimisant ses coûts. À partir des prévisions de la demande et des commandes clients, la méthode MRP qui est la planification des besoins en composants, peut donc être appliquée à la logistique de production pour gérer l'ensemble des flux physique et d'information durant les différentes phases de la production. Cette méthode est basée sur le calcul et la détermination des besoins en composants pour la fabrication d'un produit fini déterminé.

Notre étude comporte cinq chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons d'une manière générale l'entreprise Général Emballage, son historique, sa fonction et mission ainsi que son processus de production.

Le deuxième chapitre est divisé en deux parties. Dans la première nous donnerons quelques notions de base sur la méthode MRP1, la deuxième partie n'est autre qu'une suite de la première qui est consacrée à la méthode MRP2.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des outils statistiques nécessaires à l'analyse de nos données. Le quatrième chapitre est consacré à la prévision de la demande à base de nos données, notamment la méthode de Box et Jenkins.

Dans le cinquième chapitre, nous appliquons la méthode MRP1 par la suite la méthode MRP2 aux données de l'entreprise Général Emballage.

## *Chapitre 1*

### *Présentation de Général Emballage*

# Chapitre 1

## Présentation de Général Emballage

### Introduction

Suite à la nouvelle politique économique adoptée par l'Algérie qui encourage les investissements privés dans l'industrie, plusieurs entreprises privées sont nées. Et parmi elle : General Emballage qui est l'une des entreprises les plus performantes dans l'industrie de la fabrication et la transformation du Carton Ondulé destiné a l'emballage en Algérie. Ce chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise, ses activités et ses missions, ainsi que son organisation.

### 1.1 Raison sociale

Général Emballage est une société par action au capital de deux (02) milliards de Dinars Algériens. Son activité principale est la fabrication et la transformation du carton ondulé. L'entreprise dispose actuellement d'un siège social et de deux unités de production implantées à Akbou, Oran et Sétif.

## 1.2 Localisation

La Spa Général Emballage est implantée au niveau de la Zone d'Activité de Taharacht, située à 2.5 km au Nord-est du chef-lieu de la commune d'Akbou. D'une superficie de 24HA, elle est un véritable carrefour économique vu le nombre d'unités industrielles qui exercent dans différents domaines.



FIGURE 1.1 – Localisation de l'entreprise Général Emballage

## 1.3 Historique

Suite à la nouvelle politique économique adoptée par l'Algérie et qui encourage les investissements dans l'industrie, plusieurs entreprises privées sont nées, Général Emballage est l'une d'elles.

Cette société de nature juridique Sarl a été créée le 01 août 2000 par décision APSI N°13051 du 06 juin 1998 à la zone d'activités Taharacht, Akbou, Bejaia par Monsieur Mohand et Ramdane BATOUCHE avec un capital social de départ de 32 millions de dinars algériens. Les travaux de construction de bâtiment ont débuté en août de la même année et sont réalisés par des entreprises algériennes. En 2002, les équipements de fabrication importés d'Espagne furent installés, la société qui a commencé à fabriquer ses premiers produits en juin de la même année c'est-à-dire 2002.

Le capital de l'entreprise a été porté à 70 millions de dinar algérien en 2005, puis à 150 millions de dinars algériens en 2006 et ensuite 1 023 200 000,00 DA en 2007.

L'assemblée générale des actionnaires de la société tenue en date du 03 juin 2009 a décidé de modifier la société en société par action (SPA) et à augmenter le capital par l'intégration de deux nouveaux associés (MAGHREB PRIVATE EQUITY FUND II " Cyprus II " LP et MAGHREB PRIVATE EQUITY II " Mauritius " PCC) pour le porter à 1 823 200 000,00 DA. Comme elle a décidé d'autoriser Monsieur Ramdane BATOUCHE à céder trois parts de ses actions à Mesdames Samia, Ourida et Lynda BATOUCHE.

Le capital de SPA Général Emballage a été porté à deux (02) milliards de dinars algériens par conversion du compte courant associés suite à la résolution N°02 de l'Assemblée Générale extraordinaire tenue le 30 juin 2009.

## 1.4 Mission

La mission de Général Emballage est de satisfaire sa clientèle de plus en plus exigeante en matière d’Emballage et de plaques en carton ondulé.

Parmi ces produits fabriqués on trouve :

- Plaque de carton ondulé.
- Caisse à fond automatique.
- Caisse télescopique.
- Barquette à découpe spéciale.

## 1.5 Organisation de la Spa Général Emballage

L’entreprise a adopté une démarche marketing et commerciale, qui est focalisée autour de la demande ; c’est-à-dire la satisfaction et la fidélisation de la clientèle en recherchant l’excellence de la qualité des produits. L’organisation de l’entreprise est présentée selon l’organigramme illustre par la figure suivante :

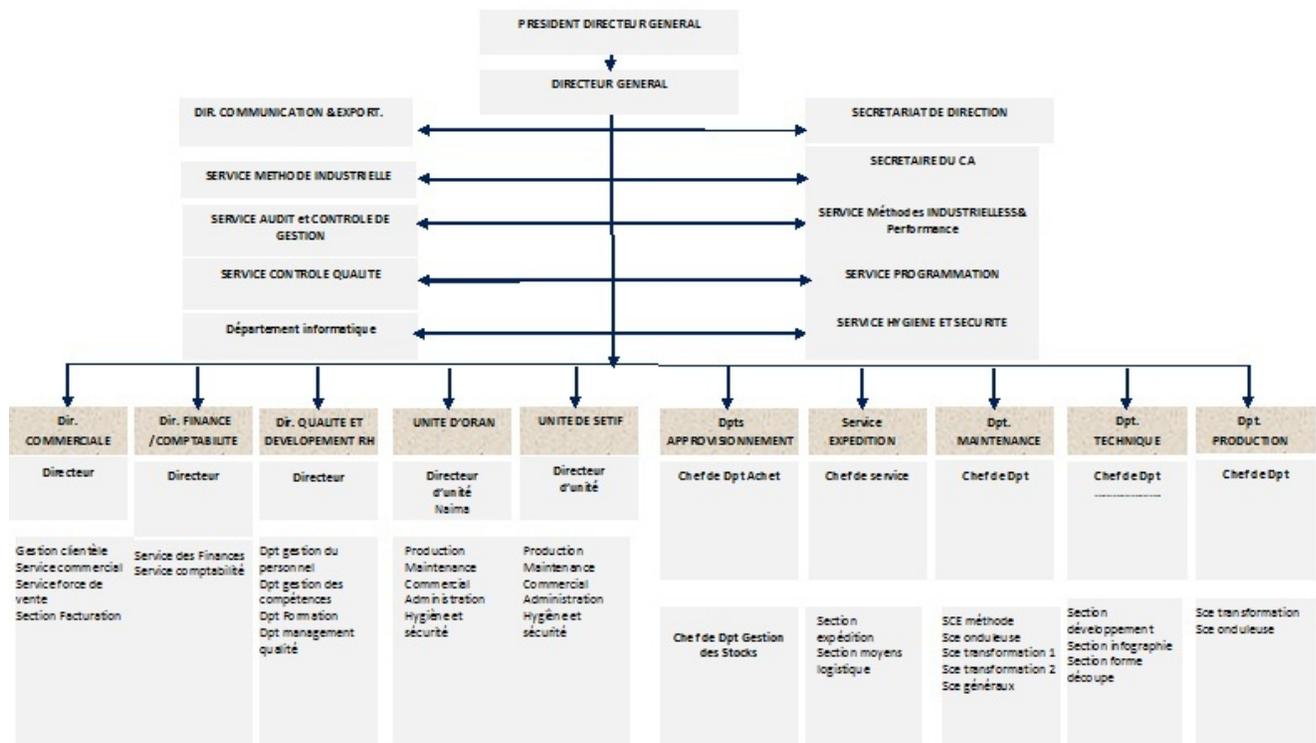


FIGURE 1.2 – Organigramme de l’entreprise Général Emballage

**1. La Direction Générale**

Elle veille à l'élaboration de la politique générale de la société, elle est chargée de coordonner et de contrôler les principales structures de la société, ainsi que le suivi des budgets et les plans de développement.

**2. La Direction Commerciale**

Elle assure le suivi des commandes clients et exprimer les besoins de formation de chaque agent de la fonction ventes, elle étudie et suit l'évolution et les tendances des marché et recherche de nouveaux segments de marché et définit toutes conditions pour les satisfaire, fidéliser les nouveaux clients et procéder aux recouvrements des créances.

**3. La Direction Finance et Comptabilité**

La direction des finances et comptabilité aide à définir les principaux objectifs de la société et veille à l'exécution de la politique financière de la société.

**4. La Direction Qualité et Développement RH**

La gestion des ressources humaines est la fonction organisationnelle qui s'occupe du recrutement, de la gestion, de perfectionnement et de la motivation du personnel, y compris de fournir du soutien et des systèmes fonctionnel et spécialisés pour favoriser la participation des employés ainsi que des systèmes de gestion pour favoriser le respect réglementaire des normes liées à l'emploi et aux droits de la personne.

**5. Département Approvisionnements**

Il assure la mission d'achat des matières nécessaires, il assure aussi la mission de la gestion des stocks des matières premières.

**6. Département Maintenance**

Il s'occupe de l'entretien de la maintenance des onduleuses, il est chargé d'organiser, de coordonner et de contrôler l'ensemble des actions liées à l'exploitation des machines.

**7. Département Technique**

Il assure le pilotage de la structure technique sous tous ses aspects : technique, production, maintenance et il supervise l'activité de la maintenance.

**8. Département Finance et Comptable**

Il a pour rôle la tenue de la comptabilité de l'entreprise, la gestion de la trésorerie (dépenses, recette et placement), la tenue des inventaires, le contrôle de gestion (comptabilité analytique et le contrôle budgétaire).

**9. Département Production**

La gestion de production est la mise en application de méthodes et techniques dans

le but d'accomplir la transformation de matière en produits finis. Elle se résume en la combinaison de ressources, parmi lesquelles les moyens matériels (les machines), les moyens humaines (le personnel par qualification) et les matières (matière première, matière consommables) dans un planning avec, pour but d'assurer la fabrication du produit en qualité et en quantité bien définies.

## 10. Service Programmation

- Planification Onduleuse :

Consiste en l'établissement d'un programme de production optimisé (déchet minimal avec un minimum de changement de papiers) destiné à l'atelier Ondulation, basé sur le séquençement des commandes (Plaques et Transformations) désignées par le délai de livraison et charges machines de Transformation tout en vérifiant la disponibilité de la matière première (Qualité du papier et laize) avec laquelle le programme doit être réalisé.

- Planification Transformation :

Il s'agit d'établir un programme tenant compte des délais de livraison sous d'autres critères tels que les nuances des encres et les charges machines.

Le lancement de la production de la plaque destinée à la Transformation ne se fait qu'après vérification de la disponibilité des accessoires (Clichés et Moules).

- Etablissement du rapport de production :

Le retour d'information étant assuré par le logiciel PC-TOPP sur la base des programmes Onduleuse et Transformation jadis transmis, leurs réalisations se finalisent par un rapport de production ainsi que la FLASH de production qui seront établis et transmis à la direction.

## 1.6 Processus de production de l'entreprise

### 1.6.1 Les matières premières utilisées

- Bobines de papier (papier pour couverture et papier pour cannelure).
- Amidon de maïs pour la fabrication de la colle utilisée sur l'onduleuse.
- Encre à base d'eau pour imprimer le carton ondulé selon le procédé "flexographique". Ces matières ne présentent aucun risque ni pour l'environnement ni pour la santé du consommateur, elles sont biodégradables.



FIGURE 1.3 – Arrivage des bobines de papier devant l'onduleuse Général Emballage

## 1.6.2 Présentation de l'onduleuse

L'onduleuse peut être considérée comme une ligne de production, elle utilise le papier et la colle comme matière première pour créer du carton ondulé. Le procédé technique utilisé par l'onduleuse pour fabriquer le carton est pratiquement le même depuis les 100 dernières années.

Général Emballage possède 2 onduleuses, comme expliqué précédemment, le procédé technique est pratiquement le même pour chaque machine.

Une onduleuse peut être considérée comme une succession de plusieurs machines entre elles. En effet chaque unité de l'onduleuse est indépendante. Cet aspect permet de changer seulement une section de la machine, il est donc possible d'avoir des sections ne provenant pas du même manufacturier à l'intérieur d'une même ligne d'onduleuses. En moyenne, une nouvelle machine reste en état pendant dix ans, ensuite on commence à renouveler les différents modules.

### - Brève description du système

Une onduleuse est composée de sept sections principales :

- Poste simple face n°1
- Poste simple face n°2
- Poste double face
- Tables chauffantes
- Mitrailleuse
- Coupeuse transversale
- Tables montantes et descendantes

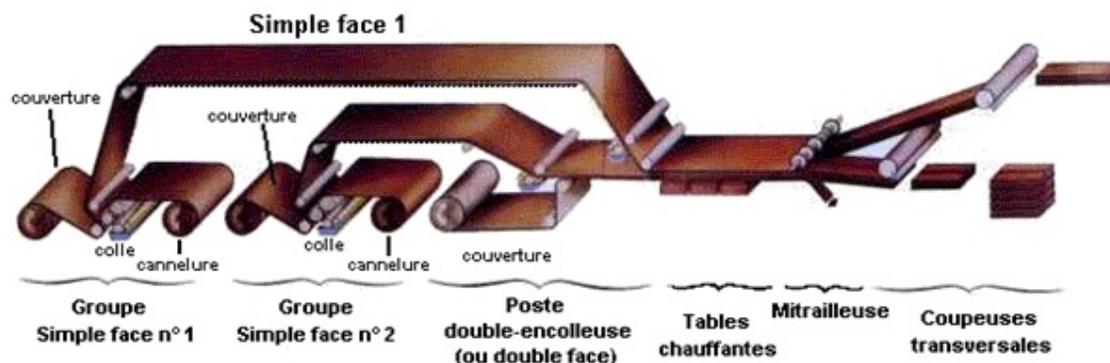


FIGURE 1.4 – Schéma d'une onduleuse

### 1.6.3 La formation du carton ondulé

#### 1. Présentation du carton ondulé

Le carton ondulé est formé d'une ou plusieurs feuilles de papier ondulées ainsi que d'une ou plusieurs feuilles de papier horizontales. Ces deux composantes sont annexées ensemble en utilisant de la colle. Ce sont le nombre de feuilles ondulées et le nombre de feuilles couvertures qui définissent le type de carton ondulé.

- **Le carton simple face** : Consistes-en une feuille de papier canulée collée avec une feuille de papier couverture.

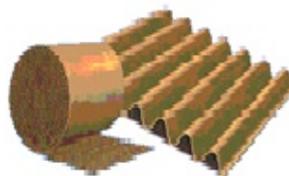


FIGURE 1.5 – Le carton simple face

- **La carton double face** : Consistes-en une feuille ondulée au milieu collée avec deux feuilles couvertures.

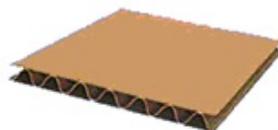


FIGURE 1.6 – La carton double face.

- **Le carton double double face** : Consiste en deux feuilles de papiers canulées collés avec trois feuilles couvertures.



FIGURE 1.7 – Le carton double double face

## 2. Caractéristiques des cannelures

Le type de carton produit dépend non seulement du nombre de feuilles de papier ondulées et de feuilles de papier horizontales utilisées, mais il résulte également du type de cannelures. En effet, l'épaisseur du carton ondulé dépend principalement des caractéristiques des cannelures utilisées.

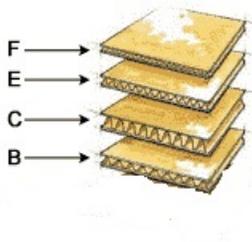


FIGURE 1.8 – Types de cannelures

## 3. Processus de fabrication du carton ondulé

Le procédé de fabrication du carton ondulé débute avec l'arrivée de bobines de papier à l'onduleuse. Chez Général Emballage, les bobines sont transportées sur un tapis roulant automatisé jusqu'à l'onduleuse. Les bobines ont une laize (largeur) de 2,4 m, ce qui est normalement la norme dans chaque usine. Par contre, il a été récemment possible d'observer des onduleuses acceptant une largeur de bobine allant jusqu'à 3,3 m.

### 3.1 Poste simple face n°1

La fabrication du carton ondulé simple face nécessite deux bobines de papier, une première bobine pour le papier de face dite couverture et une seconde pour le papier de cannelure. La première bobine est donc préchauffée à une température d'environ 185°C, ce processus est effectué par les cylindres chauffants. Ce procédé facilite la manipulation des

fibres de papier. En effet, un papier chauffé permet une pénétration de la colle plus efficace et donne également une meilleure horizontalité du carton.

La seconde bobine est également préchauffée puis circule à travers une presse cannelée qui lui donnera la forme ondulée désirée.

La tâche du poste simple face n°1 se termine par l'application de la colle sur le sommet des cannelures, le papier de face sera alors annexé aux cannelures à l'aide de la presse lisse. Le produit sortant de ce poste est donc un carton simple face.

### **3.2 Poste simple face n°2**

Les bobines de papier entrant dans le poste simple face n°2 subissent les mêmes transformations que celles du poste simple face n°1. L'assemblage des 2 types de carton simple face sortant des postes 1 et 2 avec une bobine de couverture (issue du poste double face) forme du carton double double face.

### **3.3 Poste double face**

Le poste double face est aussi utilisé pour la fabrication du carton double face. De fait, cette étape sert à joindre une feuille de papier couverture sur la face cannelée du carton simple.

### **3.4 Tables chauffantes**

Elles reçoivent les cartons issus des postes simple face 1 et 2 qui passent à ce niveau sous des rouleaux presseurs afin d'assurer le maintien de l'encollage. Un risque d'écrasement est ici bien présent. Nous le détaillerons plus loin.

### **3.5 Mitrailleuse**

Une fois la production du carton ondulé terminée, il faut le couper à l'aide du poste mitrailleuse pour obtenir la largeur désirée. Cette dernière comporte plusieurs arbres sur lesquels sont positionnés des couteaux rotatifs circulaires, ainsi que des outils rotatifs circulaires de rainage, sont :

-Les couteaux découpent longitudinalement la nappe de carton en nappes secondaires, et en rognure de laize.

-Les outils rainent longitudinalement les nappes secondaires, c'est à dire les écrasent suivant une ligne, pour faciliter le pliage ultérieur des rabats.

### **3.6 Coupeuse transversale**

Ce poste est utilisé pour couper le carton ondulé dans sa longueur, c'est en effet la coupeuse transversale qui complète le procédé technique pour rendre le carton dans le for-

mat désiré par le client. Par la suite, les feuilles de carton ondulé sont envoyées sur un tapis roulant qui les amène vers le dernier poste de l'onduleuse, les tables montantes et descendantes.

### **3.7 Tables montantes et descendantes**

L'arrivée des feuilles de carton sur les tables montantes et descendantes n'est pas aussi simple qu'il pourrait y paraître, car la vitesse du convoyeur de ce dernier poste est environ cinq fois inférieure à la vitesse de l'onduleuse. Les cartons pré empilés sont compactés sur la table montante descendante par lots de 175 feuilles maximums. Le carton est ensuite évacué sur un convoyeur à rouleau vers la section expédition de la cartonnerie.

## **1.7 Transformation de la plaque en emballage**

Les plaques en carton ondulé produites sur l'onduleuse seront transformées en emballages sur les machines dites de transformation.

Il existe 3 grandes familles d'articles d'emballage en carton ondulé :

- 1- Caisses à rabats dont la plus courante est la caisse américaine .
- 2- Plateaux, barquettes, enveloppes pliantes, etc.
- 3- Le petit façonnage, croisillons, plaques de renfort, séparations, etc

## 1.8 Position du problème

La gestion de production occupe une place centrale dans toute entreprise industrielle, quel que soit son secteur d'activité (mécanique, plastique, alimentaire, bois...).

La gestion de production fait souvent appelle à la notion de flux : implantation de flux, flux poussée flux tires, flux tendus.... Ainsi l'application de méthodes et techniques de production en optimisant les flux sont nécessaire afin d'accomplir la transformation des matières en produits fini ainsi que améliorer la qualité de la planification de la production.

L'entreprise général Emballage, comme toute autre entreprise, est confrontée aux différents problèmes liés à l'optimisation, à l'économie et à la gestion. Les enjeux stratégiques et financiers sont tels que la planification et la gestion de production ne sont plus un luxe, mais une nécessité et un outil de survie. Il faut faire face à une demande de plus en plus variable et fortement influencée par de nombreux facteurs conjoncturels.

Notre étude a d'abord porté sur l'amélioration de la gestion des stocks des matières premières, produits semi-finis et produits finis dans cette entreprise, en se basant sur le système MRP d'une manière à avoir le zéro stock à la fin de chaque période et en tenant compte des prévisions de la demande. Une fois cette étape réalisée, il s'agit de déterminer à quel moment et en quelle quantité chaque composant doit être disponible

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes structures de l'entreprise Général Emballage. Dans le chapitre suivant nous allons présenter quelques éléments théoriques concernant la gestion de la production.

## *Chapitre 2*

### *Gestion de production*

# Chapitre 2

## Gestion de production

### Introduction

La planification de la production consiste à définir le niveau global des unités à produire pour satisfaire au mieux les commandes fermes et prévues, tout en respectant les contraintes de capacité, les objectifs généraux de rentabilité, de productivité, de délais de livraison, etc. Ainsi, la planification de la production vise à optimiser l'utilisation des ressources disponibles pour la fabrication d'un ou plusieurs produits.

### 2.1 Définition du MRP

Le MRP (Material Requirements Planning), connu également comme le CBN (Calcul des Besoins Nets) est une méthode de gestion et de planification de production en flux poussé sur les nomenclatures de produits et les prévisions des ventes.

C'est une technique de gestion industrielle qui répond aux besoins suivants :

- Donner au client le meilleur service ;
- Définir un programme de production ;
- Réaliser l'adéquation charge/capacité résultant de ce programme de production ;
- Maîtriser les coûts de production.

## 2.2 Historique de MRP

La méthode MRP (Material Requirement Planning / Palannification des besoins en composants) développée aux Etats-Unis vers 1995 par Joseph Orlicky qui a mis en évidence deux types des besoins [1] :

- Indépendants : qui ne peuvent être (la plupart des cas), qu'estimes par prévision.
- Dépendants : peuvent et doivent être calculés.

Au départ ces méthodes étaient très simples, elles ont continué a évoluer jusqu'à atteindre un haut niveau de fonctionnalités et d'intégration dans le système d'information de l'entreprise. Aujourd'hui, on classe les MRP en trois catégories selon leur niveau de fonctionnalités.

- MRP0 : Material Requirements Planning (Planification des Besoins en Composants 1965) MRP ne représente alors qu'une méthode de calcul des besoins matières.
- MRP1 : Material Requirements Planning (Méthode de Régulation de la Production 1971). C'est un système à boucles fermées avec adéquation charge / capacité.
- MRP2 : Manufacturing Ressources Planning (Management des Ressources de la Production 1979). MRP s'étend à l'ensemble de l'entreprise.
- ✓ ERP : Enterprise Ressources Planning (Planification des ressources de l'entreprise 1995). ERP couvre l'ensemble des flux matières et financiers de l'entreprise

## 2.3 Principe de MRP

La méthode MRP comprend un certain nombre d'étapes qui, dans un premier temps, détermine la quantité de produits finis nécessaires pour satisfaire la demande du client par période de temps, et dans un second temps, calcule les besoins en composants pour assembler les produits finis pour la période de temps considérée. Elle vise à planifier conjointement, à partir des demandes fermes des clients ou de leurs prévisions : les besoins en composants et les ordres de fabrication. Les besoins sont identifiés par des dates et des quantités de composants que l'on détermine à l'aide des nomenclatures et des gammes des produits ainsi que par les niveaux de stock des matières premières et des produits semi-finis nécessaires à l'élaboration des produits. En prenant en compte les divers délais (de production, d'approvisionnement), le MRP permet de proposer les ordres d'achats(commandes) envers les fournisseurs et les ordres de fabrications pour lancer la production. Néanmoins, la méthode MRP ne prend pas en compte la capacité de production du système dont on cherche à planifier l'activité. Or, dans le cas où le cumul des charges demandées a une unité de production

est supérieur à sa capacité (plan de charge incompatible avec les capacités de production), il faut procéder par un lissage de la production, c'est à dire redistribuer une partie de la charge dans le temps de façon à ce que le plan de production proposé soit réalisable. La méthode a pour ce faire été complétée par la vérification de l'adéquation charge/capacité des postes de charge : c'est la deuxième version de la méthode, ou MRP2 Management des Ressources de production (Manufacturing Resources planing). Aujourd'hui, dans la plupart des entreprises manufacturière, les décisions sont hiérarchisées et s'appuient sur la méthode MRP2, qui modélise les relations nécessaires entre les données techniques, les décisions de planification et la gestion de capacités[9].

## 2.4 Objectifs de MRP

- Etre au courant des lancement à procéder dans le futur pour tous les articles, pour avoir la cohérence des dates de livraison avec les dates des besoins[20].
- Organiser les approvisionnements et la fabrication, dans un plan global de production.
- Sur la base d'une demande prévisionnelle on met en concordance les différents stocks de produit finis, de sous-ensembles, de composants, de matières premières en quantité et dans le temps[10].
- Définir les besoins en composants d'un produit finis en assemblant ces composants pour assouvir la consommation sur une période donnée[18].

## 2.5 Domaine d'application

Si les conditions ci-dessous sont réalisées, le système MRP est préférable à tout système de gestion :

- Le produit fini a une structure complexe et contient un grand nombre de composants ;
- La demande du produit fini est connue à tout instant de l'horizon considéré ;
- Le produit fini est cher.

## 2.6 La démarche MRP

### 2.6.1 Point de départ du calcul des besoins

Pour effectuer un calcul des besoins il faut connaître les quantités à fabriquer, positionnées dans le temps pour chaque produit fini, il faut déposer dans une base de données d'informations concernant les produits fabriqués et achetés [5].

Pour chaque article il faut disposer des informations suivantes :

1. **Plan directeur de production(PDP)** : définit les besoins bruts pour les produits finis. Qui seront choisies en tenant compte des critères suivant :
  - Leur nombre ne doit pas être trop élevé, afin de faciliter la planification ;
  - Leur demande doit être prévisible avec une bonne précision.
2. **Fichier des articles** : nom, numéro, description, code de niveau, délai d'obtention, stratégie de groupement des commandes (lot pour lot, périodique,...).
3. **Nomenclature des produits (fichier des arborescences)** : article et quantité de chaque composant intervenir dans un article donné ; souvent établi à un seul niveau de profondeur (par itération, on peut reconstituer toute l'arborescence d'un produit fini).
4. **Systemes d'information sur l'état des stocks et sur les ordres lancés** : à noter que, contrairement aux données précédentes, qui sont de nature relativement statique, les données ici évoluent de façon permanente et leur gestion doit pouvoir s'effectuer de façon dynamique.
5. **Carnet des commandes** : enregistrés ou prévisionnels qui rentre des fois dans la détermination du plan directeur de production.

## 2.7 La logique MRP

La méthode MRP permet de planifier les dates d'approvisionnement de chaque article. pour cela on suit un raisonnement en cascade, en planifie d'abord tous les articles de niveau zéro, puis toutes celles de niveau 1,2,3..., ets. MRP sert à déterminer les quantités suivantes [24] :

1. **Besoins bruts (explosion des nomenclatures)** : les besoins bruts pour chaque article sont dérivés des "lancements planifiés" de chacune des articles dans la composition desquelles entre l'article courant.
2. **Besoins nets** : les besoins nets sont déterminés sur base des besoins bruts, des stocks nets et des approvisionnements attendus.
3. **Approvisionnement planifié** : les Approvisionnement planifié sont déterminés par regroupement(éventuel) des besoins nets de plusieurs périodes successives.
4. **Absorption des délais** : les dates de lancement sont obtenues en retranchant les délais d'obtention des dates d'approvisionnements planifiées.

## 2.8 Déroulement du calcul des besoins

Dans la nomenclature arborescente, on trouve un code "niveau" affecté à chaque article, le calcul des besoins s'effectue niveau par niveau est essentiel, car on doit connaître le programme prévisionnel du composé avant de calculer les besoins pour le composant[5].

Si un article apparaît à plusieurs niveaux, son code sera celui du plus bas niveau (traitement de tous ses parents pour obtenir ses besoins bruts). Cette règle s'appelle la règle de plus bas niveau.

Les besoins bruts d'un article (c'est à dire les prévisions de consommation) proviennent des ordres de fabrication planifiés (ordres proposés) pour les articles parents de cet article. Lorsqu'un article a plusieurs parents, c'est à dire qu'il entre dans la composition de plusieurs produit différents, les besoins bruts représentent la somme des besoins engendrés par les ordres proposés de chacun des parents.

Les besoins nets d'une période est déduit du besoin brut en lui soustrayant les en-cours de production qui doivent être terminés dans la période (ordres lancés) et les produits en

stock à la fin de la période précédant (stock prévisionnel).

$$\text{Besoin net}(p) = \text{besoin brut}(p) - \text{ordre lancé}(p) - \text{stock}(p-1)$$

Si  $\text{besoin net}(p) < 0$  alors  $\text{besoin net}(p) = 0$  et  $\text{stock}(p) = -\text{besoin net}(p)$

La date de début des ordres proposés est déduite de la date de fin par un décalage temporel égale au délai d'obtention.

Après avoir placé un ordre proposé dans une période, le nouveau stock prévisionnel de cette période est recalculé par la relation suivante :

$$\text{Stock}(p) = \text{stock}(p-1) + \text{ordre lancé}(p) + \text{ordre proposé}(p) - \text{besoin brut}(p)$$

## 2.9 Dynamique du système MRP

Dans la pratique quotidienne des entreprises, au-delà de son rôle d'outil de planification à court terme, le système MRP est souvent utilisé comme un système d'information permettant de gérer les lancements d'ordres de fabrication ou de commande et de contrôler la production des références.

A chaque période, l'utilisateur doit [23] :

- Lancer les ordres de production ou les commandes, soit sur base des quantités planifiées par le système MRP, soit en fonction d'autres priorités (si la capacité disponible est insuffisante, on préférera par exemple produire pour une commande en attente que pour un stock de Sécurité, etc) ; les lancements calculés par MRP sont donc généralement considérés comme des propositions de lancement, qui doivent encore recevoir l'aval du planificateur, plutôt que comme des ordres de fabrication automatisés ;
- Enregistrer les quantités approvisionnées ;
- Corriger les données en fonction des événements réels (erreurs de stocks, approvisionnements en retard, etc).

L'approche utilisée est généralement de gérer par exception : le système génère automatiquement des messages indiquant les références pour lesquelles une action doit être entreprise.

Lorsque des changements de données sont introduits, il devient nécessaire de recalculer les ordres de lancements. Si ceci se produit trop fréquemment, les plans deviennent instables :

on parle de nervosité du système. Une pratique courante est de générer un nouveau plan MRP à intervalles réguliers, par exemple toutes les semaines, sur base d'un 'horizon glissant'.

## 2.10 Avantages et limites du MRP

### 2.10.1 Avantages

- Une double dimension opérationnelle et stratégique.
- Détermination pour chaque composant du produit de la quantité à lancer en production et/ou à commander (et la date de ces actions).
- Simulations grâce à des logiciels.
- La flexibilité du MRP (grâce à l'information).
- Modifications possibles des paramètres et recomposition du PDP en fonction de nouvelles données internes (maintenance des équipements), ou externes à l'entreprise (grèves chez un fournisseur,).
- L'adaptation du MRP à des produits complexes
- Possibilité d'intégration dans les calculs (informatiques) d'un nombre important de paramètres.
- Allègement des coûts.

### 2.10.2 Limites

- Les lourdeurs et les rigidités du système.
- Systèmes informatiques puissants avec la gestion d'un nombre élevé d'informations.
- Systèmes lourds et couteux (calculs longs et répétitifs si modification de paramètres).
- Systèmes " tentaculaires " transmettant des informations aux autres services...
- Fragilisation du système et perte d'efficacité
- L'émergence du zéro stock et de la production à la demande.
- MRP fondée sur une estimation de la demande
- Stocks non supprimés (existence de stocks de sécurités même s'ils sont moins importants).

## 2.11 MRP2

Le concept MRP2 permet de gérer la production depuis le long terme jusqu'au court terme. C'est également une méthode de simulation de l'activité industrielle qui permet de répondre à la question générale « Que se passe-t-il si ? »

C'est un outil de communication entre les diverses fonctions de l'entreprise, notamment les fonctions Commerciale et Production. Il permet à tous les services de l'entreprise de gérer la production en parlant un langage commun [8].

### 2.11.1 Structure globale du MRP2

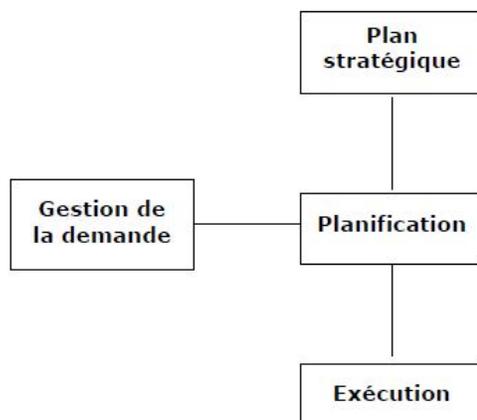


FIGURE 2.1 – Structure globale du MRP2

Le MRP2 permet de gérer la production depuis le long terme jusqu'au court terme, elle permet les communications entre la fonction commerciale et la production.

La gestion de la demande concerne les prévisions commerciales et les commandes clients.

La planification comprend plusieurs niveaux :

- Plan industriel et commercial.
- Programme directeur de production.
- Calcul des besoins nets.

Pour chaque niveau, il est nécessaire de déterminer les charges.

L'exécution concerne la gestion d'atelier.

## 2.11.2 Schéma fonctionnel du MRP2

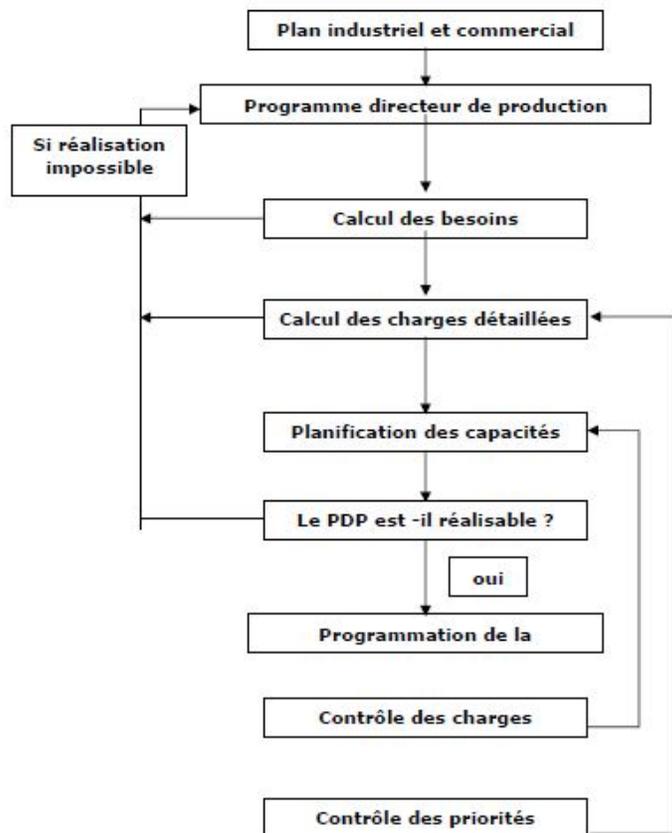


FIGURE 2.2 – Schéma fonctionnel du MRP2

Avant de modifier le plan directeur de production, il faut tenter d'adapter la capacité à la charge, car la méthode MRP ordonnance les ordres de fabrication à capacité infinie. Cela signifie que le système planifie des ordres de fabrication, sans regarder les conséquences en terme de charge pour les ressources de l'entreprise. Ceci est valable pour le Programme Directeur de Production et pour le Calcul des Besoins.

Sans précaution particulière, le système peut donc proposer un programme de production (ensemble des ordres proposés) conduisant à :

- Une charge moyenne supérieure à la capacité des ressources,
- Des périodes sous-chargées alternées avec des périodes surchargées.

Pour éviter un programme de production incohérent il faut d'abord s'assurer, avant de lancer le Calcul des Besoins, que la charge programmée moyenne sera compatible avec la capacité des ressources de production. C'est le rôle du Calcul des Charges Globales, basé sur les

prévisions de production à long terme fixées dans le Plan Industriel et Commercial. Il ne s'agit que d'une estimation des charges, car le Calcul des Charges Globales ne prend pas en compte, entre autres, les composants déjà réalisés qui se trouvent dans les stocks. Le calcul des charges globales n'est pas détaillé ici.

Il faut ensuite s'assurer que, pour chaque centre de charge de l'entreprise, semaine après semaine, il n'y aura pas de surcharge. C'est le rôle du Calcul des Charges Détaillées qui se base sur les ordres planifiés par le Calcul des Besoins.

Le gestionnaire de la production devra trouver des solutions pour éviter les surcharges décelées par le calcul des charges détaillées.

Les deux méthodes précédentes comparent une charge prévisionnelle à une capacité, elle aussi prévisionnelle. Lors de l'exécution des ordres de fabrication, il faut vérifier que ces données prévisionnelles correspondent à ce qui se produit réellement. Cette vérification s'effectue grâce au suivi des flux de charges, aussi appelé contrôle des entrées-sorties.

### 2.11.3 Principe du Calcul des Charges Détaillées

L'objectif du Calcul des Charges Détaillées est de déterminer, de façon précise, l'échéancier des charges et donc des besoins en capacité pour chaque centre de charge de l'entreprise.

Le but est ici de détecter tout problème de surcharge qui se poserait suite à l'établissement du programme de production prévisionnel (ensemble des ordres proposés par le Calcul des Besoins).

Pour effectuer le Calcul des Charges Détaillées, il faut connaître tous les ordres de fabrication donnés par le Calcul des Besoins :

- Ordres proposes,
- Ordres planifiés fermes,
- Operations non terminees des ordres lances.

Le calcul consiste à utiliser les temps standards de changement de série et les temps standards unitaires qui sont donnés dans les gammes de chaque produit. Chaque ordre de fabrication planifié par le Calcul des Besoins va induire dans certaines périodes, des charges sur chaque

machine utilisée dans la gamme de fabrication.

Pour connaître la charge totale d'un centre de charge dans une période, il suffit donc d'effectuer l'addition de toutes les charges générées par les ordres de fabrication qui utiliseront cette machine durant cette période.

Un centre de charge peut être une machine, une cellule ou un ensemble de machines ou de cellules équivalentes.

La charge peut être calculée ainsi :

Temps de changement de série + quantité de pièces à fabriquer par ordre \* temps de travail unitaire de la gamme.

#### **2.11.4 Résultats du Calcul des Charges Détaillées**

Le résultat principal du Calcul des Charges Détaillées est de permettre de connaître, pour chaque centre de charge, la charge prévisionnelle semaine après semaine. Ceci est présenté sous la forme d'un profil de charge.

Le profil de charge donne l'échéancier des charges pour le centre de charge considéré. Il indique clairement au gestionnaire les périodes de sous-charge et les périodes de surcharge. Le profil de charge permet de détecter facilement les centres de charge qui sont des goulets d'étranglement, soit pendant un temps limité, soit de façon permanente.

Le détail de la charge montre au gestionnaire quels sont les articles qui constituent la charge d'une période. Le gestionnaire consulte et analyse cet état lorsqu'il doit résoudre un problème de surcharge.

#### **2.11.5 Actions**

Lorsqu'un problème de surcharge est détecté, le gestionnaire de la production doit prendre des mesures pour l'éliminer. Plusieurs actions sont possibles pour rétablir l'adéquation charge/capacité :

- Actions sur la capacité : utiliser une machine supplémentaire, effectuer du travail de nuit, effectuer des heures supplémentaires, effectuer du travail de week-end, faire appel à la sous-traitance.
- Actions sur les besoins : prendre de l'avance sur certains ordres de fabrication, prendre du retard sur certaines opérations (à rattraper sur les opérations suivantes), décaler un ou plusieurs OF, effectuer des coupures de lots.

### 2.11.6 Le PIC (Plan Industriel et Commercial)

Le plan industriel et commercial est situé au plus haut niveau de la planification.

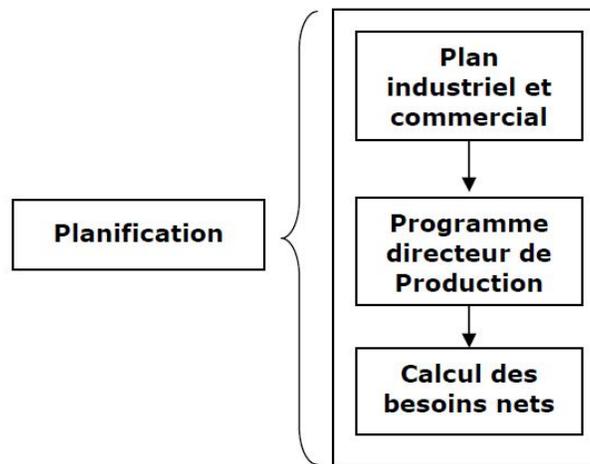


FIGURE 2.3 – Plan Industriel et Commercial

Son objectif est de définir l'activité de l'entreprise par familles de produits de façon à réaliser l'adéquation entre la charge induite par les besoins commerciaux et la capacité de l'entreprise.

Les délais concernés sont le mois et même le trimestre.

Le plan industriel et commercial est établi conjointement par les directions commerciale, industrielle et logistique, c'est un plan stratégique pour l'entreprise.

## Conclusion

La planification de la production permet d'une part d'anticiper pour satisfaire la demande, de prévoir les approvisionnements, et de planifier l'utilisation des moyens de production. D'autre part, elle peut aussi être utilisée comme un moyen d'optimiser la production en cherchant, par exemple, à minimiser les coûts tout en respectant les délais [25].

## *Chapitre 3*

### *Méthodes de prévision*

# Chapitre 3

## Méthodes de prévision

### Introduction

La prévision est souvent considérée comme l'aspect le plus problématique de la gestion, mais les experts pensent qu'il est possible d'établir de bonnes prévisions (précises, fiables) grâce à des méthodes appropriées et qu'il faut avoir confiance et ne pas avoir peur de les utiliser. La prévision recouvre un ensemble de méthodes très diverses qui ont en commun de chercher à réduire l'incertitude liée à la non connaissance du futur. Pour l'entreprise, l'enjeu est important. Même si sa capacité d'action volontaire est forte, elle ne peut se soustraire à l'évolution de son environnement. La décision est difficile car elle risque d'être coûteuse si les prévisions sur lesquelles elle est fondée sont infirmées. On comprend donc que certaines entreprises consacrent des efforts non négligeables à élaborer des prévisions. De ce fait, l'utilisation des séries temporelles dans le but de faire des prévisions plus exactes s'explique par l'importance de sa caractéristique qui la distingue des autres analyses statistiques, qui est la reconnaissance explicite de l'importance de l'ordre dans lequel les observations sont prises, puisque l'étude des séries temporelles ou séries chronologiques correspond à l'analyse statistique d'observations régulièrement espacées dans le temps. Le but donc de l'utilisation de ces séries chronologiques peut-être, considéré comme la prévision du futur en se basant sur la connaissance du passé, ou encors comprendre le mécanisme ou le processus qui génère la série.

## 3.1 Définitions et généralités

### 3.1.1 Stationnarité

Un processus  $(y_t)$ ,  $t \in \mathbb{Z}$ , est stationnaire (au second ordre) si [21] :

- (i) pour tout  $t \in \mathbb{Z}$ ,  $E(y_t) = \mu$ , constante indépendante du temps ;
- (ii) pour tout  $t \in \mathbb{Z}$ ,  $V(y_t) = \gamma_0 < \infty$ , constante finie indépendante du temps ;
- (iii) pour tout  $t \in \mathbb{Z}$ ,  $COV(y_t, y_{t-\tau})$ , constante indépendante du temps.

### 3.1.2 Processus bruit blanc

Un processus bruit blanc est une suite de variables aléatoires indépendantes  $\varepsilon_t$  telles que [2] :

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t) &= 0 \quad \forall t ; \\ V(\varepsilon_t) &= \sigma^2, \text{ minimale } \forall t ; \\ COV(\varepsilon_t, \varepsilon_s) &= E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0, \quad \forall t, s / t \neq s. \end{aligned}$$

### 3.1.3 Séries chronologiques

Une série chronologique est une séquence de données récoltées à intervalle de temps régulier et présentées dans leur ordre chronologique. Une séquence de données sur les ventes journalières, hebdomadaires ou mensuelles est un exemple de série chronologique.

La spécificité de l'analyse d'une série chronologique, qui la distingue d'autres analyses statistiques, est précisément dans l'importance accordée à l'ordre dans lequel sont effectuées les observations. Les méthodes statistiques classiques demandent souvent que les variables étudiées soient stochastiquement indépendantes et observées plusieurs fois. En série chronologiques la dépendance temporelle entre les variables constitue la source principale d'information [22].

On note deux types de série chronologiques :

**Série continue** : C'est une série où l'observation se fait de manière continue.

**Série discrète** : C'est une série où l'observation est réalisée sur des intervalles de temps fixés a priori (l'heure, le jour, le mois, l'année, etc).

### 3.1.4 Description d'une série chronologique

Une série chronologique ( $y_t$ ) est considéré comme la résultante de différentes composantes fondamentales :

- La tendance (ou trend) ( $x_t$ ) qui représente l'évolution à long terme de la série étudiée. Elle traduit le comportement "moyen" de la série.
- La composante saisonnière (ou saisonnalité) ( $s_t$ ) qui correspond à un phénomène qui se répète à intervalles de temps réguliers (périodiques). En général, c'est un phénomène saisonnier d'où le terme de variations saisonnières.
- La composante résiduelle (ou bruit ou résidu) ( $\varepsilon_t$ ) qui correspond à des fluctuations irrégulières, en général de faible intensité mais de nature aléatoire.

### 3.1.5 Modélisation d'une série chronologique

Il s'agit de déterminer les modèles décrivent la façon dont la série évolue. Il existe trois type de modèles :

- modèles d'ajustement.
- modèles auto-projectifs.
- modèles explicatifs.

#### 1. Modèles d'ajustement

Ce modèle se compose de trois types :

**Modèle additif** : correspond au cas d'un mouvement saisonnier d'amplitude constante dans le temps de type :

$$y_t = x_t + s_t + \varepsilon_t$$

**Modèle multiplicatif** : correspond au cas d'un mouvement saisonnier d'amplitude croissante ou décroissante dans le temps de type :

$$y_t = x_t * s_t * \varepsilon_t$$

**Modèle de régression** : C'est la méthode la plus simple pour analyser et modéliser une série chronologique, le modèle s'écrit :

$$y_t = g(t, \theta) + \varepsilon_t$$

Où,

$g(t, \theta)$  est une fonction déterministe connue du temps à travers un paramètre vectoriel  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$  et  $\varepsilon_t$ ,  $t = 1, \dots, T$  est une suite de variables centrées,  $T, k \in \mathbb{N}$ .

Ainsi, la partie structurée de la grandeur étudiée est entièrement située dans la moyenne  $g(t, \theta) = E(y_t)$ . La particularité en série chronologiques est que le temps est la seule variable externe utilisée dans la description de la moyenne. Le modèle le plus utilisé est celui de BUYD-BALIOT qui fournit un schéma additif simple. La tendance est représentée par une droite, l'effet saisonnier est rigoureusement périodique de période  $p$  connue et la partie résiduelle est une suite de variables indépendantes identiquement distribuées de loi normale centrée et de variance  $\sigma^2$ . Le modèle s'écrit :

$$y_t = \alpha + \beta + s_t + \varepsilon_t, t = 1, \dots, T, s_t = s_{t+p} \text{ et } \varepsilon_t \longrightarrow \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

## 2. Modèle autoprojectif

On suppose dans ce type de modèle que  $y_t$  s'écrit en fonction de ses valeurs passées et d'une composante irrégulière. Il existe deux types de modèles autoprojectif :

*Modèle de lissage exponentiel.*

*Modèle de Box et Jenkins :* ce modèle sera détaillé dans la prochaine section.

## 3. Modèle explicatif

Dans cette catégorie de modèles, la variable aléatoire  $y_t$  est exprimée en fonction d'un vecteur de variables aléatoires observable  $x_t$  dites exogènes et d'une perturbation aléatoire  $\varepsilon_t$ .

$$y_t = f(x_t) + \varepsilon_t$$

Où,

$f$  est une fonction déterministe, soit aléatoire, dans ce dernier cas, les processus  $x_t$  et  $\varepsilon_t$  ont certaines propriétés d'indépendance ou de non corrélation.

### 3.1.6 Filtration des séries

La propriété de "non stationnaire" d'une série chronologique peut se présenter par une tendance, une saisonnalité, ou une structure plus complexe. Pour rendre une telle série stationnaire, on lui applique un filtre du type [19] :

- Différence première :  $\nabla y_t = y_t - y_{t-1}$ ;
- Différence seconde :  $\nabla^2 y_t = \nabla y_t - \nabla y_{t-1}$ ;
- Différence saisonnière d'ordre  $s$  :  $\nabla_s y_t = y_t - y_{t-s}$ .

**Remarque :** Les filtres  $\nabla$  et  $\nabla_s$  peut s'écrire en fonction d'un opérateur de retard  $B$  tel que :

$$B y_t = y_{t-1} \text{ et } B^s y_t = y_{t-s};$$

Dans ce cas :

$$\begin{aligned}\nabla y_t &= y_t - y_{t-1} = y_t - B y_t = (1 - B)y_t \implies \nabla = 1 - B; \\ \nabla_s y_t &= y_t - y_{t-s} = y_t - B^s y_t = (1 - B^s)y_t \implies \nabla_s = 1 - B^s.\end{aligned}$$

**Remarque :** Si la série chronologique n'est pas homogène on peut la transformer en appliquant une transformation du type logarithmique(log).

### 3.1.7 Fonctions d'autocorrélation

On appelle fonction d'autocorrélation la fonction suivante :

$$\rho_\tau = \frac{\text{cov}(y_t, y_{t-\tau})}{V(y_t)},$$

$\rho_\tau$  représente le lien linéaire entre le présent  $y_t$  et le passé de retard  $y_{t-\tau}$ . Si  $\rho_\tau$  est proche de 1, cela signifie que  $y_t$  et  $y_{t-\tau}$  sont fortement liés.

Si  $\rho_\tau$  est proche de 0 cela signifie que  $y_t$  et  $y_{t-\tau}$  ne sont pas liés .

### 3.1.8 Définition du corrélogramme

Le graphique de la suite des  $\rho_\tau$  constitue le corrélogramme.

### 3.1.9 Fonction d'autocorrélation partielle

Pour une série  $(y_t)$ , on définit la fonction d'autocorrélation partielle, pour tout  $t \in \mathbb{Z}$ , par

$$r_\tau = \frac{\text{cov}(y_t - y_t^*, y_{t-\tau} - y_{t-\tau}^*)}{\text{Var}(y_t - y_t^*)}$$

où,  $y_t^*$  désigne l'observation estimée de la variable à expliquer  $y_t$  par la régression linéaire multiple,

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_{\tau-1} y_{t-(\tau-1)} + v_t$$

et  $y_{t-\tau}^*$  désigne l'observation estimée de la variable à expliquer  $y_{t-\tau}^*$  par le modèle de régression linéaire multiple,

$$y_{t-\tau} = b_1 y_{t-1} + b_2 y_{t-2} + \dots + b_{\tau-1} y_{t-(\tau-1)} + u_t.$$

Il s'agit de prendre uniquement en considération le coefficient de corrélation entre  $y_t$  et  $y_{t-\tau}$ , l'influence des autres variables  $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-(\tau-1)}$ , ayant été retirées.

### 3.1.10 Définition du corrélogramme partiel

Le graphique de la suite des  $r_\tau$  constitue le corrélogramme partiel.

**Remarque :** L'intérêt pratique des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle se retrouve dans l'étude des processus stationnaires tels que les processus autorégressifs (notés AR), les processus de moyenne mobile (notés MA) et les processus mixte autorégressifs et de moyenne mobile (notés ARMA)[4].

## 3.2 Processus autorégressifs d'ordre p : AR(p)

Un processus autorégressif (autorégressive model) d'ordre p retrace la façon dont est générée l'observation présente  $y_t$  à partir de ses observations passées  $y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$ .

Il est dit autorégressif d'ordre p, et on le note AR(p), s'il vérifie une relation de la forme :

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t; \text{ pour tout } t \in \mathbb{Z}$$

Ou encore, en introduisant l'opérateur de décalage B tel que  $B^j y_t = y_{t-j}$ ;

$$\begin{aligned} y_t - \phi_1 y_{t-1} - \phi_2 y_{t-2} - \dots - \phi_p y_{t-p} &= \varepsilon_t \Leftrightarrow \\ y_t - \phi_1 B y_t - \phi_2 B^2 y_t - \dots - \phi_p B^p y_t &= \varepsilon_t \Leftrightarrow \\ (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) y_t &= \varepsilon_t \Leftrightarrow \\ \Phi(B) y_t &= \varepsilon_t \end{aligned}$$

Où  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  désignent les paramètres du modèle,  $(\varepsilon_t)$  est un bruit blanc et

$$\Phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p).$$

Un processus AR(p) peut aussi comporter un terme constant[2,4,6].

## 3.3 Processus de moyennes mobile : MA(q)

On appelle processus moyenne mobile (moving average) d'ordre q, noté MA(q), un processus vérifiant la relation :

$$y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}, \text{ pour tout } t \in \mathbb{Z}.$$

Ou encore, en introduisant l'opérateur retard B tel que  $B^j \varepsilon_t = \varepsilon_{t-j}$ ,

$$\begin{aligned} y_t &= \varepsilon_t - \theta_1 B^1 \varepsilon_t - \theta_2 B^2 \varepsilon_t - \dots - \theta_q B^q \varepsilon_t \\ &= \varepsilon_t (1 - \theta_1 B^1 - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \\ y_t &= \Theta(B) \varepsilon_t \end{aligned}$$

Où  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  désignent les paramètres du modèles.

$(\varepsilon_t)$  est un bruit blanc et  $\Theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ .

Contrairement aux processus AR(p), les processus MA(q) sont toujours des processus stationnaires puisque  $y_t$  s'écrit comme combinaison linéaire des  $\varepsilon_t$  [ 2,4,6].

### 3.4 Processus autorégressifs et de moyennes mobiles : ARMA(p,q)

On dit qu'une série  $y_t$  suis un processus ARMA d'ordre (p,q), si elle peut s'ecrire sous la forme :

$$y_t - \phi_1 y_{t-1} - \phi_2 y_{t-2} - \dots - \phi_p y_{t-p} = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

$$\Phi(B)y_t = \Theta(B)\varepsilon_t$$

**Remarque :** Les corrélogrammes et les corrélogrammes partiels sont par voie de conséquence un mélange des deux corrélogrammes des processus AR et MA purs.

### 3.5 Les processus ARIMA et SARIMA

Les séries chronologiques peuvent comporter une tendance et une saisonnalité, par conséquent l'utilisation du modèle ARMA est limité.

Dans le cas de présence d'une tendance, on peut l'enlever en faisant une différence première  $\nabla$ , si la série ne devient pas stationnaire on fait une différence seconde  $\nabla^2$ . Le modèle ARMA(p,q) devient le modèle ARIMA(p,d,q) qui s'écrit :

$$\Phi_p(B)\nabla^d y_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t$$

Avec :

- $\nabla^d$  : Opérateur de différence ordinaire de degré d ;
- $\Phi_p(B)$  : Polynôme autorégressif d'ordre p ;
- $\Theta_q(B)$  : Polynôme moyenne mobile d'ordre q.

Dans le cas de présence d'une saisonnalité de période s, on fait inclure le caractère saisonnier dans le modèle ARMA, on obtient le modèle SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)<sub>s</sub> qui s'écrit :

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1 - B)^d(1 - B^s)^D y_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)\varepsilon_t,$$

Où :

- $\phi_p(B)$  : Polynôme autorégressif ordinaire de degré  $p$  ;
- $\Phi_P(B^s)$  : Polynôme autorégressif saisonnier de degré  $P$  ;
- $\theta_q(B)$  : Polynôme moyenne mobile ordinaire de degré  $q$  ;
- $\Theta_Q(B^s)$  : Polynôme moyenne mobile saisonnier de degré  $Q$  ;
- $s$  : est la période de la saisonnalité.

### 3.6 Prévision par Box et Jenkins

Les modèles de prévision de Box Jenkins sont basés sur des concepts et principes statistiques et sont capables de modéliser le comportement d'un large spectre de séries chronologiques. Il existe une classe large de modèles et une approche systématique pour identifier la forme correcte du modèle. Des tests statistiques permettent de vérifier la validité du modèle et des mesures statistiques de vérifier la qualité de la prévision[12,15].

Le but sous-jacent est de trouver un modèle approprié de telle manière que les résidus soient aussi petits que possibles et ne présentent aucune forme usuel. Le processus de construction du modèle implique un petit nombre d'étapes, répétées autant de fois que nécessaires, pour terminer avec une formule qui reproduit aussi proche que possible le comportement de la série et produire aussi des prévisions fidèles.

Le modèle de Box et Jenkins permet de modéliser une série chronologique Par un modèle ARMA, ARIMA et SARIMA [5], en cinq étapes suivant cet organigramme :

#### • Analyse préliminaire

Après avoir examiné la présentation graphique de la série, on doit d'abord résoudre les difficultés qui se présente telles que les pics ou les observations suspectes. Ces difficultés peuvent être résolues comme suit :

- Corriger les données aberrantes ;
- Supprimer une partie des données au début de la série ;
- Procéder à une transformation de la série(transformation logarithmique, différenciation, inverse,...) ;
- Ajouter les données manquantes.

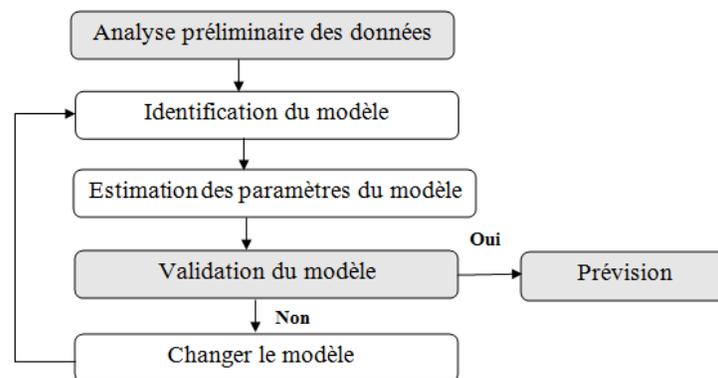


FIGURE 3.1 – Processus de modélisation.

- **Identification du modèle**

Cette étape consiste à répondre aux interrogations suivantes :

- ✓ Quel type de polynôme faut-il retenir : AR, MA, ARMA mixte ?
- ✓ Doit-on introduire un facteur saisonnier ?
- ✓ Quels sont les degrés des polynômes ?

À cette fin, nous examinons les corrélogrammes des différents types de processus. on peut résumer les critères de choix d'un modèle dans le tableau suivant[11] :

Modèle	Autocorrélation	Autocorrélation partielle
Bruit blanc	Nulle pour $k > 0$	Nulle pour $k > 0$
AR(p) : $\phi_p(B)y_t = \varepsilon_t$	Décroissance exponentielle et/ ou sinusoidale	Pics significatifs pour les p premiers retards, les autres coefficients sont nuls pour les retards $> p$
MA(q) : $y_t = \theta_q(B)\varepsilon_t$	Pics significatifs pour les q premiers retards, les autres coefficients sont nuls pour les retards $> q$	Décroissance exponentielle et/ ou sinusoidale
ARMA(p,q) : $\phi_p(B)y_t = \theta_q(B)\varepsilon_t$	Décroissance exponentielle ou sinusoidale amortie	Décroissance exponentielle ou sinusoidale amortie

TABLE 3.1 – Résumé des propriétés des fonctions d’autocorrélations simples et partielles.

• **Estimation des paramètres**

L’estimation des paramètres d’un modèle peut être vue comme étant un raffinement de l’analyse faite lors de l’étape d’identification. En effet, une fois les autocorrélations et autocorrélations partielles calculées et qu’un modèle de base (AR, MA, ou ARMA) a été choisi, l’estimation consiste à calculer les paramètres requis par le modèle en question et à discuter de leur qualité et de leur aptitude à modéliser la série donnée [11].

• **Validation du modèle**

Une fois les paramètres du modèle estimés, il faut vérifier l’adéquation de ce dernier. Cependant, il arrive que nous ayons le choix entre quelques modèles. On aura donc besoin de critères afin d’opter pour le modèle adéquat. La validation de ce modèle se fait à l’aide de plusieurs tests.

**a. Test concernant les paramètres du modèle :**

Lorsque les paramètres sont estimés, on teste s’ils sont significativement différents de zéro. Pour ce faire on utilise le test classique de Student [10].

Par exemple, pour un modèle MA(1) on teste :

$$H_0 : \theta = 0 \text{ contre } H_1 : \theta \neq 0$$

Ce test est basé sur la statistique t de Student donnée par :

$$t = \frac{|\hat{\theta}|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta})}$$

Où  $\hat{\theta}$  est l'estimateur de  $\theta$  et  $\hat{\sigma}(\hat{\theta})$  est l'estimateur de l'écart type associé à l'estimateur de  $\theta$ .

On montre que sous  $H_0$ ,  $t$  suit une loi de Student à  $(n-1)$  degré de liberté au niveau  $\alpha$  (en général 5%)

- Si  $t < t_{(n-1, \alpha)}$ ; on accepte  $H_0 \Rightarrow$  le coefficient  $\theta = 0$ .
- Si  $t > t_{(n-1, \alpha)}$ ; on rejette  $H_0 \Rightarrow$  le coefficient  $\theta \neq 0$ .

#### b. Test concernant le bruit blanc :

Ce test a pour but de vérifier si les résidus sont assimilables à un bruit blanc : c'est-à-dire reste-t-il de l'autocorrélation résiduelle ? On a alors à tester :

$H_0$  : "  $\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_\tau = 0$  " contre  $H_1$  : " au moins un  $\rho_i \neq 0, i = \overline{1, \tau}$  "

où  $\rho_i, i = \overline{1, h}$  représentent les autocorrélations.

Ce test est basé sur la statistique  $Q$  de Box et Pierce suivante :

$$Q = n \sum_{i=1}^k \hat{\rho}_i^2$$

, où  $\hat{\rho}_i$  est l'estimateur de  $\rho_i$

où :

$n$  : est la taille de la série ;

$k$  : est la partie entière de  $\min(\frac{n}{2}, 3\sqrt{n})$  [11] ;

$\hat{\rho}_i$  : est l'estimateur de l'autocorrélation résiduelle  $\rho_i$ .

Sous l'hypothèse  $H_0$  on a  $Q \rightarrow \chi_{(k-p-q, \alpha)}^2$ , où  $k-p-q$  étant le degré de liberté et  $\alpha$  est le niveau de signification du test (en général on prend  $\alpha = 5\%$ ), donc on a :

- ◇ Si  $Q < \chi_{(k-p-q, \alpha)}^2$ ; on accepte  $H_0$  (les  $\varepsilon_t$  sont liés).
- ◇ Si  $Q > \chi_{(k-p-q, \alpha)}^2$ ; on rejette  $H_0$  (les  $\varepsilon_t$  sont indépendants).

**Remarque** : Comme les propriétés à distance finie de  $Q$  restent, même pour  $n$  relativement grand, assez différentes des propriétés asymptotique, Box et Ljung ont proposé une statistique modifiée visant à tenir compte de cette différence. Cette statistique est définie par [2] :

$$Q' = n(n+2) \sum_{i=1}^k \frac{\hat{\rho}_i^2}{n-i}$$

Sous l'hypothèse  $H_0$  on a  $Q' \rightarrow \chi^2_{(k-p-q,\alpha)}$ , où  $k-p-q$  étant le degré de liberté et  $\alpha$  est le niveau de signification du test (en général on prend  $\alpha = 5\%$ ). La règle de décision est la suivante :

- ◇ Si  $Q' < \chi^2_{(k-p-q,\alpha)}$  ; on accepte  $H_0$  (il ne reste d'autocorrélation résiduelle).
- ◇ Si  $Q' > \chi^2_{(k-p-q,\alpha)}$  ; on rejette  $H_0$ .

### 3.7 Prévision

Cette ultime étape de la méthode de Box-Jenkins est la finalité de tout modèle d'analyse prévisionnelle. La prévision se fait par l'utilisation de l'équation développée et vérifiée lors des précédentes étapes [3] :

$$z_t = C + \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$$

où :

$$C = \mu \left( 1 - \sum_{i=1}^n \phi_i \right)$$

et

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n z_t$$

### Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un bref aperçu sur quelques notions de base de prévision. Pour plus de détails sur ces notions, le lecteur peut se référer à [6,16].

La méthode de Box et Jenkins est adaptée au cas des prévisions à long, moyen et court terme, et elle possède une base mathématique plus solide. C'est pour cela que pour nos prévisions nous allons faire appel en premier lieu à la méthode de Box et Jenkins.

## Chapitre 4

### *Prévision de la demande*

# Chapitre 4

## Prévision de la demande

### Introduction

L'idéal pour une entreprise lors de la prise des décisions relatives à son bon fonctionnement et à la bonne gestion de production est de s'appuyer sur un système de prévision fiable[1].

Dans ce chapitre nous utiliserons les prévisions pour estimer la variable demande, tout en prenant en considération les particularités du système de production de l'entreprise. Nous avons utilisé les modèles de Box et Jenkins, pour déterminer les prévisions de ventes du produit choisis sur une durée de 12 mois.

L'intérêt de l'approche de Box et Jenkins, d'après Bresson et Pirotte, est qu'une modélisation ARMA conduit à des prévisions optimales puisque la variance d'erreur de prévision est minimale. Autrement dit, aucun autre modèle standard ne peut délivrer des prévisions avec une erreur de prévision aussi faible[13].

### 4.1 Présentation des produits étudiés

L'entreprise Général Emballage produit une variété de produits, dans notre travail nous sommes intéressés essentiellement aux caisses américaines qui existent en plusieurs types et formes selon la nature du produit contenu, le modèle pris en compte dans notre étude est les caisses américaines : Maxon Caramel.

## 4.2 Récolte des données

Les données relatives aux ventes du produit étudié (Caisse Américaine : Maxon Caramel) de l'entreprise ont été recueillies au niveau de la direction commerciale de l'entreprise. Les séries chronologiques représentent les quantités mensuelles vendues pour la caisse de janvier 2012 jusqu'à décembre 2015. L'unité de mesure considérée est la tonne et ces quantités sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Période	2012	2013	2014	2015
Janvier	10000	11000	12000	14200
Février	9000	9600	9000	11000
Mars	11000	10600	108000	15000
Avril	11500	12000	10000	20000
Mai	10000	14000	13800	126000
Juin	16000	9000	9000	11900
Juillet	17000	17000	19800	10300
Août	17000	18000	18000	11300
Septembre	13000	180000	18000	10900
Octobre	13000	14000	15000	13800
Novembre	10000	12000	13000	15000
Décembre	9000	10000	10200	10000

TABLE 4.1 – Historique des ventes mensuelles(en tonnes) Janvier 2012/ Décembre 2015 de la Caisse Américaine : Maxon Caramel

## 4.3 Modélisation statistique de la série des ventes de la caisse Maxon Caramel

### 4.3.1 Analyse préliminaire des données

La figure(4.1) décrit l'évolution des ventes de la caisse Maxon Caramel entre 2012 et 2015, soit 48 observations(voir tableau(4.1)).La moyenne et la variance de la série sont respectivement égales à  $\bar{y} = 12839.58$  et  $\hat{\sigma}_y = 9892230$ .

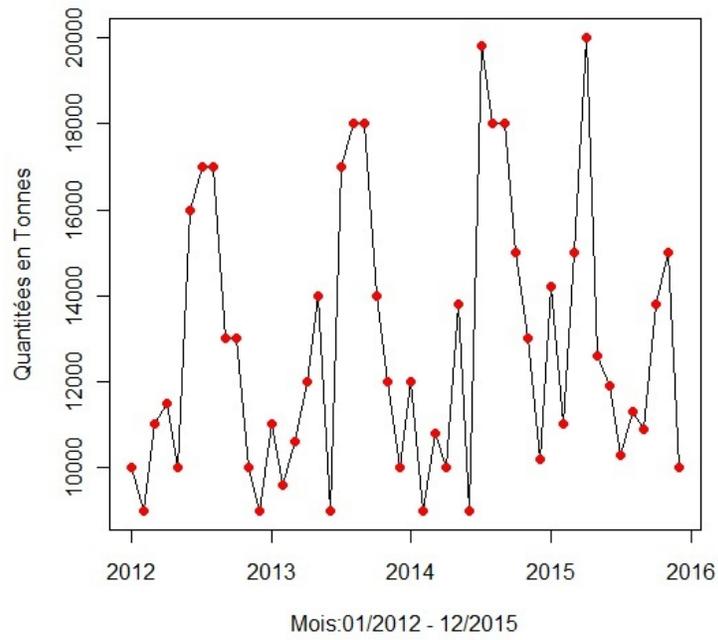


FIGURE 4.1 – Graphe de la série originale : la Caisse Américaine Maxon Caramel ( $y_t$ )

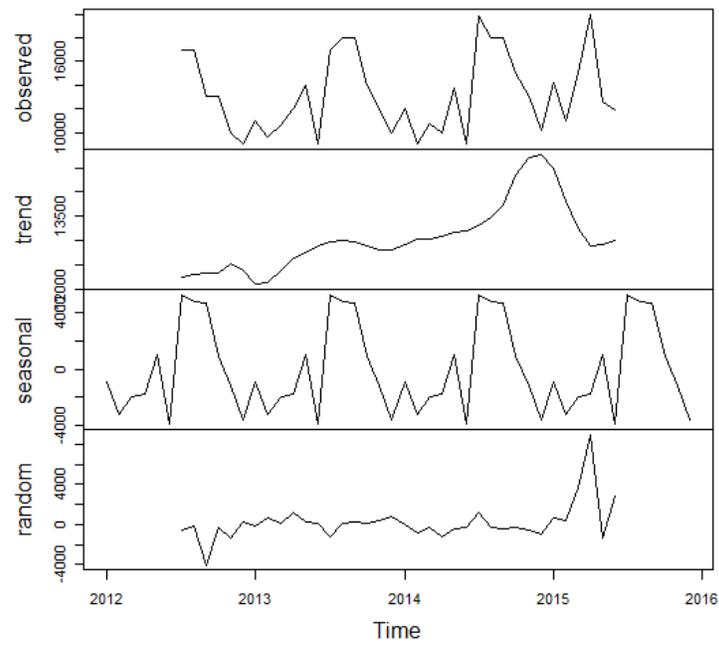


FIGURE 4.2 – Graphe de la série originale ainsi ses différentes composantes

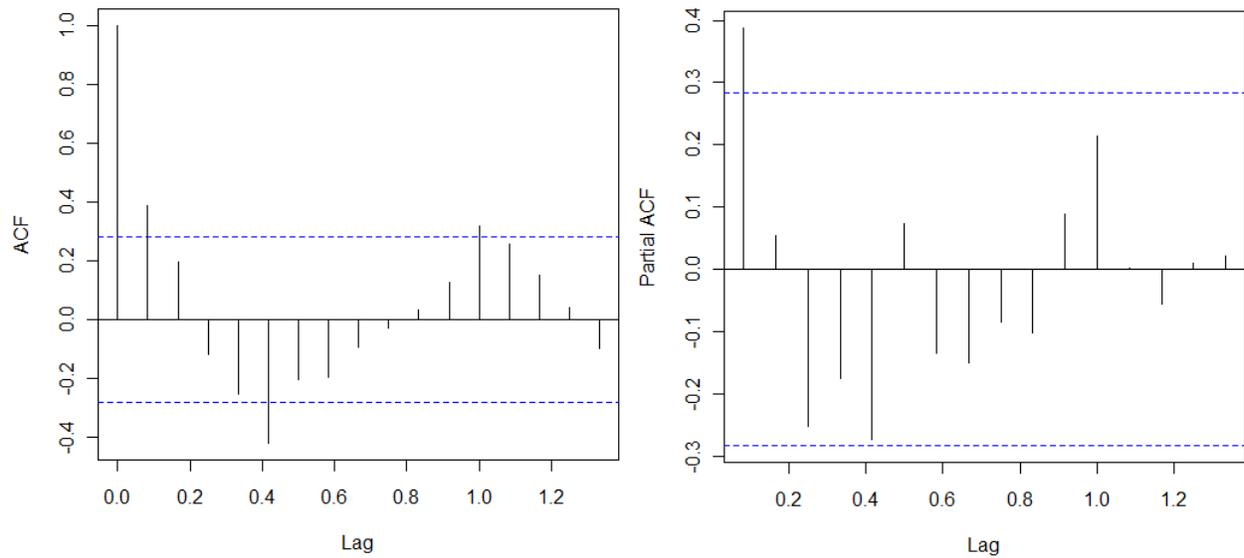


FIGURE 4.3 – Corrélogramme et corrélogramme partiel de la série originale

L'examen du graphe (4.1) de la série, met en évidence une tendance en moyenne. On applique donc une différence d'ordre 1 pour l'enlever. Une transformation logarithmique est aussi appliquée afin de réduire le manque d'homogénéité de cette série .

La série présente visiblement une saisonnalité de période 12. On applique un filtre saisonnier pour éliminer la saisonnalité.

### 4.3.2 Identification du modèle

Le graphe de la nouvelle série ainsi transformée est le suivant :

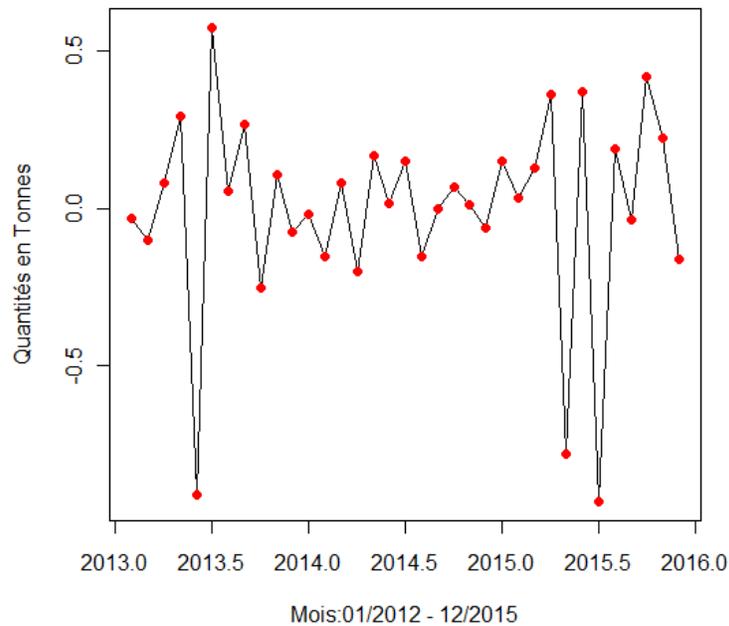


FIGURE 4.4 – Graphe de la série avec application d'une tendance d'ordre 1, une transformation log et un filtre saisonnier.

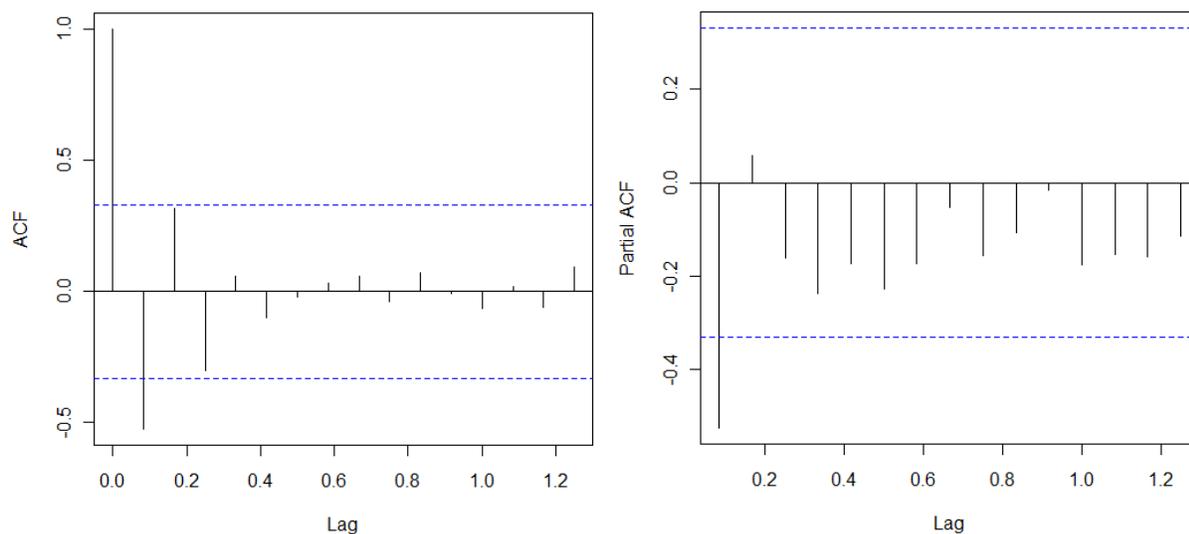


FIGURE 4.5 – Corrélogramme et corrélogramme partiel de la série transformée

L'analyse des coefficients de corrélations (corrélogramme) et d'autocorrélation partielles (corrélogramme partiel) : Figure (4.5) de la série à laquelle on a appliquée la transformation logarithmique, un filtre différence première  $\nabla = 1 - B$  non saisonnier et un filtre saisonnier  $\nabla_{12} = 1 - B^{12}$ , fait apparaître les pics significatifs de retard 1 et 2 pour les autocorrélations et un pic significatif de retard 1 pour l'autocorrélation partiel. Pour ces raisons, on peut proposer comme modèle possible un SARIMA  $(1, 1, 2)(0, 1, 0)_{12}$ . le modèle va donc s'écrire sous la forme :

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{12}) \log y_t &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t \\ (1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{12}) z_t &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t, \end{aligned}$$

$z_t = \log y_t$ ,  $y_t$  : étant la série originale.

### 4.3.3 Estimation des paramètres

L'estimation des paramètres du modèle à l'aide du logiciel **R** donne :

$$\hat{\phi}_1 = -0.7072, \quad \hat{\sigma}(\hat{\phi}_1) = 0.2972$$

$$\hat{\theta}_1 = 0.2633, \quad \hat{\sigma}(\hat{\theta}_1) = 0.3032$$

$$\hat{\theta}_2 = -0.0739, \quad \hat{\sigma}(\hat{\theta}_2) = 0.3888$$

On constate que les conditions de stationnarité  $|\hat{\phi}_1| < 1$ ,  $|\hat{\theta}_1| < 1$ ,  $|\hat{\theta}_2| < 1$ , sont vérifiées.

### 4.3.4 Validation du modèle

– **Tests sur les coefficients du modèle :**

Tests de  $H_0$  "  $\phi_1 = 0$  " contre  $H_1$  "  $\phi_1 \neq 0$  ". Ce test est basé sur la statistique

$$t_1 = \frac{|\hat{\phi}_1|}{\hat{\sigma}(\hat{\phi}_1)} \rightarrow t_{(n-3, \frac{\alpha}{2})}$$

Sa réalisation  $t_1 = \frac{|-0.7072|}{0.2972} = 2.3795 > t_{(45, 0.025)} = 1.96$ . Par conséquent, on rejette l'hypothèse  $H_0$ , cet estimateur est significatif.

Tests de  $H_0$  "  $\theta_1 = 0$  " contre  $H_1$  "  $\theta_1 \neq 0$  ". Ce test est basé sur la statistique

$$t_2 = \frac{|\hat{\theta}_1|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta}_1)} \rightarrow t_{(n-3, \frac{\alpha}{2})}$$

Sa réalisation  $t_2 = \frac{|0.2633|}{0.3032} = 0.8684 < t_{(45, 0.025)} = 1.96$ . Par conséquent, on accepte l'hypothèse  $H_0$ , cet estimateur n'est pas significatif.

Tests de  $H_0$  "  $\theta_2 = 0$  " contre  $H_1$  "  $\theta_2 \neq 0$  ". Ce test est basé sur la statistique

$$t_3 = \frac{|\hat{\theta}_2|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta}_2)} \rightarrow t_{(n-3, \frac{\alpha}{2})}$$

Sa réalisation  $t_3 = \frac{|-0.0739|}{0.3888} = 0.1901 < t_{(45, 0.025)} = 1.96$ . Par conséquent, on accepte l'hypothèse  $H_0$ , cet estimateur n'est pas significatif.

Ce modèle SARIMA  $(1, 1, 2)(0, 1, 0)_{12}$  ne correspond donc à cette série de fait qu'on a accepté les deux hypothèses  $H_0$  "  $\theta_1 = 0$  " et  $H_0$  "  $\theta_2 = 0$  " .

Après avoir essayer plusieurs paramètres, on a optée pour les paramètres suivants : SARIMA  $(0, 1, 1)(0, 1, 0)_{12}$  qui s'écrit sous la forme suivante :

$$(1 - B)(1 - B^{12})Z_t = (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$$

$z_t = \log y_t$ ,  $y_t$  : étant la série originale.

L'estimation de paramètre du modèle à l'aide du logiciel **R** donne :

$$\hat{\theta}_1 = -0.9999, \quad \hat{\sigma}(\hat{\theta}_1) = 0.3139$$

On constate que la condition de stationnarité  $|\hat{\theta}_1| < 1$  est vérifiée.

– **Test sur le coefficient du modèle**

Tester  $H_0$  "  $\theta_1 = 0$  " contre  $H_1$  "  $\theta_1 \neq 0$  ". Ce test est basé sur la statistique

$$t_1 = \frac{|\hat{\theta}_1|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta}_1)} \rightarrow t_{(n-3, \frac{\alpha}{2})}$$

Sa réalisation  $t_1 = \frac{|-0.9999|}{0.3139} = 3.1854 > t_{(45, 0.025)} = 1.96$ . Par conséquent, on rejette l'hypothèse  $H_0$ , cet estimateur est significatif.

– **Test sur les résidus :**

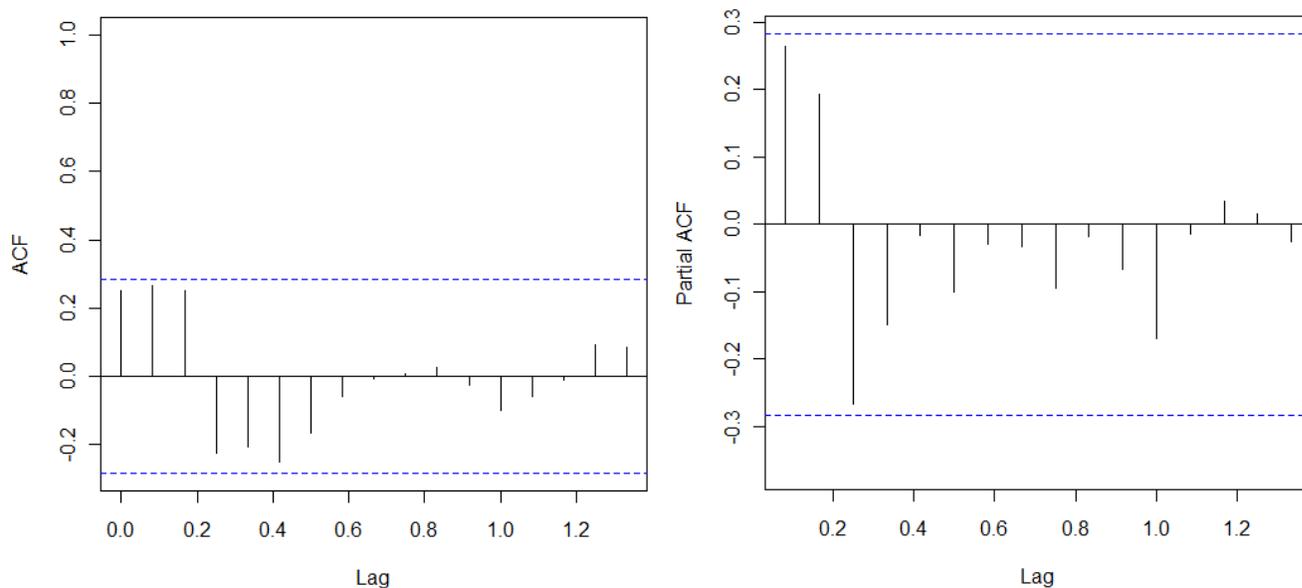


FIGURE 4.6 – Corrélogramme et corrélogramme partielle des résidus

A présent, nous avons vérifié que tous les estimateurs sont significatifs, alors le modèle sera conservé, si les résidus peuvent être considérés comme un bruit blanc ainsi qu'en témoignent le comportement des autocorrélations et des autocorrélations partielles de la

figure (4.6) qui sont tous inclus dans l'enveloppe. Cette constatation est confirmée par le test de Box et Ljung dont la réalisation de la statistique  $Q'$  sur l'hypothèse de la nullité des 20 premiers coefficients de corrélation des résidus est :

$$Q' = n(n+2) \sum_{i=1}^{20} \frac{\hat{\rho}_i^2}{n-i} = 21.7836$$

$Q' = 21.7836 < \chi_{(19;0.05)}^2 = 30.144$ . On accepte l'hypothèse que les résidus forment un processus bruit blanc.

Finalement le modèle va s'écrire :

$$z_t = z_{t-1} + z_{t-12} - z_{t-13} + \varepsilon_t + 0.999\varepsilon_{t-1}$$

$z_t = \log y_t$ ,  $y_t$  : étant la série originale.

### 4.3.5 Prévision

Les valeurs prévues pour l'année 2016 sont calculées en utilisant la formule

$$\hat{y}_T = \exp(\hat{z}_T(\tau)), T = 2016, \tau = 1, \dots, 12.$$

Les valeurs obtenus à l'aide logiciel R sont données dans tableau (4.2) et elles sont représentées sur la figure suivante :

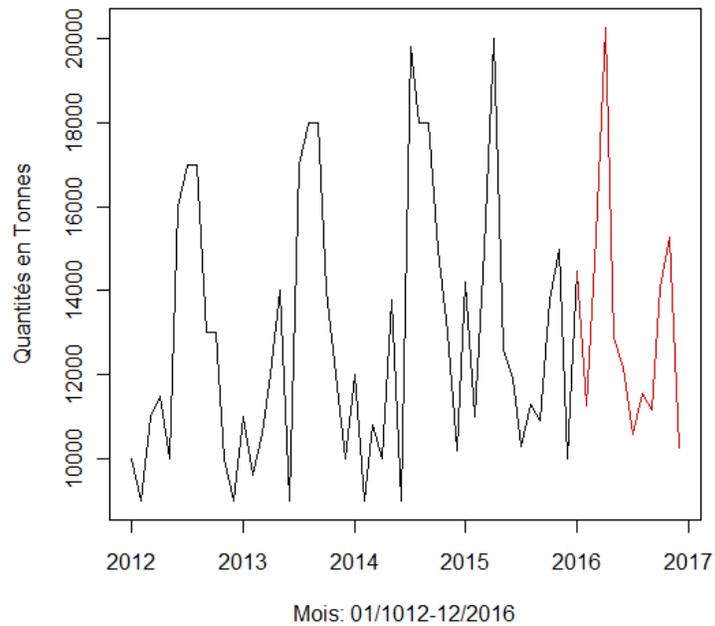


FIGURE 4.7 – Prévisions des ventes pour 2016 : la Caisse Américaine : Maxon Caramel

### 4.3.6 Etude comparative

En dehors des validations fondamentales des modèles de la demande il est justifié aussi de comparer les résultats donnés par le modèle, les prévisions dans notre cas avec les données réelles des ventes collectées (voir les tableaux (4.2),(4.3)) on dispose comme données utile les cinq premiers mois de l'année 2016 dont les ventes réelles, les prévisions conçues par Général Emballage et nos propres prévisions.

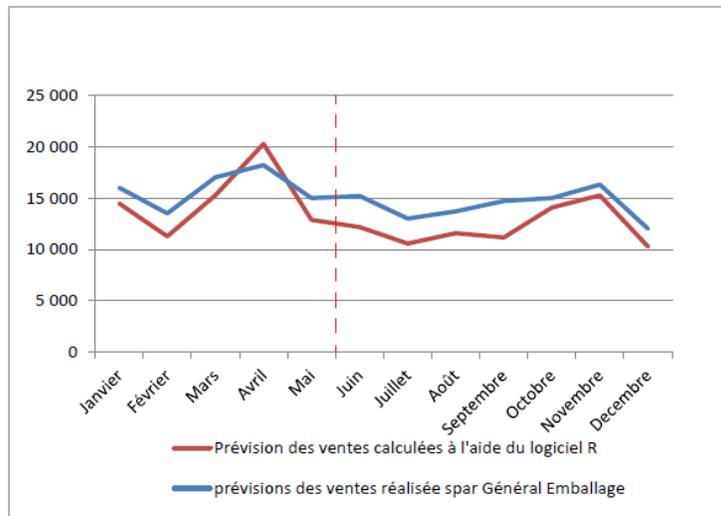


FIGURE 4.8 – Graphe des prévisions des ventes de la Caisse Américaine : Maxon Caramel de l’année 2016

Produit/mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Caisse Améric	14464	11263	15263	20263	12863	12163	10563	11563	11163	14063	15263	10263

TABLE 4.2 – Prévisions des ventes de la Caisse Américaine : Maxon Caramel calculées à l’aide du logiciel R de l’année 2016.

Produit/mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Caisse Améric	16000	13500	17000	18200	15000	15200	13000	13700	14700	15000	16300	12000

TABLE 4.3 – Les ventes réelles ainsi que les prévisions de la Caisse Américaine : Maxon Caramel réalisées par Général Emballage de l’année 2016.

A partir de la figure (4.8), on constate :

Des écarts importants entre les deux courbes en termes d’amplitude. Cependant l’allure de nos prévisions sont assez proche des ventes enregistrées par l’entreprise Général Emballage.

Un écart très important pendant la période juin et juillet et cela, on peut le justifié par le mois de ramadan et même y à un écart vers la fin du troisième trimestre à cause du manque de commande vu que toutes les entreprises font leurs inventaires de fin d’année.

## Conclusion

Dans ce chapitre on a appliquées un modèle de prévision sur un cas pratique. La série a été modélisée par la méthodes de Box et Jenkins reconnus pour sa rigueur mathématique.

Lors de la modélisation on a testé plusieurs modèles de type SARIMA, le dernier ajuste mieux la série qui nous a servi aux calculs des prévisions des ventes de la Caisse Américaine : Maxon Caramel pour l'année 2016 et de les comparées aux données réelles.

Les prévisions des ventes du produit fini étudié sur une période de 12 mois a été calculé à l'aide du logiciel R.

## *Chapitre 5*

### *Application de MRP à l'entreprise Général Emballage*

# Chapitre 5

## Application de MRP à l'entreprise Général Emballage

### Introduction

Dans le présent chapitre, nous nous sommes intéressées à l'application de la méthode MRP afin de calculer les besoins nets de chaque composant de l'un des produits commercialisés par l'entreprise Général Emballage ( Caisse Américaine : Maxon Caramel) et de prévoir les Ordres d'Achat et de Fabrication, ensuite nous avons entamé la mise à jour des ordres deancements afin d'éviter les surcharges de la production.

### 5.1 Différentes étapes de M.R.P

#### 5.1.1 Données nécessaires en entrées

##### 1. Les prévisions :

Pour établir le plan directeur de production, et vu l'absence de commande ferme, on a utilisé les prévisions de ventes du produit fini sur une durée de douze mois. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (5.1) suivant :

Niveau 0												
Caisse Américaine MC	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Ordre de lancement(Kg)	1446400	1126300	1526300	2026300	1286300	1216300	1056300	1156300	1116300	1406300	1526300	1026300

FIGURE 5.1 – Ordres de lancement de la Caisse Américaine : Maxon Caramel

## 2. La nomenclature :

Il est nécessaire de connaître la description détaillée des éléments constituant la caisse Maxon Caramel. Ainsi, la fabrication de cette dernière comporte des dizaines de composants.

En utilisant les données de l'entreprise, nous avons construit, sa nomenclature adéquate sous forme arborescente. Pour chaque composant de la nomenclature, on a introduit tous les éléments qui la constituent : composés, matières, coefficients, le niveau de chaque composant ou composé et l'unité de mesure du composant. Une nomenclature comprend plusieurs niveaux. Par convention, on attribue au produit finis le niveau 0.

A chaque décomposition, on passe du niveau  $n$  au niveau  $n+1$ . La construction que nous proposons pour la nomenclature d'une caisse américain Maxon Caramel est représentée par la figure (5.2). La nomenclature proposée possède quatre niveau (niveau 0, 1, 2 et 3). Le niveau 0 présente le produit fini en question c'est-à-dire une caisse américaine Maxon Caramel, la fabrication de cette dernière nécessite l'utilisation d'une plaque cannelure 'c' et 0.0038kg d'encre (articles de niveau 1) ce dernier contient 5kg de couleur cyan, 4kg de noir et 10 kg de pantom u32, et la plaque de cannelure possédé trois type de papier, comportant ainsi 0.043kg/m<sup>2</sup> de papier Test Blanc qui est utiliser pour la face extérieure et 0.057 kg/m<sup>2</sup> papier Fluting pour la cannelure c et enfin 0.043 kg/m<sup>2</sup> de papier Kraft Ecu pour la face intérieure qui sont collée à l'aide de 0.018 kg/m<sup>2</sup> de colle (article de niveau 2 ), la colle à son tour est aussi composer de 0.0024 kg d'amidon, 0.00002 de boraxe et 0.00004 de soude (article de niveau 3).

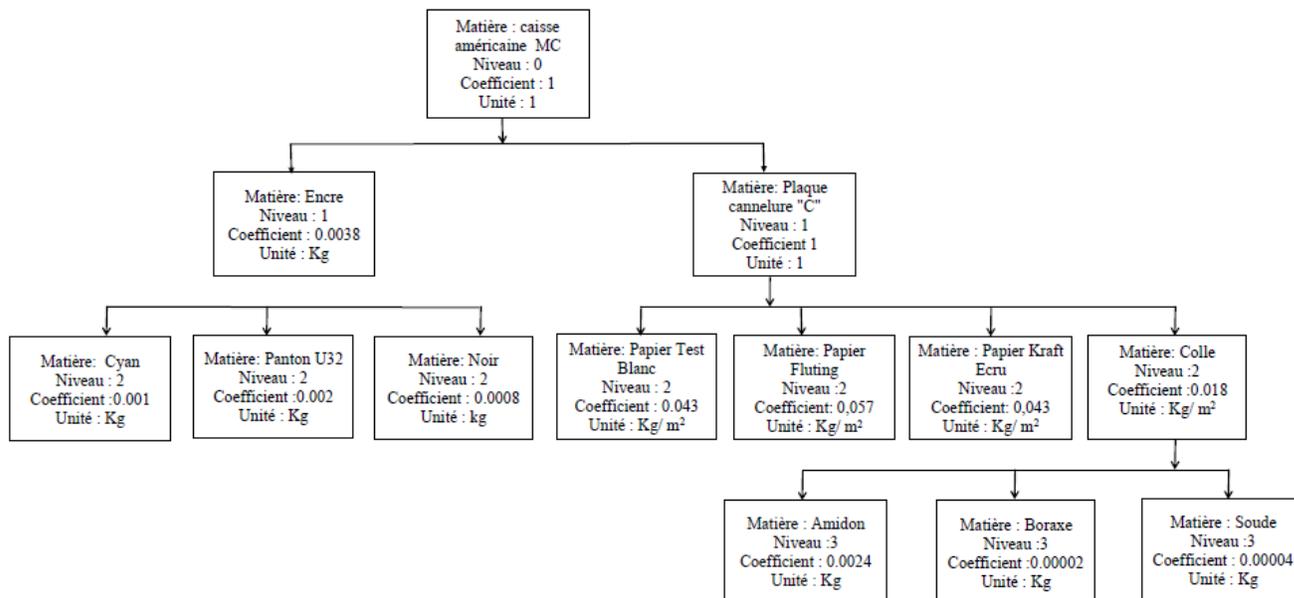


FIGURE 5.2 – Construction de la nomenclature de la caisse américaine : Maxon Caramel

### 5.1.2 Détermination des besoins nets d'un composant

**Au niveau 0 :** Les lancements programmés sont déterminés conformément à la prévision des ventes calculés précédemment.

On suppose qu'au niveau zéro, il y'a pas de stock initial ni de livraison attendue. On fait du lot par lot, on met en production exactement la demande.

Dans les niveaux qui suit c'est-à-dire (Niveau 1,2 et 3) on détermine les besoins bruts, besoins nets et l'ordre de fabrication ou d'achat de chaque composant.

Niveau 1													
Plaque cannelure "C"	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		1446400	1126300	1526300	2026300	1286300	1216300	1056300	1156300	1116300	1406300	1526300	1026300
Livraisons attendues		400000	300000	460000	700000	600000	400000	300000	350000	620000	800000	740000	300000
Stock final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Besoins nets		1046400	826300	1066300	1326300	686300	816300	756300	806300	496300	606300	786300	726300
Ordre de Fabrication		1446400	1126300	1526300	2026300	1286300	1216300	1056300	1156300	1116300	1406300	1526300	1026300

TABLE 5.1 – Resultats des besoins nets de la Plaque Cannelure 'C', stocks en fin de chaque période et lancement de production

Niveau 2													
Papier Test Blanc	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		62195,2	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	34623,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Besoins nets		27571,3	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9
Ordre d'achat	27571,3	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9	0

Papier Fluting	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		82444,8	64199,1	86999,1	115499,1	73319,1	69329,1	60209,1	65909,1	63629,1	80159,1	86999,1	58499,1
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	28742,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Besoins nets		53702,1	64199,1	86999,1	115499,1	73319,1	69329,1	60209,1	65909,1	63629,1	80159,1	86999,1	58499,1
Ordre d'achat	53702,1	64199,1	86999,1	115499,1	73319,1	69329,1	60209,1	65909,1	63629,1	80159,1	86999,1	58499,1	0

Papier Kraft Ecu	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		62195,2	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	15974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Besoins nets		46221,2	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9
Ordre d'achat	46221,2	48430,9	65630,9	87130,9	55310,9	52300,9	45420,9	49720,9	48000,9	60470,9	65630,9	44130,9	0

TABLE 5.2 – Résultats des besoins nets des différents types de Papiers (Test Blanc, Kraft Ecu et Fluting), stocks en fin de chaque période et l'ordre d'achat

Colle	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		26035,2	20273,4	27473,4	36473,4	23153,4	21893,4	19013,4	20813,4	20093,4	25313,4	27473,4	18473,4
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Besoins nets		26035,2	20273,4	27473,4	36473,4	23153,4	21893,4	19013,4	20813,4	20093,4	25313,4	27473,4	18473,4
Ordre de fabrication		26035,2	20273,4	27473,4	36473,4	23153,4	21893,4	19013,4	20813,4	20093,4	25313,4	27473,4	18473,4

TABLE 5.3 – Résultats des besoins nets de la Colle , stocks en fin de chaque période et l'ordre de fabrication

Niveau 3													
Amidon	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		62,48448	48,65616	65,93616	87,53616	55,56816	52,54416	45,63216	49,95216	48,22416	60,75216	65,93616	44,33616
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	10 260	10197,516	10148,859	10082,923	9995,387	9939,8189	9887,2747	9841,6426	9791,6904	9743,4662	9682,7141	9616,7779	9572,4418
Besoins nets		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordre d'achat		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bouraxe	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		0,520704	0,405468	0,549468	0,729468	0,463068	0,437868	0,380268	0,416268	0,401868	0,506268	0,549468	0,369468
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	15370	15369,479	15369,074	15368,524	15367,795	15367,332	15366,894	15366,514	15366,097	15365,696	15365,189	15364,64	15364,27
Besoins nets		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordre d'achat		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Soude	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Besoins Bruts		1,041408	0,810936	1,098936	1,458936	0,926136	0,875736	0,760536	0,832536	0,803736	1,012536	1,098936	0,738936
Livraisons attendues		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock final	13374	13372,959	13372,148	13371,049	13369,59	13368,664	13367,788	13367,027	13366,195	13365,391	13364,379	13363,28	13362,541
Besoins nets		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordre d'achat		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLE 5.4 – Résultats des besoins nets de Amidon, Borax et Soude, stocks en fin de chaque période et l'ordre d'achat

### Résultats de gestion des composants de la caisse américaine

Les composants en question sont : La plaque cannelure 'C', Papier Test Blanc, la colle et L'amidon. L'ensemble des besoins mensuels correspondants à ces composants ainsi que leurs stocks relatifs à la date de ces besoins sont représentés par les graphes des figures suivantes :

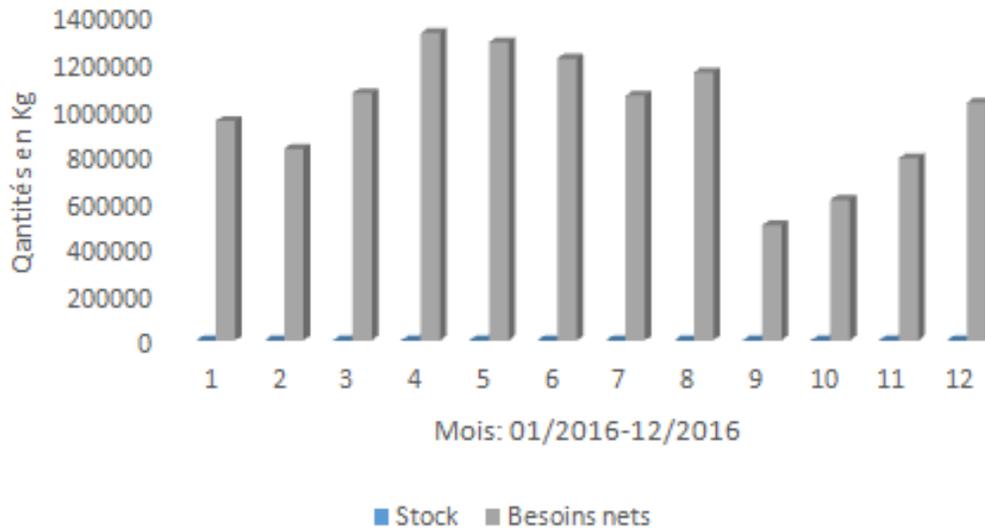


FIGURE 5.3 – Besoins et stocks du la plaque cannelure 'C'

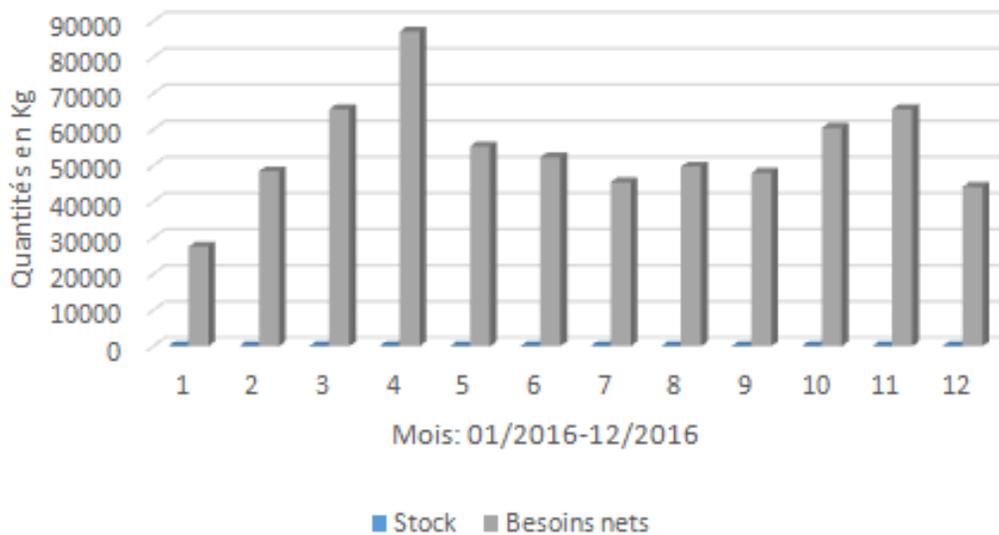


FIGURE 5.4 – Besoins et stocks du Papier Test Blanc

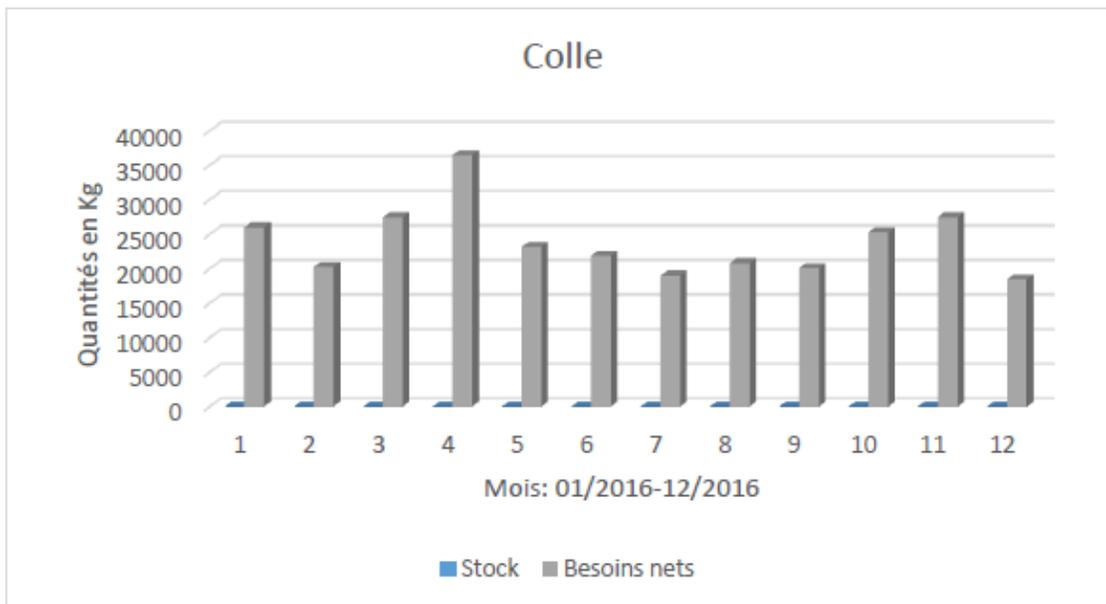


FIGURE 5.5 – Besoins et stocks de la Colle

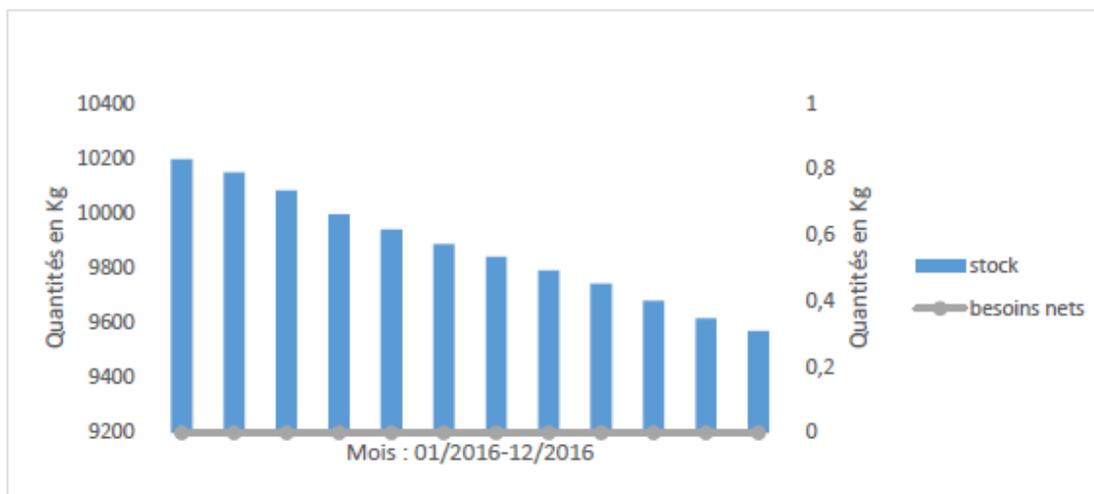


FIGURE 5.6 – Besoins et stocks de L'Amidon

### 5.1.3 Interprétation des résultats

Les résultats obtenus nous ont permis de constater que certains composants (03 composants) n'ont aucun ordre de fabrication ou d'achat tout le long de l'année 2016. Les composants concernés sont : l'amidon, le boraxe et le soude ceci est justifié par la quantité considérable gardée en stock.

Comme il existe aussi certaines composantes (3 composants : Papier Fluting, Test Blanc et le Kraft E cru) qui possèdent des quantités en stock importantes mais qui ont des ordres d'achat qui est lancer à chaque fin du mois cela revient au fait que le papier est la principale matière première pour la fabrication non seulement du produit fini mis à l'études mais aussi pour tous les autres produits fabriqués par l'entreprises (autrement dit manière le papier est utiliser en très grande quantité).

Les autre composants (2 composant : la colle et les plaques de cannelure c) leur stock avant la période de gestion. 12/2015 est relativement nul. Par conséquent, pour chaque mois de l'année 2016 un ordre de fabrication sera impérativement lancé, du moment que tous les demande en produits fini sont non nulles.

Le papier test blanc possède un stock initial de 34623.9 Kg, alors que le besoin brut en ce composant pour le mois de janvier est de 62195.2 kg, alors un ordre d'achat de 27571.3 kg de papier test blanc sera automatiquement lancer pour le mois de décembre. Ainsi le stock sera nul à partir du mois de janvier, pour chaque mois (01/2016 jusqu'à 11/2016), un ordre d'achat sera obligatoirement lancé.

La colle ne possède aucun stock initial et le besoin brut en ce composant pour le mois de janvier est de 26035.2kg, alors un ordre de fabrication de 26035.2kg est lancé durant le même mois, cela revient au fait que la colle est rapidement périssable pour cela elle est fabriquée en quantité nécessaire. Pour le composant Amidon, durant toute l'année 2016 il y aura aucun ordre d'achat. Cela s'explique par le fait que la quantité en stock d'amidon est suffisamment importante et correspond assez bien aux besoins de la caisse américaine.

## 5.2 L'ajustement charge-capacité (MRP2)

Lorsque les lancements de production sont déterminés, on peut calculer les charges (nombres de caisses américaines) résultantes . Pour que ce plan de production soit réalisable, il faut que la charge résultante respecte les capacités de production. Si ce n'est pas le cas, un ajustement « charge-capacité » est effectué.

Jusqu'à présent, nous avons raisonné comme si la capacité de production était infinie, c'est-à-dire que nous avons procédé au calcul des ordres de lancement sans nous préoccuper de leur réalisabilité au regard de la capacité disponible. Il convient donc dans un premier temps

de calculer la charge qu'impliquent ces derniers et de la confronter à cette capacité disponible. Pour illustrer le raisonnement, on va supposer qu'il n'y a pas de problème de capacité aux niveaux de nomenclature 1,2 et 3 et l'on va considérer uniquement l'article du niveau 0 (le produit fini :Caisse Américaine Maxon Caramel), qui nécessitent un passage sur le poste d'usinage pour leur fabrication. Les composants des autres niveaux étant achetés, ils ne génèrent pas de charge sur ce poste d'usinage.

### Traitement des données :

Le traitement des données pour le calcul de la méthode MRP2 à était effectué comme suite :

$$\text{Nombre de caisse/mois} = \frac{\text{Quantité de caisses vendus/mois}}{\text{poid d'une caisse}}$$

sachant que une caisse américaine mesure 0.125 kg.

Les quantités de caisses vendus par mois sont représenté dans la tableau(5.1).

Exemple :

$$\begin{aligned} \text{nombre de caisse au mois de janvier} &= \frac{1446400}{0.125} \\ &= 11571200 \end{aligned}$$

on a aussi comme donnée la capacité de production de la machine qui est de 20000 caisse par heure(C/h), alors sa capacité durant un mois est calculé comme suite :

$$20000 * 24 * 30 = 14400000 \text{ Caisse/mois}$$

Le suivi des charges est représenté dans le tableau suivant :

	Nombre de caisse	Capacité(C/h)	Excédent	Lissage	Ajustement
Janvier	11571200	14400000	2828800		11571200
Février	9010400	14400000	5389600		9010400
Mars	12210400	14400000	2189600	+1810400	14020800
Avril	16210400	14400000	-1810400	-1810400	14400000
Mai	10290400	14400000	4109600		10290400
Juin	9730400	14400000	4669600		9730400
Juillet	8450400	14400000	5949600		8450400
Août	9250400	14400000	5149600		9250400
Septembre	8930400	14400000	5469600		8930400
Octobre	11250400	14400000	3149600		11250400
Novembre	12210400	14400000	2189600		12210400
Décembre	8210400	14400000	6189600		8210400

TABLE 5.5 – Lancement de production après l'ajustement au niveau 0.

### 5.2.1 Interprétation des résultats

On constate qu'au mois d'avril on a un excès en capacité de 1810400 caisses, qu'il est possible de résoudre en faisant un transfert d'activité c'est-à-dire reporter la production au mois de mars, vu que on a un excédent de capacité suffisant durant ce dernier.

On analysant les excédents on remarque que à part le déficit du mois d'avril la capacité de production chez l'entreprise est assée élevée, alors l'entreprise peut fabriquer plus.

## Conclusion

La méthode MRP a été appliquée dans le but de gérer et de calculer les besoins nets pour chaque composant de la Caisse Américaine Maxon Caramel. Ainsi, les prévisions déjà obtenues pour le produit fini étudié sont utilisées dans le calcul des besoins. Pour cela une nomenclature adéquate a été élaborée. Cette dernière contient toutes les informations (niveau, coefficient, article et unité) nécessaires pour entamer le calcul des besoins nets. Pour chaque composant, nous avons déterminé, en utilisant la méthode MRP, les ordres de fabrication pour les composants fabriqués, ainsi que le lancement de l'ordre d'achat pour les composants achetés.

Dans cette étude, nous avons amélioré la gestion de stocks des matières premières en obtenant les ordres de fabrication, les ordres d'achat et les besoins nets permettant d'avoir le zéro stock à la fin de chaque période (mois), pour tous les composants du produit fini utilisées par l'entreprise.

## *Conclusion générale et perspectives*

# Conclusion générale et perspectives

La gestion de la production constitue l'ensemble des procédures, systèmes et activités participant, au sein de l'entreprise, à la planification des ressources humaines, matérielles et financières, à la distribution des tâches, au contrôle rigoureux de l'ensemble des opérations de production entrepreneuriales.

La gestion de la production organise les processus, gère les flux (poussés, tirés, tendus) et supervise les stocks. Bien que les types de gestion de la production varient selon les organisations, l'objectif majeur commun est presque toujours le même : l'approche maximum des cinq zéros (zéro stock, zéro papier, zéro délai, zéro panne, zéro défaut).

Une méconnaissance des différents paramètres de gestion, au sein de n'importe quelle entreprise peut lui être préjudiciable. Donc une bonne planification des besoins en composants nécessite une précision des données du plan de production, des nomenclatures, des gammes de fabrication, de stocks et des en-cours[14].

Dans notre projet, nous avons appliqué des méthodes de recherche opérationnelle pour gérer rationnellement la production, suite à une gestion adéquate des matières premières.

Dans un premier temps, nous avons effectué une étude prévisionnelle d'un produit fini de l'entreprise Général Emballage, afin d'estimer la demande en ce produit. Ainsi nous avons entamé cette partie prévisionnelle en utilisant la méthode de Box et Jenkins. Le choix de cette méthode est motivé par le fait qu'elle offre de meilleures estimations.

Dans la deuxième partie, nous avons appliqué la méthode MRP dans le but de gérer et de calculer les besoins nets des composants du produit fini étudié en utilisant les prévisions déjà obtenus ainsi que la nomenclature établie qui contient toute les informations (niveau,

coefficient, article et unité) nécessaire pour entamer les calculs.

Pour chaque composant, nous avons déterminé les ordres d'achat ou ordre de fabrication pour les produits fabriqués. Par la suite ; nous avons entamé la mise à jour des ordres de lancement afin d'éviter la surcharge de la production. Le calcul de la méthode MRP (1/2) a été fait par le logiciel de calcul Excel qui a permis de dresser les tableaux adéquats et contenant toute les l'informations nécessaires.

Ce travail peut être amélioré par des études permettant d'évaluer au mieux les différentes exigences de l'entreprise Général Emballage. On peut citer comme études complémentaires à ce travail :

- Etude de la fiabilité et de la disponibilité des lignes de production.
- Gestion budgétaire et financière.
- Amélioration de l'application de la méthode MRP en utilisant les macros dans l'Excel.

# Annexe A

Les données récolter dans l'entreprise Général Emballage concernant le stock, délai de fabrication et délai d'approvisionnement concernant le produit fini ainsi que ses différents composants sont présenter dans le tableau ci-dessous :

Composants	Stock de Décembre 2015	Délai de fabrication	Délai d'approvisionnement
Papier Kraft Ecreu	159,74 tonne		30 jours
Papier Test Blanc	346.239 tonne		30 jours
Papier Fluting	287.427 tonne		30 jours
Amidon	10 260 KG		3 jours
Boraxe	15 370 KG		une semaine
Soude	13 374 KG		une semaine
Colle		45 minutes	
Plaque Canneleure C		3600 PLQ/H	
Plaque Imprimée		9000 Caisse/H	
Cyan		instantané	
Panton		instantané	
Noir		instantané	

TABLE 5.6 – Délai d'approvisionnement, de fabrication et l'état des stock.

Les livraisons attendues de la plaque cannelure C durant chaque mois de l'année 2016 sont représentées dans le tableau suivant :

Produit/mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	D
Livraisons attendues	4000	3000	4600	7000	6000	4000	3500	6200	8000	14063	7400	50

TABLE 5.7 – Les livraisons attendues de la plaque cannelure C.

### 5.3 Présentation du logiciel utilisé pour les prévisions

Le logiciel **R** est un langage de programmation interactif interprété et orienté objet contenant une très large collection de méthodes statistiques et des facilités graphiques importantes. Ce qui le rend performant en termes de calculs et de représentation graphique, c'est pourquoi nous l'avons utilisé pour estimer les modèles statistiques et calculer les prévisions[17].

### 5.4 Présentation du logiciel utilisé pour les méthodes MRP1 et MRP 2.

Excel est un programme informatique développé et distribué par Microsoft Corp, il est utilisé dans différents domaines, surtout les sciences et l'économie. Il s'agit d'un logiciel qui permet de réaliser des tâches comptables et financières grâce à ses applications pour créer et travailler avec des feuilles de calcul.

Le logiciel Excel intègre des fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données (notamment de tableau croisé dynamique) et de programmation, laquelle utilise les macros écrites dans le langage VBA (Visual Basic for Applications) qui est commun aux autres logiciels de Microsoft Office. Les principaux formats de fichiers natifs portent l'extension xls (1995-2003) etxlsx (2007-2016). Chaque fichier correspond à un classeur, lequel contient des feuilles de calculs organisées. Chaque feuille correspond à un tableau de lignes et de colonnes pouvant contenir des valeurs (numériques ou non) ainsi que des formules permettant les calculs. Suivant les versions, les classeurs peuvent aussi inclure les éléments de programmation que sont les macros.

## ***Résumé :***

L'étude présente dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'application des techniques de la recherche opérationnelle, pour l'élaboration d'un plan de production annuelle a l'un des produits fabriqués au sein de l'entreprise Général Emballage(cas pratique : Caisse Américaine MC). Afin de déterminer pour chaque composant de ce produit les quantités mensuelles à produire, nous avons entamer d'abord une modélisation statistique pour le calcul des prévisions de ventes de ce dernier en se basant essentiellement sur la méthode de Box et Jenkins, qui sont un outil indispensable pour le lancement de calcul de la méthode MRP1 qui permet de gérer et de calculer les besoins nets du produit étudié afin de déterminer pour chaque composant, les ordres d'achat ou de fabrication. Enfin après avoir mis en oeuvre la méthode MRP1, nous avons appliqué la méthode MRP 2 pour effectuer la planification des besoins en capacité ainsi que l'ajustement et la mise à jour des charges. Cette étude nous a permis d'améliorer la gestion des stocks de la matière première en obtenons le zéro stock à la fin de chaque période(mois), pour le produit étudié.

**Mots clés :**Entreprise Général Emballage, gestion de production, méthodes de prévision, méthodes MRP.

## ***Abstract :***

The present study in this Atesis is part of techniques application for the operational research, in order to develop an annual production plan for one of the products manufactured by the general packaging company(practical case :Américane Box MC). To determine the monthly production quantities of each component of this product, we started first statistical modeling to calculate its sales forecast relying heavily on Box and Jenkins methods wich are an indispensable tool for the launching of calculating the MRP1 method to manage and calculate net requirements of the studied product in order to determine for each component its planed order release. Finally, after we have implemented the MRP1 method, we apply the MRP 2 method to make the planning capacity requirements as well as adjusting and load update. This study allowed us to improve inventory management of raw material to get the zero stock at the end of each period (month), for the studied product.

**Keywords :**General Packaging company, management production, methods of forecasting, MRP methods.