HAL
open science

Vers une approche intégrée de gestion de planification de la production et de la distribution : cas de l'industrie textile

Imen Safra

To cite this version:

Imen Safra. Vers une approche intégrée de gestion de planification de la production et de la distribution : cas de l'industrie textile. Autre. Ecole Centrale Paris; École nationale d'ingénieurs de Tunis (Tunisie), 2013. Français. NNT : 2013ECAP0017 . tel-00913587

HAL Id: tel-00913587

https://theses.hal.science/tel-00913587

Submitted on 4 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉCOLE CENTRALE DES ARTS
ET MANUFACTURES
« ÉCOLE CENTRALE PARIS »

ÉCOLE NATIONALE
D'INGÉNIEURS DE TUNIS
« ENIT »

THÈSE
présentée par

Imen SAFRA ABDELMALEK

pour l'obtention du

GRADE DE DOCTEUR

Spécialité : Génie Industriel

SUJET

Vers une approche intégrée de planification de la production et de la distribution : Cas de l'industrie textile

Thèse préparée en co-tutelle dirigée par Chengbin Chu (ECP) et Bahri Rezig (ENIT)

soutenue le : 06 février 2013

devant un jury composé de :

Gilles Goncalves	Université d'Artois - Professeur	**Rapporteur**
Samir Lamouri	Ecole Nationale des Arts et Métiers - Professeur	**Rapporteur**
Chengbin Chu	Ecole Centrale Paris - Professeur	**Directeur de thèse**
Vincent Giard	Université Paris Dauphine - Professeur	**Examinateur**
Zied Jemai	Ecole Centrale Paris - MCF - HDR	**Co-encadrant**
Hanen Bouchriha	Ecole Nationale d'Ingénieurs Tunis - Professeur	**Co-encadrante**
Asma Ghaffari	Ecole Centrale de Paris - MCF	**Co-encadrante invitée**
Aida Jebali	Ecole Nationale d'Ingénieurs Tunis - MCF	**Co-encadrante invitée**

2013-04

À mon mari Anis…le cadeau de la vie

Qui a supporté mes humeurs au gré de cette thèse, qui m'a aidé sur les nombreux fronts de la vie quotidienne, qui m'a encouragé jusqu'au bout, qui m'a remplacé auprès de mes enfants les fois où j'ai dû m'absenter, qui a été toujours mon appui...

Ton soutien, ta patience, ton encouragement et ta tolérance m'ont aidé à surmonter toutes les difficultés rencontrées au cours de cette thèse. Ils représentaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles…

Merci d'être toujours à mes côtés, par ton amour dévoué et ta tendresse, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille…

En témoignage de mon amour, de mon admiration et de ma grande affection, je te prie de trouver dans ce travail l'expression de ma profonde estime et mon sincère attachement.

À mes parents…la force de mes ambitions

À mon père…

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme de la persévérance et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que Dieu le tout-puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal…

À ma mère…

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde

estime. Puisse le tout-puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

À mes deux enfants Ahmed et Emna…ma joie de vivre

Pour avoir accepté tant de sacrifices durant ces dernières années. Merci à vous mes enfants pour avoir compris, malgré votre jeune âge, les impératifs de cette thèse pour moi et pour m'avoir aidé à y arriver.

À mes deux sœurs…mon éternel soutien

En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments. Pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent, ce travail est un témoignage de mon attachement et de mon amour. Puisse Dieu le tout-puissant exaucer tous vos vœux.

À mon beau-père…

Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour toi. Tes prières, tes encouragements et ton soutien m'ont toujours été d'un grand secours. Puisse Dieu, le tout-puissant te préserver du mal, te combler de santé et te procurer une longue vie.

À la mémoire de ma belle-mère…

Qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur. Que Dieu, le miséricordieux, l'accueille dans son éternel paradis.

À toute ma famille…

Remerciements

Cette thèse est l'aboutissement de plusieurs années de travail et n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien et l'aide de nombreuses personnes qui m'ont accompagnée tout au long de cette épopée ! Je tiens donc ici à les remercier et leur témoigner de ma reconnaissance.

Je pense tout d'abord à mes directeurs de thèse, Chengbin Chu de l'ECP et Bahri Rezig de l'ENIT, qui ont accepté de diriger ce travail. Je leur remercie de m'avoir fait confiance et de se montrer compréhensifs et indulgents.

Mes premiers remerciements vont aussi tout naturellement à mes encadrants qui ont suivi de près ces travaux. Zied Jemai pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail, pour sa gentillesse et ses directives si précieuses. Hanen Bouchriha pour son implication, son assistance et son soutien. Aida Jebali pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité et ses remarques qui m'ont permises d'affiner mon propos. Asma Ghaffari pour ses critiques mais bienveillants, pour sa rigueur et ses exigences si efficaces. Je garderai bien sûr en mémoire les particularités et les qualités de chacun des membres de cette équipe qui attestent, certes, de leur expérience et de leur professionnalisme. Un grand merci pour cet encadrement de qualité intellectuellement et humainement.

Mes sincères remerciements vont également aux membres de mon jury qui ont accepté d'évaluer ce travail de thèse. Je remercie tout particulièrement les professeurs Gilles Goncalves et Samir Lamouri pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette thèse en acceptant d'être rapporteurs. J'en suis honorée. Je remercie aussi le professeur Vincent Giard de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Mes remerciements s'adressent ensuite à tous les membres du Laboratoire Génie Industriel pour leur accueil, leur convivialité et leur soutien. Une pensée particulière pour Bill, Vincent, Myriam, Emna, Oualid, Toufic, Lina, Guillaume et Camille. Enfin, je tiens tout particulièrement à remercier Sylvie, Corinne, Delphine, Carole et Anne sans qui la thèse ne se déroulerait pas dans de si bonnes conditions. Merci pour votre soutien et votre aide précieuse pendant ces années.

Cette thèse est également le fruit d'une collaboration avec des industriels tunisiens du secteur textile-habillement. Je tiens tout particulièrement à remercier tous ceux qui m'ont accueilli à TFCE et TFCT, à leur tête M. Chekib Nouira et M. Nefaa Ennaifer, pour leur disponibilité, leur assistance et leur soutien, sans lesquels je n'aurais pu collecter les données suffisantes qui ont enrichi ce travail de thèse.

Enfin, je remercie mes amis et ma famille qui ont largement contribué à l'aboutissement de ce projet de thèse. Merci à Myriam, Emna, Faten et Emna Ben Salem d'avoir partagé aussi bien les bons que les durs moments de la thèse. Merci à mon mari Anis et à mes deux enfants Ahmed et Emna d'avoir subi le stress que je vous aurais communiqué par moments. Merci à mes chers parents, à mon beau-père et à mes deux sœurs. Sans votre enthousiasme, vos encouragements infaillibles et votre soutien indéfectible, tout ceci n'aurait pas pu être possible. Merci à ma tante Raoudha et à mon oncle Mahmoud pour leur soutien tout au long de ma vie et pour m'avoir assisté durant ma soutenance en comblant tout le vide causé par l'absence de mes parents…

Une page se tourne, une autre s'ouvre, merci à tous ceux et celles qui y ont contribué et m'ont amené à faire les bons choix.

Imen

Table des matières

Liste des figures iii
Liste des tableaux iv
INTRODUCTION GENERALE 1
Chapitre I : Contexte industriel et problématique 7
I.1 Introduction 8
I.2 Industrie textile-habillement : structure et tendance 8
I.2.1 Présentation de la filière textile-habillement 8
I.2.2 Spécificités de l'industrie textile-habillement 12
I.2.3 La filière textile-habillement en Tunisie 13
I.3 Performances et enjeux 15
I.3.1 Les acteurs industriels du secteur de l'habillement 15
I.3.2 Enjeux économiques dans l'industrie textile-habillement 19
I.4 Problématique 22
I.5 Conclusion 23
Chapitre II : Etat de l'art et approche de planification proposée 24
II.1 Introduction 25
II.2 Le modèle de Chaîne Logistique (CL) 25
II.2.1 Concept de base de chaîne logistique 25
II.2.2 Modèle de chaîne logistique adopté 26
II.2.3 Typologie du problème de planification de la chaîne logistique 29
II.3 Etat de l'art 31
II.3.1 Planification de la chaîne logistique textile 31
II.3.2 Les travaux traitant le problème de planification de la production et de la distribution 34
II.3.3 Synthèse 49
II.4 Approche de planification proposée 56
II.4.1 Intégration tactique-opérationnel 57
II.4.2 Horizon glissant 58
II.5 Conclusion 60
Chapitre III : Planification de la production et de la distribution avec réserve de capacité de production 61
III.1 Introduction 62
III.2 Modélisation mathématique 62
III.2.1 Modèle de planification tactique 62
III.2.2 Modèle de planification opérationnel 68
III.3 Description du cas d'étude 75

III.4 Expérimentation et résultats numériques 78
III.4.1 Utilisation de toute la capacité de production interne 79
III.4.2 Utilisation d'une réserve de capacité de production interne statique 81
III.4.3 Utilisation d'une réserve de capacité de production interne dynamique 84
III.5 Conclusion 87
Chapitre IV : Planification de la production et de la distribution avec partage de l'information 89
IV.1 Introduction 90
IV.2 Coordination entre les acteurs de la chaîne logistique 90
IV.2.1 Les différents types de coordination 90
IV.2.2 Coordination basée sur le partage de l'information entre producteur-client 91
IV.3 Les méthodes de prévision de la demande 94
IV.3.1 Les méthodes qualitatives 95
IV.3.2 Les méthodes quantitatives 95
IV.4 Choix de la méthode de prévision 100
IV.4.1 Utilisation de la courbe de cycle de vie de produit 101
IV.4.2 Le modèle logistique de diffusion pour la prévision de la demande 102
IV.5 Description de l'approche de planification avec partage de l'information 105
IV.6 Modélisation mathématique 108
IV.6.1 Les hypothèses du modèle 108
IV.6.2 Les paramètres du modèle 108
IV.6.3 Les variables de décisions 111
IV.6.4 La fonction objectif 112
IV.6.5 Les contraintes 113
IV.7 Résultats expérimentaux 116
IV.7.1 Evaluation de l'effet de la considération d'une réserve de capacité 117
IV.7.2 Evaluation de l'effet de la qualité des prévisions 122
IV.8 Conclusion 123
Chapitre V : Comparaison des approches et analyse des résultats 124
V.1 Introduction 125
V.2 Comparaison des performances des deux approches 125
V.2.1 Comparaison entre la première approche celle avec partage de l'information 125
V.2.2 Comparaison des deux approches dans le cas de prévisions parfaites 127
V.3 Généralisation et analyse des résultats 128
V.3.1 Effet de la variation de la demande sur la performance des approches 128
V.3.2 Effet de la variation des coûts sur la performance des approches 131
V.4 Conclusion 136
CONCLUSION GENERALE 138
Références bibliographiques 143

Liste des figures

FIGURE 1 : INDUSTRIE TEXTILE-HABILLEMENT 8
FIGURE 2 : DIAGRAMME D'ACTIVITES DE PRODUCTION DES ARTICLES MAILLE 11
FIGURE 3 : EVOLUTION MENSUELLE DES EXPORTATIONS TUNISIENNES DANS LE SECTEUR TEXTILE-HABILLEMENT 14
FIGURE 4 : DEFINITION DE LA CHAINE LOGISTIQUE 26
FIGURE 5 : CHAINE LOGISTIQUE TEXTILE 27
FIGURE 6 : APPROCHE DE PLANIFICATION PROPOSEE 58
FIGURE 7 : PRINCIPE DE L'HORIZON GLISSANT AU NIVEAU DES DECISIONS OPERATIONNELLES 59
FIGURE 8 : VARIATION DU COUT SELON ALPHA 83
FIGURE 9 : GAINS EN COUT 84
FIGURE 10 : COMPARAISON DES CAS D'ETUDES 85
FIGURE 11 : QUANTITES PRODUITES AUPRES DES DIFFERENTS SITES 85
FIGURE 12 : CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT 98
FIGURE 13 : COURBE DE GOMPERTZ 99
FIGURE 14 : COURBE LOGISTIQUE 100
FIGURE 15 : VENTES CUMULATIVES DU PRODUIT TM680 103
FIGURE 16 : LES VENTES CUMULATIVES MISES A JOUR DU PRODUIT TM680 105
FIGURE 17 : APPROCHE DE PLANIFICATION AVEC PARTAGE DE L'INFORMATION 107
FIGURE 18 : AFFECTATION DES PRODUCTIONS 121
FIGURE 19 : ECART ENTRE LES COUTS OBTENUS PAR LES DEUX APPROCHES 129
FIGURE 20 : COMPARAISON DE LA REPARTITION DE LA PRODUCTION POUR LES DEUX APPROCHES 133
FIGURE 21 : ECART ENTRE LES COUTS POUR LES DEUX APPROCHES A COUT DE SOUS-TRAITANCE VARIABLE 135

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : COMPARAISON ENTRE LES 2 STRATEGIES DE GESTION DE LA DEMANDE 30
TABLEAU 2 : SYNTHESE DES TRAVAUX BIBLIOGRAPHIQUES TRAITANT LE PROBLEME DE PLANIFICATION DE LA PRODUCTION ET DE LA DISTRIBUTION 50
TABLEAU 3 : DETAILS DES COUTS LOGISTIQUES PAR SEMAINE 81
TABLEAU 4 : TAUX DE CAPACITE DE PRODUCTION INTERNE UTILISEE ET OBSERVEE 82
TABLEAU 5 : VARIATION DU COUT TOTAL SELON ALPHA 82
TABLEAU 6 : PREVISIONS DE VENTES DE TM680 104
TABLEAU 7 : LES COUTS OBTENUS POUR ALPHA=100%..... 118
TABLEAU 8 : LES COUTS OBTENUS POUR ALPHA=80%..... 119
TABLEAU 9 : LES COUTS OBTENUS POUR ALPHA VARIABLE 120
TABLEAU 10 : COMPARAISON DES TROIS SCENARIOS..... 120
TABLEAU 11 : COMPARAISON DES COÛTS 122
TABLEAU 12 : COMPARAISON DES DEUX APPROCHES 126
TABLEAU 13 : COMPARAISON DES AFFECTATIONS DES PRODUCTIONS 126
TABLEAU 14 : COMPARAISON DES COÛTS 128
TABLEAU 15 : VARIATION DES COUTS EN FONCTION DE LA DEMANDE D 129
TABLEAU 16 : COMPARAISON DES ECARTS A DEMANDE ELEVEE..... 131
TABLEAU 17 : VARIATION DU COUT TOTAL EN FONCTION DU COUT DE TRANSPORT 132
TABLEAU 18 : VARIATION DU COUT TOTAL EN FONCTION DU COUT DE SOUS-TRAITANCE.... 134

INTRODUCTION GENERALE

Contexte

Objectifs de la thèse

Organisation de la thèse

Contexte

Dans un contexte de globalisation croissante et de crise économique et financière et face aux aléas de la demande et à la grande volatilité des marchés, les entreprises, soucieuses de préserver contre vents et marées leurs équilibres physiques, économiques et financiers, se trouvent largement exposées à une rude concurrence internationale. Ces entreprises sont plus qu'à aucun autre moment engagées dans un vrai et difficile combat pour la survie. Elles sont confrontées à d'énormes et multiples défis et se trouvent obligées d'adopter d'urgence des plans d'ajustement structurel et de rehausser leur niveau de management. Plus vite ces entreprises s'engageront sur le chemin de l'innovation et de l'optimisation de leurs chaînes logistiques, plus vite elles retrouveront les ressorts d'un développement rapide et durable en refondant des structures industrielles suffisamment compétitives pour être pérennes. En effet, il est important que ces industriels focalisent sur le développement de nouvelles approches de pilotage de flux visant à satisfaire le client final tout en minimisant les coûts.

Entre autres, les acteurs de l'industrie textile-habillement font face à ce défi industriel avec des comportements d'achat qui sont de plus en plus imprévisibles à cause de la volatilité de la demande, d'un éclatement de séries de plus en plus courtes et d'une évolution à la baisse des coûts des produits liée à la globalisation des achats. Ainsi, pour continuer à s'imposer sur le marché, ils se doivent, d'être performants vis-à-vis de leurs clients directs, tout particulièrement en termes de coûts, de réactivité et de délais de livraison.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes donnés comme objectif d'étudier l'intérêt d'une meilleure coordination entre différentes décisions de planification dans la chaîne logistique textile pour une capacité accrue de la chaîne à répondre aux exigences du marché. Ces décisions relèvent de niveaux temporels différents et de fonctions différentes de la chaîne logistique, à savoir la production et la distribution.

Objectifs de la thèse

Par notre travail de recherche nous visons les objectifs suivants :

Le premier objectif est de tenir compte d'un cadre global d'une chaîne logistique intégrant différents intervenants du réseau national et international. En effet, nous nous intéressons ici à un contexte industriel et logistique le plus général possible afin d'établir un état des lieux qui nous servira par la suite dans l'élaboration d'une approche de planification coordonnée de la production et de la distribution la plus adaptée et la plus performante possible. Ce contexte industriel global tient compte d'une variété de produits circulant via un réseau national et international intégrant des producteurs, des sous-traitants, des dépôts de stockage et des clients. En plus de la considération de l'activité de sous-traitance, la capacité interne de production est extensible via des heures supplémentaires. Ce réseau logistique est aussi caractérisé par une variabilité de la demande sur différents niveaux de décisions. En effet, certaines commandes sont à longs délais de livraison pouvant atteindre les 3 mois, d'autres représentent des commandes urgentes de réassorts ou d'actualisation des produits et sont à courts délais de livraison dépassant rarement les 3 semaines. Dans cet environnement industriel, les sous-traitants sont de deux types : - certains sont lointains à délais de livraison long mais ils sont très compétitifs de point de vue coût de production, - d'autres sont à proximité avec des délais de livraison très réduits mais à des coûts de sous-traitance plus élevés que les coûts de production internes. La considération de différents modes de transports à coûts et délais de transport variables est aussi prise en compte dans cet environnement global. Ainsi, notre premier objectif est de mener l'étude dans le cadre d'un contexte industriel aussi global.

Le deuxième objectif consiste à développer une approche adéquate de planification de la production et de la distribution, tenant compte des caractéristiques logistiques citées ci-dessus, à des fins d'optimisation des coûts et de satisfaction du client final en termes de respect des délais. Cette approche appliquée au cas d'étude de l'industrie textile-

habillement montre son efficacité à améliorer la performance globale de la chaîne logistique.

Notre dernier objectif est de prouver l'intérêt du partage de l'information entre fournisseurs et clients. Afin de mesurer l'impact de ce partage d'information sur les performances de la chaîne logistique étudiée, nous avons analysé l'effet de la variation de la demande, de la variation des coûts de transport et de la compétitivité des coûts de sous-traitance par rapport aux coûts de production interne.

Organisation de la thèse

Nous présentons dans ce mémoire les travaux réalisés au terme de la thèse ainsi que les principaux résultats obtenus et qui sont structurés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons le contexte d'étude dans lequel s'insère notre travail de recherche. Pour cela, des détails concernant la filière textile-habillement et les acteurs industriels correspondants sont introduits en vue de déduire les spécificités du secteur ainsi que les dysfonctionnements soulevés. Les enjeux économiques pour ce type d'industrie ainsi que l'évolution des marchés sont aussi décrits. A la fin de ce chapitre, nous exposons notre problématique qui découle de ce qui a été décrit précédemment.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les concepts de base de la chaîne logistique ainsi que le modèle logistique textile adopté. Puis, nous dressons une revue de la littérature qui concerne, dans une première section, les travaux traitant le problème de planification de la production pour le secteur textile-habillement, et dans une deuxième section, une classification des différents travaux ayant traité le problème de planification de la production et de la distribution. Cette section s'achève par un tableau synthétisant les spécificités des principaux travaux. Ce chapitre se termine par une description de notre approche de planification proposée et notre positionnement par rapport aux travaux recensés dans la littérature.

Dans le troisième chapitre, nous évaluons notre approche de planification proposée. Nous détaillons pour cela, les modèles mathématiques proposés aux niveaux de décisions tactique et opérationnel. Puis, nous validons nos expérimentations sur un cas d'étude réel d'un industriel textile tunisien en confirmant l'intérêt de la considération d'une réserve de capacité de production au niveau tactique, permettant une meilleure et optimale réponse aux attentes des clients au niveau opérationnel.

Dans le quatrième chapitre, nous enrichissons notre approche de planification de la production et de la distribution proposée au chapitre III, en considérant un partage de l'information concernant la demande entre fournisseur et client. Cette information partagée à l'avance, a pour objectif de permettre au fournisseur de prévoir la demande future et de réduire ainsi l'incertitude sur la demande. Dans notre travail nous avons utilisé cette information avancée sur la demande pour déduire les commandes prévisionnelles moyennant une méthode adéquate de prévision. Afin de justifier le choix de cette méthode, nous présentons les différentes méthodes de prévision de la demande. Nous proposons également, dans la première section de ce chapitre, de montrer l'intérêt du partage de l'information et de présenter les différentes formes de ce partage. Nous exposons par la suite la modélisation mathématique proposée, tenant compte des commandes prévisionnelles et des commandes fermes qui arrivent. Nous validons notre approche sur le même cas d'étude considéré dans le chapitre précédent et nous testons le cas idéal, considérant des prévisions parfaites. Enfin, nous confirmons un gain en coût, induit par le partage d'une information fiable ainsi que par la considération d'une réserve de la capacité de production interne au niveau de la planification tactique.

Au niveau du cinquième chapitre, une comparaison des deux approches proposées dans les chapitres III et IV est menée. Nous montrons que le couplage entre l'utilisation d'une réserve de capacité de production et d'un partage d'information entre les acteurs de la chaîne logistique permet un gain en coût de l'ordre de 18%. Ce gain peut être encore meilleur si les prévisions réalisées sont parfaites et pourra atteindre 20%. La deuxième

section de ce chapitre est dédiée à l'étude de l'effet de la variation de certains paramètres sur la performance de la chaîne logistique globale. Les approches ainsi développées trouvent aussi leur application dans des contextes industriels.

Chapitre I : Contexte industriel et problématique

Introduction

Industrie textile-habillement : Structure et tendance

Performances et enjeux

Problématique

Conclusion

I.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'introduire le contexte industriel sur lequel se base notre travail de recherche. Nous commençons par présenter les principales caractéristiques du secteur textile-habillement, l'évolution des marchés de cette filière et les enjeux économiques actuels. Nous détaillons, par la suite, la chaîne logistique aval de l'industrie textile-habillement ainsi que les challenges actuels dans le pilotage des différents flux. A partir de là, la problématique traitée dans ce travail de thèse est présentée en détaillant les thèmes de réflexion qui en découlent.

I.2 Industrie textile-habillement : structure et tendance

I.2.1 Présentation de la filière textile-habillement

L'industrie textile-habillement se structure autour de deux grands axes allant de la production de la matière première fibreuse à la confection et la réalisation de produits finis (cf. figure 1).

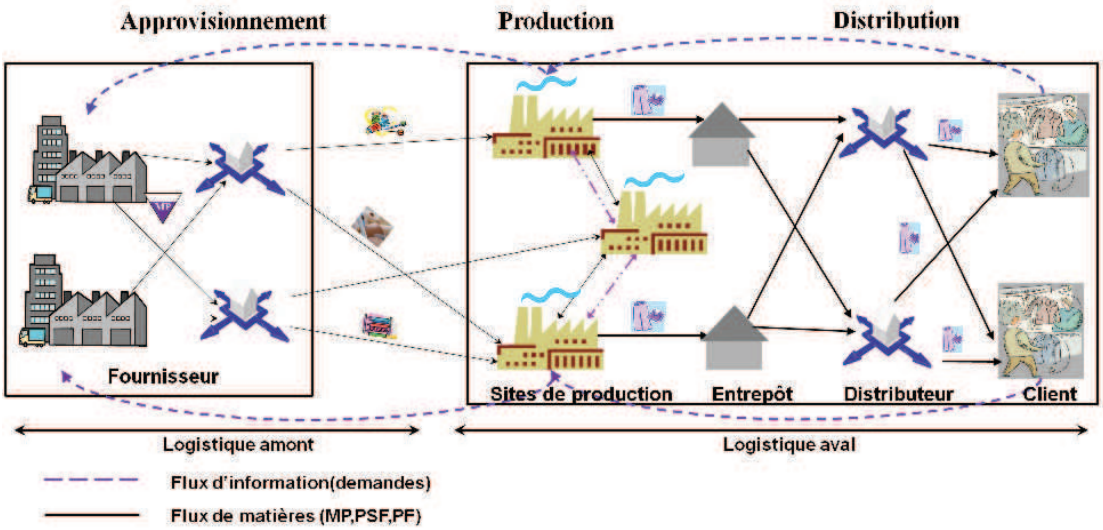

Figure 1 : Industrie textile-habillement

En amont, l'activité de l'industrie textile-habillement est centrée sur la fabrication de biens intermédiaires qui seront utilisés par l'industrie aval, plutôt centrée sur l'activité de confection et de distribution jusqu'au client final.

Les fibres textiles de base sont soit d'origine naturelle, soit d'origine chimique. Les fibres naturelles peuvent être végétales (coton, lin,…), animales (laine, soie, chèvre, lama, lapin,…) ou minérales (laine de verre…). Quant aux fibres chimiques, elles sont artificielles ou synthétiques. Les fibres artificielles sont fabriquées entre autres, à partir de cellulose régénérée (viscose, modal) ou d'esters de cellulose (acétate, tri acétate). Les fibres synthétiques sont réalisées à partir de polymères obtenus par synthèse de composés chimiques (acrylique, polyamide, polyester,…).

L'ensemble de ces matières suit divers procédés de transformation, tels que la filature, le tissage, le tricotage et l'ennoblissement, pour produire à partir des matières de base des fils puis des étoffes. Les techniques d'ennoblissement textile confèrent au produit son aspect final. En effet, la teinture et l'impression ont un but décoratif et le blanchiment, les apprêts, les traitements présentent un caractère plus technique pour modifier l'aspect, le toucher et apporter des fonctionnalités particulières. Ces techniques d'ennoblissement peuvent être réalisées aux différents stades de la filière (la fibre peut être teinte en bourre ou l'article peut être teint après confection).

En aval, l'industrie textile-habillement couvre la confection d'articles de vêtements ou d'ameublement. A ce niveau de la chaîne, les activités de conception, de stylisme, de coupe et de confection sont mises en œuvre. Ces activités s'achèvent par les phases de conditionnement et d'expédition. Les donneurs d'ordres assurent parfois les tâches de conception et de commercialisation de l'article ; les façonniers en réalisent la confection et le montage ; les producteurs intègrent tout le cycle de production, allant de la conception jusqu'à la commercialisation, en passant par la confection et le montage (Fantar, 2005).

La complexité de cette industrie textile-habillement découle de la diversité des matières de base et des produits finis (maille, chaîne et trame, jersey,…) et de la variété des processus

de transformation et des acteurs. En plus, les frontières sont de plus en plus fluctuantes entre les différents acteurs. Par exemple, les producteurs en compte propre sont de plus en plus fréquemment donneurs d'ordres partiels pour une partie de leur activité. De même, ils peuvent être sous-traitants pour d'autres producteurs ; comme ils peuvent produire pour le compte d'autres clients ou pour leur propre réseau de clients.

Pour la filière de textile-habillement, le processus de production des articles est spécifique à chaque type de produits. Par exemple, le processus des produits de type maille débute par une phase de conception des modèles, suivie de la concrétisation des échantillons initiaux et leurs validations. Les étapes de production sont ensuite lancées : coupe et confection, avec le contrôle du produit fini et enfin le stockage au dépôt, comme décrit par le diagramme d'activité présenté dans la figure 2. Dans notre application industrielle, c'est ce type d'articles maille que nous considérons.

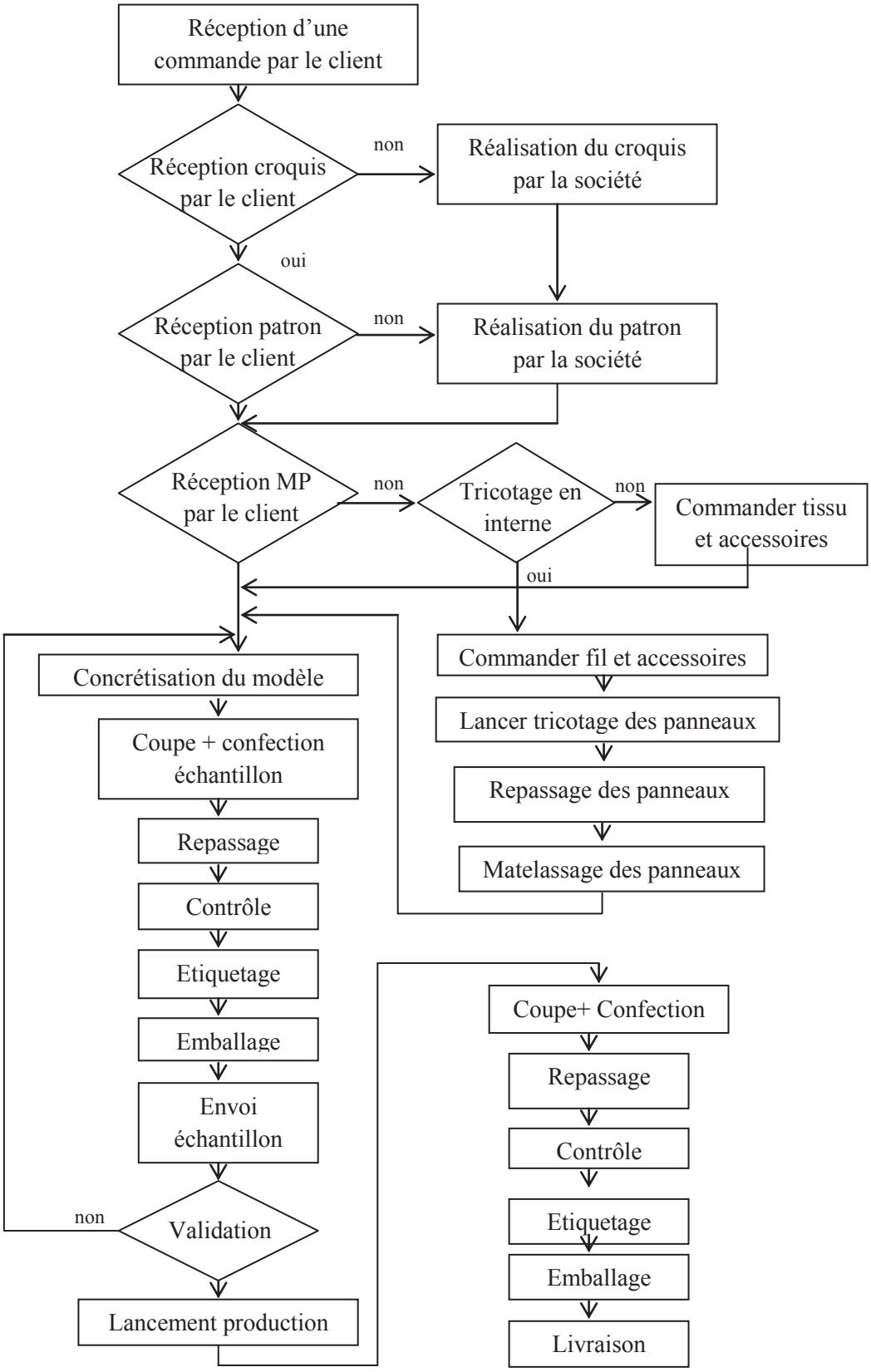

Figure 2 : Diagramme d'activités de production des articles maille

I.2.2 Spécificités de l'industrie textile-habillement

L'industrie textile-habillement présente plusieurs spécificités : diversité des produits et des acteurs, variabilité de la demande, arrivée de différentes commandes avec des délais de livraison variables, raccourcissement du cycle de vie des produits, effet de mode et demandes personnalisées. En effet, dans notre revue bibliographique, nous avons remarqué que tous les articles traitant le cas d'une industrie textile-habillement décrivent ce secteur de turbulent vu la saisonnalité et la variabilité de la demande des différents produits ainsi que le raccourcissement de leur cycle de vie (FORTHAC, 2004). Ces articles partent du fait que le marché de mode est hyper actif et nécessite un temps de réponse rapide à cause des changements des modes qui ont un rythme de plus en plus accéléré afin de satisfaire les clients à demandes non usuelles. Les travaux de De Toni and Meneghetti (2000), Dumoulin and Vercellis (2000), Silva and Magalhaes (2006), Thomassey et *al.* (2005) et Karacapilidis and Pappis (1996) associent ces spécificités au secteur textile-habillement et tiennent compte de la diversité et la multitude des produits d'habillement. Plus particulièrement Thomassey et *al.* (2005) parlent d'une agrégation des produits d'habillement selon : - le marché (Homme, Femme, Enfant), - le style (sport, ville..), - les familles de produits (pull, pantalon…), - les références(…), - les tailles (XL, L, M,S…), - et les couleurs (noir, blanc..).

L'activité de sous-traitance est aussi présente pour ce type d'industrie afin d'offrir plus de flexibilité aux sites de production internes dans un environnement concurrentiel (FORTHAC, 2004 ; Karacapilidis and Pappis, 1996). Il est aussi à noter que face à la complexité de l'environnement textile-habillement et à la variabilité de la demande, les compagnies ont besoin d'anticiper leur production, afin de satisfaire aux mieux les commandes clients, malgré la difficulté de faire des prévisions comme exprimé par Thomassey et *al.* (2005).

Pour ce type d'industrie, les commandes, comme évoqué plus haut, peuvent être de deux types : (1) des commandes de mise en place planifiées et prises suffisamment à l'avance et

avant même six mois (collections des saisons estivales ou hivernales) ou (2) des commandes de réassort ou d'actualisation, qui sont généralement urgentes et difficiles à prévoir, pour combler des ruptures de stocks dans les boutiques ou pour remplacer des produits invendus pour la même saison. La difficulté réside dans le placement des commandes des différents clients chez les différents producteurs à moindre coût et en respectant les délais. En effet, en plus des sites de production internes, cette industrie se procure de la flexibilité en renforçant sa capacité de production par le recours à différents sous-traitants locaux de capacité et à des sous-traitants lointains de spécialité. Pour ces deux types de sous-traitants les coûts de production ainsi que les délais de livraison sont variables vue l'utilisation de différents moyens de transport pour la distribution et de la main d'œuvre exogène, à coûts variables selon le pays où se fait la production.

La présence de différents acteurs a activités complémentaires dans ce type d'industrie ne fait que complexifier la gestion des flux au sein de la chaîne.

I.2.3 La filière textile-habillement en Tunisie

L'industrie textile-habillement occupe une place prépondérante dans l'économie tunisienne. En effet, selon le Centre Technique du Textile (Cettex) le secteur textile-habillement a réalisé près de 47% des exportations des industries manufacturières en 2005. Ce chiffre a baissé à 30% en 2007 où le secteur a été dominé par les industries mécaniques et électroniques pour occuper le 2ème rang des industries manufacturières en employant plus de 250000 personnes, soit près de 50% de l'ensemble des emplois des industries manufacturières (avec 75% de la main-d'œuvre féminine) (Cettex, 2012 ; API, 2002).

En 2010, ce secteur compte plus de 2000 entreprises dont plus de 80% sont totalement exportatrices. Parmi ces entreprises, 45% sont à participation étrangère (dont 60% à capitaux 100% étrangers, principalement européens).

Ainsi, bénéficiant de l'avantage de la proximité géographique de l'Europe, la Tunisie figure parmi les principaux leaders mondiaux exportateurs d'habillement à l'Europe, qui est la première destination des exportations de vêtements tunisiens.

La Tunisie était en 2007 parmi les cinq premiers fournisseurs de l'Union Européenne (dont principalement la France, l'Italie et l'Allemagne) en produits d'habillement, elle se place derrière la Chine, la Turquie, le Bangladesh et l'Inde. Mais Selon Cettex, les exportations tunisiennes de textile-habillement, ont reculé de 19 % en novembre 2009 par rapport à novembre 2008. Et d'après le Président du Cercle Euro-méditerranéen des Dirigeants Textile-Habillement (Limantour, 2009), Jean-François Limantour, compte tenu de la dépréciation du dinar tunisien par rapport à la monnaie européenne, la chute des exportations exprimées en euros est même de 25 %. Au total, sur les onze premiers mois de l'année 2009, les exportations reculent de 11 % en dinars et de 14 % en euros (cf. figure 3).

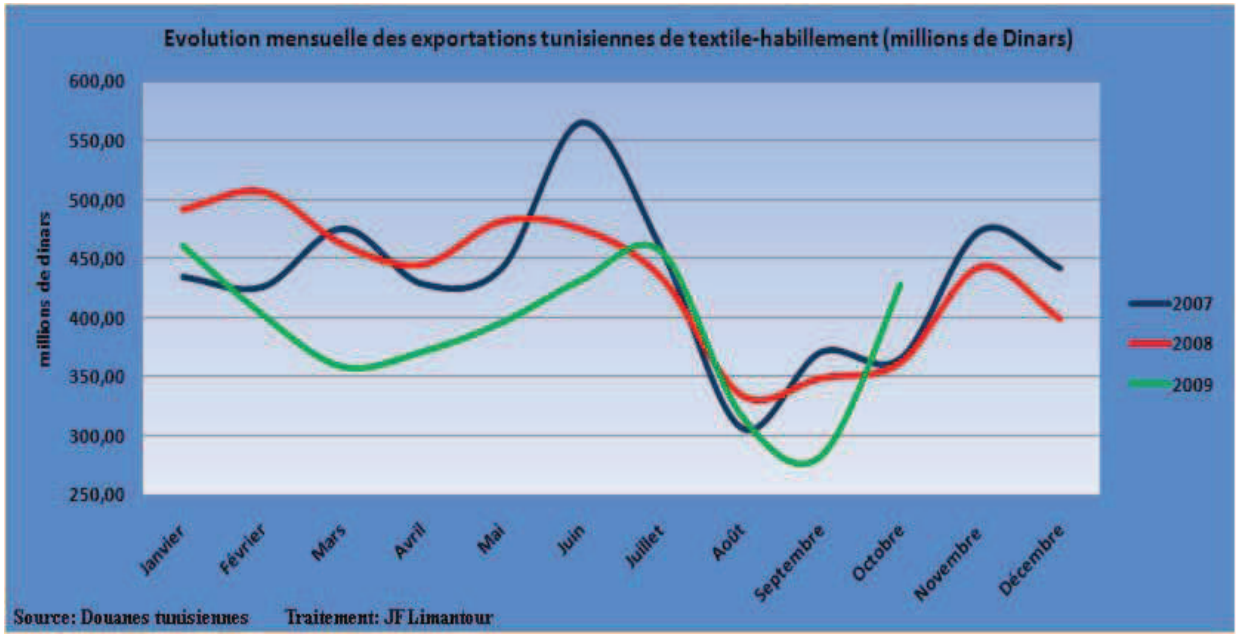

Figure 3 : Evolution mensuelle des exportations tunisiennes dans le secteur textile-habillement

Jean-François Limantour attribue la dégradation des performances de ce secteur entre autres à la crise économique qui a affecté la consommation textile-habillement européenne, mais ce n'est pas l'unique cause de cette baisse. En effet la consommation textile-habillement a chuté de 3 % en Europe alors que la baisse des exportations tunisiennes vers l'U.E était de 14 %. Pour lui, cette dégradation des performances tunisiennes est

principalement due à un gain des parts de marché en 2009 par certains pays asiatiques qui restent en croissance. C'est notamment le cas de la Chine, qui a fourni en 2009 44 % des importations européennes en valeur et 49 % en volume, ainsi que de fournisseurs comme le Bangfladesh, le Vietnam, le Sri Lanka ou l'Inde. Ainsi, pour le président du Cercle Euro-méditerranéen des Dirigeants Textile-Habillement, tous les fournisseurs méditerranéens sont, à des degrés divers, victimes de cette concurrence (Limantour, 2009).

I.3 Performances et enjeux

I.3.1 Les acteurs industriels du secteur de l'habillement

Une description des différents acteurs intervenant dans le secteur textile-habillement, leurs caractéristiques et les principaux attributs qui leur sont associés est présentée ci-dessous.

I.3.1.1 Les fournisseurs

Dans l'industrie textile-habillement, un fournisseur est une entité qui livre différents types de produits aux unités de productions. Ces produits peuvent être de différentes natures : des matières premières (fil), des produits semi-finis (tissu) et même des produits finis (accessoires).

Les produits peuvent provenir du marché national ou international, selon la demande du client final. S'ils sont importés, plusieurs modes de transport sont utilisés, et les délais d'approvisionnement dépendent des destinations départ et arrivée et de la nature de la commande et son urgence.

Un fournisseur peut être une société du groupe, une société externe au groupe (qui réceptionne un ordre de livraison moyennant un contrat d'approvisionnement) ou un client final qui commande le produit fini en livrant lui-même sa matière première. Le rapport qualité-prix-délai est un attribut critique pour le bon choix des fournisseurs.

Les principaux attributs associés aux fournisseurs sont : le prix d'achat, le taux de taxe douanière, le délai d'approvisionnement ainsi que la quantité minimale acceptée par ordre.

Le prix est établi en tenant compte du coût de la matière première ainsi que du coût de façon, si l'échantillon du produit fini est livré par le client. Le taux de la taxe douanière est aussi considéré, si le produit est importé.

Le délai d'approvisionnement, associé à un ordre, est défini comme la durée entre la date de l'envoi de l'ordre jusqu'à celle où les produits demandés sont livrés. Ce délai dépend de la quantité commandée et de la capacité de production disponible chez le fournisseur.

La quantité minimale acceptée par ordre dépend du type de produit demandé. Un ordre de livraison d'un produit n'est accepté par le fournisseur que si un minimum exigé de quantité est atteint.

Il est important de noter que les fournisseurs se chargent en général de la réalisation des opérations de transport de produits vers les clients.

I.3.1.2 Les unités de production

Elles ont pour rôle de transformer les matières premières en produits finis destinés aux clients. Vu la diversité des produits textile-habillement et la différence qui peut exister entre certains processus de production, nous avons opté à considérer de près la production des produits de type maille. Chaque unité est représentée par un ensemble de lignes ou chaînes de productions parallèles. Chaque ligne de production, avec une capacité finie, est dédiée à un produit et est caractérisée par un temps de lancement de la production, une capacité de production, un délai de production et un coût de production.

Le temps de lancement de la production représente la durée de la préparation de la ligne dès la réception de l'ordre de fabrication jusqu'au commencement effectif de la production.

Le délai de production correspond au délai nécessaire pour terminer toutes les étapes de production et d'assemblage présentes dans la ligne et obtenir la quantité nécessaire du produit fini. Ce délai dépend du produit lancé et de la quantité à fabriquer.

On peut associer un coût unitaire de production à chaque produit.

L'industrie d'habillement est caractérisée par la présence de deux types de flux de production:

- Production en flux poussé : qui consiste à produire la collection de la saison à venir sur la base de prévision de la demande. Dans ce cas, les produits sont fabriqués à l'avance (avant le démarrage de la saison) pour être stockés dans les dépôts puis livrés aux clients au début de la saison en question.

- Production en flux tiré : deux types de commandes sont considérés ici :

(1) des commandes fermes comportant des produits de la saison à venir. Ces commandes émanent généralement du marché international. Les clients prennent suffisamment de précautions pour que les produits soient à temps dans leurs boutiques. Dans ce cas, le processus de production est lancé suite à la réception de l'ordre de fabrication, le client peut imposer lui-même son propre modèle ou choisir l'un des modèles proposés par le fournisseur, avec un délai de livraison ferme.

(2) commandes relatives à des demandes de réassorts ou d'actualisation de quelques produits pour la saison en cours. Dans ce cas, les délais de ces commandes imprévues sont très réduits. Ce type de commandes peut mettre le système de production en situation de détresse pour assurer un meilleur compromis entre sa production déjà lancée et la nouvelle commande imprévue et urgente, avec une volonté du management à trouver le meilleur plan délai-coût-qualité.

Ces unités de productions, visant la satisfaction du client, donneur d'ordre, s'engagent à livrer une silhouette complète du produit fini, gérant ainsi les activités de production, de stockage et de transport des articles.

Une phase de stockage s'avère parfois nécessaire si les produits finis sont prêts avant que leurs délais de livraison ne soient atteints. Ces produits sont ainsi transportés aux dépôts pour une phase de stockage qui peut durer de quelques jours à quelques mois avant leur expédition au client final.

Un dépôt peut stocker différents types de produits, émanant d'une production en flux poussé ou tiré, et est caractérisé par : une capacité de stockage, différents coûts comme le

coût de stockage, de manutention, de chargement et de déchargement des moyens de transport.

I.3.1.3 Les sous-traitants

Nous distinguons deux types de sous-traitants :

- Les sous traitants de capacité : des producteurs peuvent avoir recours à ces sous-traitants pour produire des commandes urgentes ne pouvant pas être produites en interne à cause d'indisponibilité de capacité. Généralement ces commandes contiennent des faibles quantités. Les sous traitants de capacité se trouvent à proximité et sont assez flexibles.
- Les sous traitants de spécialité : ils sont des producteurs du marché textile-habillement international (localisés en Chine, Italie…) qui produisent plutôt des commandes contenant de grandes quantités à délai long (3 mois et plus) et à coût faible.

Tous les sous-traitants sont choisis selon des critères de qualité, disponibilité, délai et coût.

I.3.1.4 Les clients

Ils représentent les nœuds finaux du graphe présenté par la figure 1. Il s'agit des donneurs d'ordre. Ils peuvent être soit des clients internes représentant les boutiques du même groupe, soit des clients externes qui sont des industriels lanceurs de commandes et appartenant à d'autres groupes.

Les commandes sont caractérisées par : les types des produits demandés, la quantité demandée et le délai souhaité de réception de la demande.

Il est possible que pour un client, les commandes soient régulières dans le temps et prévisibles. Mais ce n'est pas le cas de tous les clients, car il est possible de recevoir des commandes d'une façon aléatoire.

I.3.1.5 Les prestataires

Entre les fournisseurs et les unités de production, le transport est à la charge des premiers, qui se considèrent responsables de la livraison de leurs produits (matières premières pour les unités de production).

Les flux inter-usines sont principalement informationnels et les transferts de produits est très rare sauf pour les matières premières.

Entre les unités de productions, représentant les sites du groupe, et les sous-traitants, nous retrouvons des flux physiques et informationnels. Les flux informationnels sont principalement sous forme d'ordre de fabrication de produits finis. Les flux physiques résident dans la livraison de matières premières des unités vers les sous-traitants et de retour de produits finis.

Les connexions de transport allant aux clients proviennent des dépôts. Les moyens de transport diffèrent selon la localisation du client : camion, bateau ou avion. Les flux émanant des clients sont généralement informationnels sous forme d'ordre de fabrication avec une possibilité de livraison des matières premières vers les unités. La livraison finale des produits finis des unités vers les clients se fait suite à l'établissement d'un commun accord sur un délai de livraison entre les deux acteurs.

I.3.2 Enjeux économiques dans l'industrie textile-habillement

I.3.2.1 L'évolution des marchés

Au cours de ces dix dernières années, la filière textile-habillement a fait face à une révolution industrielle radicale, qui a combiné la révolution technologique avec une transformation des réseaux de distribution et un changement de comportement du consommateur final. En effet, la part de l'habillement dans les dépenses des ménages ne cesse de diminuer. De plus, les comportements d'achat sont de plus en plus difficiles à prévoir à cause de la volatilité de la demande, d'un éclatement de séries de plus en plus courtes et d'une évolution à la baisse des coûts des produits liée à la globalisation des achats. Une telle mutation a fait que la société de consommation de masse se détourne vers une société à aspirations individuelles et spécifiques, et que les industries de manufactures qui poussaient leurs offres à divers clients indépendants font face à des modèles tirés par les clients spécifiques dont les ressorts stratégiques s'appuient sur une croissance de volumes et une diminution des coûts.

I.3.2.2 Indicateurs de performance dans l'industrie textile-habillement

Comme pour la majorité des secteurs industriels, la performance des entreprises du textile-habillement ne dépend plus uniquement d'une parfaite maîtrise et optimisation des coûts, mais inclut d'autres critères comme le coût, le délai, la flexibilité, la qualité et le niveau d'expertise.

a. Le facteur coût

Du point de vue coût, les théories économiques classiques, marxistes et néoclassiques, adoptaient l'hypothèse des coûts constants (rendements d'échelle constants), les industriels peuvent ainsi créer des unités de production d'un bien au même coût et les multiplier autant de fois que voulu. La réalité montre que cette hypothèse n'est pas réaliste, et que certaines branches industrielles bénéficient de rendements d'échelle croissants, donc de coûts décroissants : produire de plus grandes quantités diminue le coût moyen de production unitaire (cela bien sûr jusqu'à une certaine limite). On dit que l'entreprise réalise des économies d'échelle. En effet, dans le modèle de Krugman (Krugman, 2000) les grandes usines jouissent de coûts de production plus bas, elles ont intérêt à se concentrer à proximité des grands marchés pour réaliser les économies d'échelle et minimiser les coûts de transports. Mais les coûts de production sont généralement élevés, quoique décroissants suite à l'échelle, auprès des grandes villes à cause des salaires élevés et des frais généraux. Il est alors parfois préférable de s'installer plus loin dans la périphérie quitte à subir des surcoûts de transport et/ou de stockage. Mais jusqu'où aller ?, est certes, l'une des questions considérées par les producteurs. Pour un producteur européen : aller jusqu'en Chine où les coûts de production sont les plus bas ? ou jusqu'en Tunisie par exemple ? où les coûts de production sont plus élevés qu'en Chine mais les coûts de transport sont plus faibles. Ainsi, afin de survivre dans un tel environnement concurrentiel, les entreprises ont besoin de rationaliser les décisions de choix de fournisseurs pour ajuster et optimiser le coût comme facteur de compétitivité.

b. Le facteur délai

Des coûts élevés peuvent être acceptés car ils sont compensés par des délais plus rapides. En effet, les délais de livraison peuvent être très courts et la sélection d'un sous-traitant peut être basée sur ce critère. Chaque enseigne cherche à se distinguer face aux exigences de plus en plus accrues des donneurs d'ordre en respectant au mieux les délais de livraison et en offrant le produit « *just in time* ». Dans cette perspective, les industriels qui ont développé une stratégie collaborative avec les différents intervenants disposent d'un atout considérable et ceux qui en manquent, doivent impérativement renforcer leur intégration en amont et en aval de la chaîne. Donc afin de satisfaire le client final qui cherche le produit adéquat au meilleur coût et au bon moment, la coordination entre les activités au long de la chaîne d'approvisionnement, de production et de distribution apparaît vitale.

c. Le facteur qualité

La qualité du produit fini constitue aussi un critère primordial de sélection du producteur. En effet, la bonne finition des articles, la qualité de la matière et du tissu choisis ainsi que la qualité de la fabrication reflètent le savoir-faire des entreprises. Cependant, la qualité est un processus qui peut se nouer via des liens clients-fournisseurs en vue d'œuvrer a perfectionner le processus pour une qualité supérieure, mais ne suffit pas à garantir le succès commercial d'un produit.

d. Le facteur expertise et créativité

L'acte de créativité et d'innovation est très important dans la filière textile-habillement. En effet, en amont de la filière, des technologies et des procédés avancées sont utilisés pour le traitement des fils et tissus afin de leur attribuer des caractéristiques innovantes. En aval, l'expertise dans la confection du produit fini et l'innovation des modèles saisonniers proposés ne peut qu'améliorer la compétitivité de l'entreprise par une personnalisation des produits à haute valeur ajoutée. Ainsi, les façonniers cherchent sans cesse à innover dans leur domaine d'expertise en développant de nouvelles compétences lors de la mise en place des collections.

I.4 Problématique

Face aux pertes alarmantes des parts de marchés pour les industriels textile-habillement tunisiens dans le cadre de la lutte concurrentielle, ces industriels doivent agir en créant de nouvelles offres associant prix bas, délais réduits et services améliorés. Ceci peut être assuré en réalisant une adéquate planification des ressources à différents niveaux de décisions et en coordinant les activités associées aux divers intervenants de la chaîne.

De plus, vis-à-vis du comportement sélectif du consommateur, de l'émergence de produits personnalisés à courte durée de vie et en tenant compte des différents types de commandes, les industriels doivent satisfaire au mieux les clients en étant réactifs, rapides et de plus en plus flexibles avec un meilleur rapport qualité, prix, délai.

Dans ce sens, une maîtrise coordonnée des flux entre les fournisseurs, les producteurs et les clients, ne peut qu'induire une réponse rapide, personnalisée et optimale, conforme aux attentes des clients finaux. Cependant, traditionnellement, les différents acteurs gèrent leurs ressources de manière indépendante et la planification ainsi que la gestion des ressources de production et de distribution se fait avec peu ou sans coordination. Cette gestion décentralisée peut engendrer d'une part des coûts supplémentaires dus au placement de commandes imprévues et urgentes chez les sous-traitants ou en planifiant des heures supplémentaires coûteuses. D'autre part, des délais supplémentaires engendrés par une re-planification des ressources et un décalage de quelques productions suite à l'arrivée de ces commandes urgentes à placer au plus tôt. De même, des stocks importants (entraînant des coûts de maintien des stocks) et des cycles longs des produits risquent de se produire dès que le producteur opte pour une production de grandes quantités pour anticiper la demande de toute la saison sans parler du risque d'augmenter les invendus.

Nos travaux de recherche s'intéressent à une vision globale qui intègre la production et la distribution dans la chaîne. Une revue de la littérature concernant cette intégration est présentée par Mula et *al.* (2010), Chen (2010), Chen (2004), Sarmiento and Nagi (1999) et

Erenguç et *al.*(1999). Dans ce travail, nous nous intéressons à aborder le problème de coordination production-distribution en vue d'une application dans le secteur textile-habillement. Une présentation des différents types de coordinations au niveau de la chaîne logistique et une revue de la littérature traitant cet aspect sont détaillées par Thomas and Griffin (1996) et Arshinder et *al.* (2008). La revue de la littérature concernant ce problème de planification de la production et de la distribution et un positionnement du problème par rapport à cette littérature ainsi qu'une description des contributions de ce travail seront présentés dans le chapitre suivant.

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons le secteur textile-habillement, ses spécificités, ses acteurs, ainsi que les challenges pour la survie des producteurs. Dans le chapitre suivant, nous présentons le concept de la chaîne logistique ainsi qu'une revue de la littérature concernant le problème de planification de la production et de la distribution. L'un des objectifs sera d'ailleurs de prouver que l'absence de coordination dans la prise des décisions des différents acteurs de cette chaîne logistique (entre producteur-client) pourrait entraver sa performance globale. Ce processus d'intégration peut toucher différents aspects dans la planification de la chaîne logistique : l'intégration des activités de production et distribution, l'intégration des différents niveaux de décision, et l'intégration informationnelle entre les intervenants.

Chapitre II : Etat de l'art et approche de planification proposée

Introduction

Le modèle de chaîne logistique

Etat de l'art

Approche de planification proposée

Conclusion

II.1 Introduction

Ce chapitre présente l'approche de planification proposée à la chaîne logistique textile : la première section définit les concepts de base de la chaîne logistique et décrit le modèle de chaîne logistique textile adopté. La deuxième section sera dédiée à la revue de la littérature concernant le problème de planification de la production et de la distribution dans la chaîne logistique. La présentation de l'état de l'art débute par une synthèse des travaux qui ont traité le cas textile-habillement. Une critique de la littérature sera, par la suite, présentée afin d'affiner la problématique traitée et ressortir les contributions de notre travail. Enfin, la dernière section de ce chapitre détaillera notre approche de planification proposée pour ce problème d'intégration de la production et de la distribution.

II.2 Le modèle de Chaîne Logistique (CL)

II.2.1 Concept de base de chaîne logistique

La chaîne logistique est définie de différentes manières. La définition la plus commune considérée par Houlihan (1985), Stevens (1989), Lee and Billington (1993) et Lamming (1996) présente la chaîne logistique comme un ensemble d'acteurs, qui sont les fournisseurs, producteurs, distributeurs et clients, interconnectés par des liens physiques et informationnels (cf. figure 4).

Cette chaîne logistique est toujours considérée comme un réseau qui procure de la matière première et la transforme en des produits finis livrés aux clients. L'objectif étant une satisfaction de ce client au plus tôt et à moindre coût.

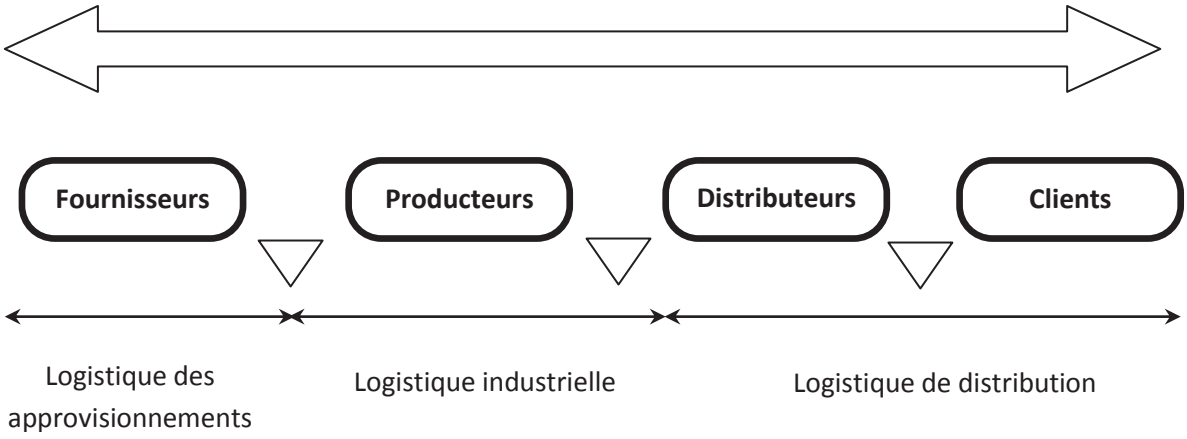

Figure 4 : Définition de la chaîne logistique

Dans une chaîne logistique, différents processus de base sont distingués : - un processus amont qui couvre la planification de l'approvisionnement avec la gestion de stock de la matière première, - un processus aval concernant la planification de la distribution, le transport et la livraison du produit fini et - un processus industriel interne qui consiste en la planification de la production et la gestion des ressources industrielles internes.

Le premier processus amont concerne l'approvisionnement et l'entreposage des matières premières et des produits intermédiaires. Le deuxième processus aval délimite l'acheminement des produits finis de l'entreprise jusqu'aux clients finaux ou détaillants. Ces produits peuvent être livrés directement ou acheminés via des centres de distribution. Le troisième processus cœur couvre la gestion des ressources des sites de production et les dépôts de stockage correspondants.

Entre les différents intervenants de la chaîne logistique, circulent trois catégories de flux : le flux physique ou de marchandises, le flux financier et le flux d'information.

II.2.2 Modèle de chaîne logistique adopté

Dans notre travail, nous tenons compte de la planification de la production, du stockage et de la distribution des références de produits textiles de type maille. Pour notre cas d'étude,

nous schématisons la chaîne logistique d'une entreprise tunisienne, produisant pour le marché national et international, avec différents sites de production internes, une variété de sous-traitants, des dépôts de stockage, des références de produits et une multitude de clients et utilisant différents modes de transport pour la distribution de la marchandise (bateau, avion, camion). Cette chaîne logistique est présentée comme suit :

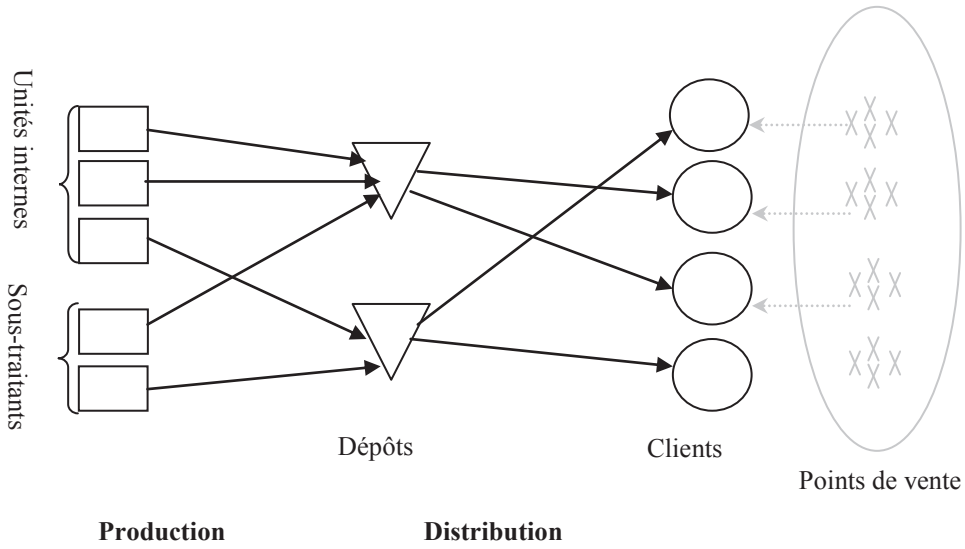

Figure 5 : Chaîne logistique textile

Cette chaîne logistique est caractérisée par la présence des deux types de sous-traitants : les sous-traitants de capacité et les sous-traitants de spécialité. Les premiers sont à proximité et produisent des commandes urgentes, mais offrant généralement des coûts de production élevés, et les seconds sont plutôt lointains mais ils offrent des coûts compétitifs, qui pourraient être même très inférieurs au coût de production en interne, mais un coût de transport élevé.

La difficulté réside donc dans le placement des commandes par le producteur, réceptionneur d'ordres, dans les différentes unités de productions et chez les sous-traitants à moindre coût et en respectant les délais de production et de distribution. Les quantités produites sont ensuite transportées aux dépôts de stockage.

Pour cette chaîne logistique textile-habillement considérée, les producteurs, dont les usines sont implantées en Tunisie, s'engagent à livrer le produit fini jusqu'au client. Ils valident une date de livraison prévue pour toute commande reçue et ont en échange les différents frais de transport. Les produits manufacturés sont livrés aux entrepôts intermédiaires, puis aux clients finaux moyennant des camions, bateaux ou avions. Les délais de transport ainsi que les coûts de transport fixes et variables dépendent du mode de transport utilisé.

Les sites de production internes reçoivent des ordres de production des clients locaux et étrangers. Ces commandes concernent les commandes de nouveaux produits, qui sont prévisibles et planifiées à l'avance ainsi que les commandes de réassorts et d'actualisation à produire pour la même saison. Ces dernières commandes sont de plus courtes échéances par rapport aux premières.

Lors de la réception de ces commandes, le producteur interne peut décider de les confier aux sous-traitants si la capacité de production interne n'est pas suffisante. Nous supposons cependant qu'un coût est associé au non utilisation de la totalité de la capacité interne. Ce coût permet par exemple de modéliser les coûts fixes des ressources de production.

Comme les clients ne peuvent pas estimer leurs demandes au début de la saison, le producteur est confronté à des ordres de production imprévisibles à courtes dates d'échéance. Pour répondre à ces nouvelles exigences, compte tenu de la production en cours, le producteur dispose de solutions alternatives en sous-traitant ou en planifiant des heures supplémentaires.

Au niveau de cette chaîne logistique textile-habillement, les acteurs sont confrontés à une gestion globale de la chaîne qui converge vers le consommateur final. Elle recouvre notamment le design du produit, la planification de la production en partenariat avec plusieurs sous-traitants, la gestion du stock, le transport et la livraison. Gérer cette chaîne logistique en sa globalité consiste à partager de l'information et les données en maîtrisant l'ensemble des flux. Ce besoin émane des attentes du client final qui cherche à se procurer le produit à temps sans entrer dans les subtilités de la gestion de l'amont de la chaîne.

Ainsi, il ne suffit pas à une entreprise d'améliorer les produits et services offerts, il est tout aussi impératif qu'elle coopère avec les autres acteurs pour fournir au client une solution complète. En effet, l'augmentation de la valeur ajoutée passe par la coopération entre les différents acteurs.

II.2.3 Typologie du problème de planification de la chaîne logistique

Dans ce qui suit, nous proposons de présenter la typologie du problème de planification de la chaîne logistique. Pour cela, nous choisissons huit critères essentiels à la classification de ce problème :

- L'horizon de planification : Il dépend du niveau de décision à considérer et il peut être mono-périodique (Romo et *al.*, 2009) ou multi-périodique (Armentano et *al.*, 2011).

- Les échelons de la chaîne : Certains travaux considèrent toute la chaîne logistique avec les quatre acteurs : fournisseurs, producteurs, dépôts et clients (Jang et *al.* ,2002). D'autres considèrent uniquement trois échelons avec les unités de production, les dépôts et les clients (Aliev et *al.*, 2007 ; Keskin and Uster, 2007). Et certains travaux se contentent d'étudier la chaîne à deux échelons avec les producteurs et les clients (Verderame and Floudas, 2009).

- Les produits : Certains problèmes traitent le cas mono-produit (Boudia et *al.*, 2007 ; Jang and Kim, 2007), d'autres s'intéressent au cas multi-produits (Wang and Su, 2007 ; Nishi et *al.*, 2007).

- Les unités de production : Les cas mono-site (Bolduc et *al.*, 2006, Jayaraman and Ross, 2003) et multi-sites de production (Eskiolu et *al.*, 2007) sont présents dans la littérature avec l'existence ou non d'éventuels locaux de stockage liés aux unités. La production dans ces sites peut être en parallèle ou en série. Certains travaux tiennent compte de l'activité de sous-traitance (Jolayemi and Olorunniwo, 2004) dans la planification du problème de coordination production-distribution.

- Les dépôts : Un ou plusieurs dépôts peuvent être considérés, avec des capacités de stockage limitées ou illimitées.

- Les clients : Un ou plusieurs clients peuvent être considérés. La demande exprimée par les clients peut être déterministe, connue ou estimée à l'avance, ou stochastique. Les stratégies de gestion de cette demande peuvent être du type MTS (*Make To Stock*) ou MTO (*Make To Order*).

La différence entre ces stratégies est faite selon six critères présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Comparaison entre les 2 stratégies de gestion de la demande

	MTS	**MTO**
Durée de livraison	Courte	Assez longue
Niveau de produit dans l'unité	Elevé	Bas
La promesse de livraison est basée sur	Disponibilité de produit	Capacité de production des unités
La planification de la production est basée sur	Prévisions	Ordres des clients
Manipulation de l'incertitude de la demande	Stock de sécurité	Réserve des capacités de production
Objectif primaire	Réponse immédiate	Réponse personnalisée avec réduction stock

- Les niveaux de décision : Les décisions considérées peuvent concerner le niveau stratégique (Brown et *al.*, 1987), tactique (Bramel, 2000 ; Cunha and Mutareli , 2007) ou opérationnel (Russel et *al.*, 2008 ; Nishi et *al.*,2007). Certains travaux traitent l'intégration de deux niveaux de décisions (Bidhandi et *al.*, 2009 ; Sousa et *al.*, 2007).

- La fonction objectif étant généralement la minimisation des coûts (Cunha and Mutarelli, 2007 ; Nishi et *al.*, 2007). Certains travaux visent la maximisation du profit (Park, 2005 ; Kim et *al.*, 2007). Rares sont les modèles multicritères (Arntzen et *al.*, 1995 ; Russel et *al.*, 2008).

II.3 Etat de l'art

Après présentation du secteur textile-habillement et de ses spécificités, nous passons dans cette section au recensement des travaux bibliographiques traitant le cas de l'industrie textile. Ces travaux concernent essentiellement la planification de la production pour ce type d'industrie, c'est ce qui nous a poussé à creuser plus dans d'autres travaux, traitant le problème de planification intégrée de la production et de la distribution en tenant compte des différents niveaux de décision. Ces travaux seront détaillés dans une deuxième section. Cette partie s'achève par la présentation d'un tableau synoptique synthétisant la majorité des articles étudiés.

II.3.1 Planification de la chaîne logistique textile

Les articles recensés, traitant la planification de la chaîne logistique dans l'industrie du textile-habillement, considèrent uniquement la planification de la production.
De Toni and Meneghetti (2000) ainsi que Dumoulin and Vercellis (2000) tiennent compte, dans leurs travaux, d'un seul étage de production qui consiste en la production de laines sur des machines parallèles et développent des programmes linéaires pour la modélisation de tels problèmes.

La firme de production considérée par De Toni and Meneghetti (2000) confie chaque phase du processus de production textile à des compagnies externes. Ainsi, plusieurs unités de production relatives aux collections saisonnières sont prises en compte, avec une approche de production à la commande (*MTO*). Pour chaque collection une seule date de livraison est établie. Dans leur modélisation de la division de production de laine, les auteurs formulent un programme linéaire qui vise la maximisation de la capacité de chargement des firmes de tricotage sous des contraintes de production, de disponibilité de matière première, de la capacité de chargement et du temps de production. Dans ce problème mono-périodique et multi-sites, on décide des affectations de la production aux firmes et des quantités à produire. Un tel problème est NP difficile pour des instances

réelles. Ce qui a mené les auteurs à utiliser, dans une deuxième étape, deux heuristiques. Les résultats sont ensuite comparés à la solution optimale.

D'un autre côté Dumoulin and Vercellis, (2000) traitent le problème de dimensionnement des lots de production dans le cas textile en considérant un niveau de planification à moyen terme et des produits à structure hiérarchique (les produits finis agrégés en familles de produits qui sont agrégés aux différents types). Ils développent à cet effet, un modèle mathématique multi-périodique à demande et capacité connues. Les auteurs tiennent compte dans leur modélisation du problème des temps de lancement de la production et des temps de changements en visant la minimisation des coûts de production, des coûts de stockage, des coûts de lancement et des coûts de rupture de stock. La décision étant d'accepter l'ordre émis par le client avec la date due ou de négocier la date selon le plan de production existant et la capacité disponible. Les auteurs ont considéré des dates de livraison qui varient entre 2 et 5 mois à partir de la date de réception de la commande et un horizon de planification composé de 13 périodes. Le programme linéaire formulé est ensuite relaxé moyennant la relaxation Lagrangienne puis décomposé en 3 sous problèmes résolus en un temps polynomial. Une approche heuristique est ensuite établie pour obtenir une solution réalisable du problème initial. Les auteurs ont aussi expliqué que dans le passé, les décisions étaient basées sur une évaluation agrégée simpliste de la capacité résiduelle disponible. Comme résultat la compagnie de production textile souffre d'unités saturées de produits, d'une instabilité des plans de production et d'un retard de livraison après dates dues. Ce qui appuie le fait que l'efficacité du processus de décision concernant l'acceptation des ordres dépend fortement de l'existence d'un plan de production réaliste à moyen terme. Sauf que le développement d'un plan optimum au niveau tactique dans le contexte textile est compliqué compte tenu de la diversité des produits, de la matière première et des temps de changements importants à en tenir compte.

Silva and Magalhaes (2006) traitent le problème *DLSP* (*Discrete Lot sizing and Scheduling Problem*) en tenant compte de la production des fibres acryliques combiné ou non aux

fibres naturelles. Le problème traité tient compte, tel que le cas pour Dumoulin and Vercellis (2000), d'une production de différents produits sur des machines parallèles indépendantes. Mais l'objectif étant de minimiser les temps de changements d'outillages et le retard de livraison de la fibre (après la date due). L'horizon de planification considéré au niveau de l'unité de rotation est de un mois. Le problème est traité de deux manières. Pour la première méthode, la période considérée est le jour et tous les ordres de production ont la même date due (dernier jour de l'horizon de planification), l'objectif étant de produire le maximum de fibres sur l'horizon en minimisant les changements. Pour la deuxième méthode, l'horizon est divisé en 4 ou 5 semaines et les ordres de production ont des dates dues associées à l'un des derniers jours des semaines considérées. L'objectif étant de produire le maximum de fibres sur l'horizon en minimisant le nombre de changements ainsi que la quantité de fibres produites après la date due. Une approche heuristique est utilisée par les auteurs et un système d'aide à la décision est développé pour supporter l'algorithme proposé.

Karacapilidis. and Pappis (1996) ont par contre présenté une vue globale du processus de production textile débutant par la production de fil suivie de la préparation de la chaîne pour le tissage puis le lancement de l'activité de tissage qui sera enchaînée par la finition et la teinture pour terminer par les phases de coupe et de couture. Cet article établit une synthèse des travaux précédents pour confirmer que l'industrie textile est une industrie à processus multi-phases avec différentes unités par phase, différents horizons de planification et différents éléments de production pour chaque phase. L'article considère la production de fil, tissu et vêtement pour les clients, en tenant compte de l'activité de sous-traitance. L'horizon de planification considéré est de 3 à 6 mois permettant de déterminer les quantités journalières exactes à produire et la séquence des tâches correspondantes avec le chargement des machines. La production peut être en *MTS* ou *MTO* selon la phase de production considérée. L'objectif de l'article étant de concevoir un outil d'aide à la décision pour la gestion de la production de l'industrie textile, visant une réduction du

stock, une amélioration de la productivité et un meilleur contrôle avec un bon service client.

A partir de notre revue bibliographique traitant le secteur textile-habillement, nous notons d'une part la rareté des travaux qui s'intéressent à l'optimisation de la production. D'autre part, nous confirmons les spécificités de ce secteur, précitées dans le chapitre I. Cependant, malgré l'importance du respect des délais clients pour ce type d'industrie, nous soulignons l'absence des travaux concernant la planification intégrée de la production et la distribution. Cette planification intégrée ne pourra qu'aider le producteur à planifier au mieux ses ressources en tenant compte des contraintes de transport afin de satisfaire le client final à temps et à moindre coût. Ce qui nous a incité à pousser notre recherche bibliographique pour couvrir d'autres domaines industriels traitant ce problème de planification intégrée de la production et de la distribution.

II.3.2 Les travaux traitant le problème de planification de la production et de la distribution

Compte tenu des variantes du problème de planification de la production et de la distribution qui ont été traitées dans la littérature, différentes approches de modélisation et de résolution ont été développées.

Pour la modélisation, plusieurs travaux considèrent l'approche analytique en utilisant la programmation mathématique ou la modélisation stochastique. Des approches heuristiques et méta-heuristiques sont aussi utilisées pour résoudre le problème intégré de production-distribution. L'approche hybride modélisation-simulation est aussi utilisée pour résoudre ce problème.

Afin de cerner les différents problèmes étudiés, nous avons opté pour une classification des travaux selon les différents niveaux de décisions.

En effet, la planification de la production et de la distribution intervient à trois niveaux de décisions: stratégique, tactique et opérationnel, comme décrit par Schmidt and Wilhelm(1999).

Ces trois types de décisions sont traités traditionnellement de manière indépendante. Néanmoins, certains travaux considèrent l'intégration de deux niveaux de décision incluant, dans la plupart de ces travaux, le niveau stratégique avec le niveau tactique ou opérationnel.

II.3.2.1 Planification au niveau stratégique

En ce qui concerne le niveau stratégique, il s'agit de la politique à long terme de l'entreprise et qui inclut le choix des investissements à faire. Les décisions se basent sur un long horizon de plus de deux ans et ont des impacts décisifs sur l'activité de l'entreprise et sur ses performances. Elles concernent la localisation des sites de production, des dépôts ou des centres de distribution (Verter and Dincer, 1995 ; Geoffrion and Graves, 1974), l'affectation des équipements aux sites de production (Brown et *al.*, 1987) ainsi que la définition des capacités (Luss, 1982 ; Rajagopalan *et al.*,1998).

Vidal and Goetschalckx (1997) ont présenté une revue de la littérature des modèles stratégiques de production-distribution. Les travaux ont été classés en quatre catégories : les anciens travaux, les modèles d'optimisation, les principaux aspects à considérer pour la modélisation et les études de cas. Une synthèse des différents travaux a été établie pour en recenser les lacunes et tracer les futurs axes de recherche. Les auteurs soulignent l'importance de la considération des éléments caractérisant l'aspect international tel que le taux de change et la taxe douanière. Goetschalckx et *al.* (2002) ont aussi présenté les caractéristiques des articles traitant le niveau stratégique pour une chaîne logistique globale (taxation, économie d'échelle, incertitude des prix des marchés…), et ont démontré les gains potentiels générés par l'intégration des niveaux de décisions.

Dans leurs travaux Geoffrion and Graves (1974) ainsi que Brown et *al.* (1987) ont présenté un programme en nombres entiers et mixtes (MIP) traitant le cas multi-produits. Pour les premiers, une nouvelle méthode pour la résolution du problème mono-périodique de localisation des centres de distribution entre les sites de production et les clients a été développée. L'algorithme de résolution se base sur la décomposition de Benders. Brown et *al.* (1987) ont en plus ajouté l'aspect d'affectation des équipements en considérant comme objectif la minimisation des coûts variables de production et de transport ainsi que les coûts fixes d'affectation d'équipements et de fonctionnement de l'usine. Les variables de décision concernent l'ouverture et la fermeture des sites et les quantités livrées aux clients. Ils ont appliqué au modèle une technique de décomposition primale, similaire à celle de Geoffrion and Graves (1974), en décomposant le problème initial en des sous-problèmes par produit. Verter and Dincer (1995a, 1995b) se sont intéressés aussi au problème de localisation de sites d'une multinationale. Dans le premier travail, ils ont noté la rareté des travaux qui s'intéressent aux aspects internationaux dans les modèles de production-distribution stratégiques. Dans le deuxième travail, ils ont présenté une revue de la littérature du problème de conception d'une chaîne logistique globale et ils ont confirmé la limitation des travaux traitant ces aspects stratégiques.

II.3.2.2 Planification au niveau tactique

Pour le niveau de planification tactique, il s'agit de prendre des décisions concernant la taille des lots de production et de transport ainsi que les niveaux de stocks, l'affectation des produits aux sites et aux dépôts, la longueur du cycle de production-distribution, etc. Les décisions à ce niveau sont prises sur un horizon de moins de 18 mois.

Vue l'abondance des travaux traitant ce niveau de décision, nous avons opté pour une séparation mono-site/multi-sites de production.

a. Production mono-site

Cas déterministe

Williams (1981), Burns et *al.* (1986) ainsi que Feser et *al.* (1985) sont considérés parmi les premiers travaux qui se sont intéressés à ce problème. Dans son article, Williams (1981) considère un problème multi-périodique de production d'un seul produit. L'auteur vise la minimisation de la somme des coûts de stockage et des coûts de production, par période, en déterminant la taille des lots de production et de distribution. Il teste sept heuristiques et discute leurs performances. Burns et *al.* (1986) ainsi que Feser et *al.* (1985) tiennent compte, par contre, du problème mono-périodique de production de différents produits. Burns et *al.* (1986) se sont intéressés à une chaîne logistique composée d'un fournisseur distribuant les produits à plusieurs clients répartis sur une région géographique. Ils comparent deux stratégies. La première, la livraison directe, impose que chaque client soit livré directement et isolément. La deuxième stratégie autorise un camion à livrer plusieurs clients. Une comparaison entre ces deux approches montre que la deuxième est la meilleure et que son avantage, en termes de coûts, augmente avec la distance entre le fournisseur et les clients, la densité des clients, la valeur des produits et les coûts de transport. Feser et *al.* (1985) modélisent le problème de production de poudre à laver dans un objectif de minimisation des coûts en tenant compte de différents dépôts de stockage.

Haq and Kanda (1991) ainsi que Barbarasoglu and Özgür (1999) traitent le problème multi-périodique en tenant compte aussi du stockage. Le programme linéaire en nombres mixtes formulé par Haq and Kanda (1991) modélise le processus industriel de production d'engrais d'urées. Il vise la minimisation des différents coûts, en tenant compte des temps de lancement de la production, des délais d'exécution et des déchets aux différents niveaux de la production ainsi que de leurs recyclages. Ce modèle permet de fournir sur un horizon de six mois les décisions à prendre concernant les quantités optimales à produire et à distribuer, ainsi que les niveaux de stocks aux différents étages de production et aux dépôts. Les mêmes décisions ont été considérées par Barbarasoglu and Özgür (1999) en tenant compte d'une production de différents produits puis leur livraison qui doit se faire

en juste à temps. Le problème formulé en un programme linéaire en nombres mixtes est résolu moyennant une approche basée sur la relaxation Lagrangienne.

Rizk et *al.* (2006) examinent aussi la coordination des flux des différents produits entre l'unité de production et le centre de distribution, mais la particularité de leur modélisation est que le coût de transport prend en compte les économies d'échelle à l'aide de fonctions linéaires par morceau. Les auteurs développent d'abord une formulation du problème multi-périodique de production comme un programme mixte en nombres entiers, puis ils proposent trois formulations différentes pour les coûts de transport. Afin de comparer les trois formulations, les auteurs expérimentent leurs modèles sur un cas pratique de l'industrie de pâte et de papier.

Cas stochastique

Parmi les travaux qui ont traité le problème stochastique de production et de distribution au niveau tactique, nous citons Pyke and Cohen (1994), Jang and Kim (2007) ainsi que Wang and Su (2007). Ces auteurs ont traité le cas d'une production mono-site avec la considération de deux ou trois échelons de la chaîne logistique et un objectif de minimisation des coûts pour les deux premiers travaux. Pyke and Cohen (1994) modélisent le problème multi-périodique d'une unité de production qui maintient un stock de produits finis et livre différents produits à un client unique. Les quantités produites sont stockées au dépôt puis distribuées. Une demande stochastique est associée aux différents produits. Jang and Kim (2007) considèrent, par contre, un problème mono-périodique intégrant la production et la distribution d'un produit vers des clients à demande stochastique. Le modèle tient compte des périodes de soldes et du coût d'attente chez les clients. Wang and Su (2007) étudient le cas d'une chaîne logistique faisant intervenir un système de production à deux échelons, un dépôt central et plusieurs clients qui utilisent les politiques de stock de base (*base-stock policy*). Pour le système de production considéré par ces auteurs, les pannes (*breakdowns*) sont stochastiques.

b. Production multi-sites

Cas déterministe

Une chaîne logistique à deux échelons est considérée par Bramel et *al.* (2000), Dhaenens-flipo (2000) et Garavelli et *al.*(1996). Garavelli et *al.*(1996) traitent le cas de production d'un seul produit et sa livraison à différents clients. Ils présentent un modèle de planification, développé dans un objectif de minimisation des coûts de production et de distribution et utilisent un algorithme génétique pour la recherche de solutions. Dhaenens-flipo (2000), Bramel et *al.* (2000) ainsi que Elhedhli and Goffin (2005) traitent, par contre, le problème multi-produits. Dhaenens-flipo (2000) décide de l'affectation des quantités à produire sur les différents sites afin de minimiser les coûts de production, stockage et distribution. Un programme linéaire en nombres entiers est formulé en tenant compte des temps de changements. La complexité d'un tel problème, appliqué à l'industrie de production de métaux, a induit la décomposition spatiale du problème. Pour Bramel et *al.* (2000) l'objectif étant de minimiser le coût moyen total sur un horizon infini. Néanmoins, l'aspect distribution n'est pas très influant puisque les auteurs considèrent des livraisons directes avec des camions pleins entre les unités de production. Elhedhli and Goffin (2005) traitent le cas d'une chaîne logistique à 3 échelons et visent la minimisation des coûts en décidant des quantités à livrer, des affectations des clients aux centres de distributions et de l'ouverture de ces derniers. La formulation du programme linéaire en nombres mixtes est renforcée par l'ajout d'inégalités valides.

Les autres travaux recensés au niveau tactique, tiennent compte du problème multi-produit et multi-périodique de production. Timpe and Kallrath (2000), Mohamed (1999), Mohamed and Youssef (2004) ainsi que Jolayemi and Olorunniwo (2004) développent des modèles qui visent la maximisation du profit total en intégrant des décisions de production et de distribution. Pour Mohamed (1999) Les décisions incluent la détermination des quantités à fabriquer et à stocker ainsi que leur affectation aux centres de productions et aux différents marchés. Le programme formulé étudie aussi la variabilité des décisions en fonction de l'inflation et du taux de change en tenant compte du coût de la variabilité de la

capacité, du coût de détention de capacité et du coût de stockage. Les résultats indiquent que le profit diminue de 45% en fonction de la variation du taux de change, des capacités initiales et des restrictions imposées par la compagnie. Jolayemi and Olorunniwo (2004) développent un modèle de planification de la production et du transport des produits vers différents dépôts. Ces derniers sont caractérisés par des capacités extensibles. Le modèle considéré permet de combler la demande insatisfaite par une sous-traitance qui sera déclenchée quand les capacités de production internes s'avèrent insuffisantes. Le modèle détermine les quantités à produire, leur affectation aux sites, les quantités transportées vers chaque dépôt, les quantités stockées ainsi que les quantités sous-traitées. Timpe and Kallrath (2000) tiennent compte dans leur formulation du problème de sites dispersés dans différents pays et de différents modes de fonctionnement de ces sites selon la demande des points de vente et des temps de changements. Le modèle a été appliqué à l'industrie chimique et peut être adapté à d'autres types d'industries.

Fumero and vercellis (1997), Ekiolu et *al.* (2007), Matta and Miller (2004), Kaminsky and Simchi Levi (2003), Cunha and Mutarelli (2007), Jang et *al.*(2002), Lee and Kim (2002) ainsi que Dhaenens-Flipo and Finke (2001) visent la minimisation des coûts en considérant différents échelons de la chaîne logistique. Le problème bi-échelon est considéré pour les six premiers travaux. Fumero and vercellis (1997) considèrent le problème de planification de la production sur stock pour décider des quantités à produire de chaque produit au niveau de chaque site et à chaque période de l'horizon de planification. Les auteurs tiennent compte, en plus des coûts de production, de stockage et de distribution, des coûts des commandes en attente. Le programme mathématique est résolu moyennant la technique de décomposition Lagrangienne. Ekiolu et *al.* (2007) considèrent aussi différents sites de production qui livrent les produits aux clients. Le problème formulé est NP-difficile et sa résolution directe est quasi impossible. D'où, une procédure heuristique basée sur la décomposition Lagrangienne est utilisée pour résoudre le problème, qui vise la détermination du meilleur plan production-stockage-distribution. Matta and Miller (2004) proposent, par contre, un problème de coordination entre une usine qui fabrique des

produits semi-finis et une autre usine qui les transforme en produits finis. Deux modes de transport sont considérés pour l'expédition des produits intermédiaires. Les coûts de stockage sont considérés au niveau des deux usines et durant le transit. Le programme formulé vise la détermination des niveaux de stock des produits dans les sites ainsi que leur affectation aux lignes de productions avec les temps de lancement et de changement de production. L'étude expérimentale montre qu'il y a 28% de gain au niveau des coûts de production et de transport pour le cas d'une industrie pharmaceutique. Kaminsky and Simchi Levi (2003) développent aussi un modèle à deux échelons où la production se fait dans deux usines à capacités finies : la première fabrique des produits intermédiaires qui seront livrés vers une deuxième usine où sont fabriqués les produits finis. L'objectif de ce modèle est de déterminer à chaque période les quantités à produire dans chaque étage, et les quantités à livrer. Le coût de transport considéré est non linéaire. Cunha and Mutarelli (2007) ont traité le problème de distribution de magazines hebdomadaires à partir de différents sites de production vers plusieurs zones en utilisant différents modes de transport. Le programme vise la détermination du nombre des sites de production ainsi que leurs localisations, l'affectation de chaque site aux différentes zones avec la spécification des modes de transport et la séquence de production à utiliser.

Dans ce qui suit, Jang et *al.*(2002), Dhaenens-Flipo and Finke (2001) et Lee and Kim (2002) tiennent compte des différents acteurs de la chaîne logistique. En effet, Jang et *al.*(2002) ont considéré le problème de conception et de planification de tout le réseau logistique. Le problème global est décomposé en 3 sous-réseaux formulés par des modèles mathématiques résolus moyennant une heuristique Lagrangienne. L'objectif du problème multi-étages de production et de distribution étant de déterminer les quantités à produire, stocker et distribuer. Ce problème est résolu moyennant un algorithme génétique. Pour Dhaenens-Flipo and Finke (2001) le but du travail est d'affecter des produits sur les lignes de bons rendements de façon à limiter les coûts de production, de regrouper des produits semblables sur des mêmes lignes pour minimiser le temps et les coûts associés aux changements ; et de fabriquer des produits dans les usines proches des clients de manière à

limiter les coûts de distribution. L'auteur tient compte des coûts de production, changement, transport et stockage. La particularité du travail de Lee and Kim (2002) réside dans l'approche hybride de résolution du problème intégré production-distribution. En effet, ils considèrent un modèle analytique et un modèle de simulation dynamique présentant le comportement du système.

Finalement, la particularité des travaux de Arntzen et *al.*(1995) et Vidal and Goetschalckx (2001) par rapport aux travaux précédents, est qu'ils tiennent compte du caractère international du réseau logistique en incluant un certain nombre d'éléments liés à la taxation, au prix de transfert ou au taux de change avec une considération de différents modes de transport. Artzen et *al.* (1995) considèrent une chaîne logistique de production multi-étages des ordinateurs. Le problème multi objectif considéré vise la minimisation du coût total, la minimisation du stock et du temps alloué à la distribution. Par contre Vidal and Goetschalckx (2001) visent la maximisation du profit. Le programme linéaire formulé est résolu moyennant une approche heuristique basée sur la relaxation.

Cas stochastique

L'aspect stochastique du problème a été présent dans les travaux de Cohen and Lee (1988), Aliev et *al.* (2007), Selim et *al.* (2007) ainsi que Liang (2008) qui considèrent le cas multi-sites, multi-produits et multi-échelons de la chaîne logistique. En effet, Cohen and Lee (1988) présentent un modèle pour coordonner les décisions et les performances tout au long de la chaîne soumises à des demandes stochastiques. Pour Aliev et *al.* (2007), l'objectif du problème multi-périodique étant la maximisation du profit. Ils considèrent des demandes et des capacités incertaines. Le modèle formulé, basé sur la programmation mathématique avec la logique floue est résolu moyennant l'algorithme génétique. La particularité des modèles multi-périodiques, développés par Selim et *al.* (2007) et Liang (2008) est qu'ils sont multi-objectifs. Selim et *al.* (2007) considèrent des heures supplémentaires afin d'améliorer la flexibilité des sites de production. Par contre, la particularité du programme linéaire, développé par Liang (2008), est qu'il vise la

minimisation des coûts et de la durée de livraison. Le modèle proposé a été appliqué à un cas industriel de production de composants électronique. Huchzermeier and Cohen (1996) considèrent, contrairement aux travaux précédents, le cas mono-produit et visent par le programme formulé la maximisation du profit.

II.3.2.3 Planification au niveau opérationnel

Le niveau opérationnel concerne les décisions à court terme comme l'ordonnancement de la production ainsi que l'affectation des produits aux machines et aux véhicules. Lee and Chen (2001), Nishi et *al.* (2007) ainsi que Verderame and Floudas (2009) ont tenu compte de certaines de ces décisions dans la formulation de leurs problèmes. En effet, Lee and Chen (2001) ont étudié différentes variantes du problème en tenant compte d'une seule machine, de plusieurs machines parallèles ou de flow shop avec une seule livraison ou plusieurs par véhicule. Chaque véhicule peut livrer un ou plusieurs produits. L'objectif étant de minimiser le temps total de livraison. Nishi et *al.* (2007) considèrent un processus de production simple avec un seul étage composé de machines parallèles. Le problème est formulé en un programme linéaire en nombres mixtes qui consiste à déterminer la séquence de production, le temps de lancement des opérations de production, la quantité stockée ainsi que la quantité distribuée aux clients afin de minimiser le coût total incluant les pénalités de retard de livraison. Pour la résolution, la méthode de décomposition Lagrangienne est appliquée puis une procédure heuristique est établie pour obtenir une solution réalisable. Cette approche est appliquée à un problème de planification et d'ordonnancement de la ligne de production d'aluminium à trois niveaux. Quant au problème multi-site traité par Verderame and Floudas (2009), il s'applique à l'industrie chimique et vise la détermination des quantités journalières à produire et à distribuer.

Chandra and Fisher (1994), Fumero and Vercellis (1999), Armentano et *al.* (2011), Boudia et *al.* (2007), Bolduc et *al.* (2006) et Russel et *al.* (2008) tiennent compte des décisions concernant les tournées de véhicules et traitent le problème multi-périodique, avec une considération d'une seule unité de production et un objectif de minimisation des coûts de

stockage, production et distribution. Park (2005) vise, par contre, par son travail la maximisation du profit.

Chandra and Fisher (1994), Fumero and Vercellis (1999), Armentano et *al.* (2011), Bolduc et *al.* (2006) ainsi que Russel et *al.* (2008) traitent le problème multi-produit de production et de distribution. Les deux premiers travaux ont établi une comparaison entre une approche intégrée des problèmes de planification de la production et des tournées de véhicules et d'une approche découplant les deux problèmes pour constater que l'intégration induit une réduction du coût de 3% à 20%. Chandra and Fisher (1994) considèrent le cas d'un centre de production, maintenant un niveau de stock de produits finis, qui livre différents clients moyennant une flotte de véhicules homogène. Fumero and Vercellis (1999) ont traité un problème analogue au précédent mais en supposant l'existence d'un nombre limité de véhicules disponibles pour la livraison des produits à chaque période de temps. Le modèle développé par Armentano et *al.* (2011) décide des quantités à produire, des stocks des clients, des quantités à acheminer et des routes à utiliser. Bolduc et *al.* (2006) tiennent compte, contrairement aux travaux précédents, d'une flotte de véhicules hétérogènes qui livre différents produits à une centaine de clients à travers un centre de distribution. Le programme mathématique formulé modélise le problème du '*single-retailer-route*' et est résolu moyennant quatre procédures heuristiques. La particularité du problème traité par Russel et *al.* (2008) est qu'il est multi-objectif et vise la minimisation du nombre de véhicules utilisés ainsi que la distance totale parcourue. Ce problème appliqué à la production et la distribution de journaux, est modélisé comme un problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps et des contraintes de zones. La méthode de recherche Tabu est utilisée pour la résolution. Elle a montré son efficacité à partir du moment où le nombre de véhicules a été réduit de 18% et la distance totale parcourue de 3%.

Boudia et *al.* (2007) ainsi que Metters (1996) ont par contre considéré le cas mono-produit. Les décisions du modèle de Boudia et *al.* (2007) concernent les niveaux de stocks, les

quantités à produire et à transporter avec la détermination des tournées et les véhicules qui y sont affectés. Metters (1996) expose, quant à lui, le problème de l'interaction entre le transport et le tri du courrier (équivalent à une phase de production chez les services de poste) chez USPS (*United States Postal Service*). Le but de son travail n'est pas seulement de minimiser les coûts mais aussi de réduire les délais de distribution du courrier. Ce problème multi-périodique est modélisé sous forme de programme linéaire mixte.

II.3.2.4 Intégration des niveaux de décision

La question qui se pose lors de la planification de la chaîne logistique en tenant compte de différents niveaux de décision tourne autour de la faisabilité des décisions prises à un niveau de décision donné au niveau plus bas. En effet, les décisions prises au niveau stratégique ou tactique peuvent ne pas être réalisables respectivement au niveau tactique ou opérationnel, essentiellement pour les travaux qui traitent traditionnellement les niveaux de décision de manière séquentielle. Certains travaux tiennent compte de l'intégration des niveaux de décisions dans leur planification. Selon notre revue de la littérature, la majorité des travaux inclut le niveau stratégique. Rares sont les travaux qui intègrent simultanément les niveaux tactiques et opérationnels.

a. Travaux incluant le niveau stratégique

Keskin and Üster (2007), Cohen and Lee (1989), Sabri and Beamon (2000), Bidhandi et *al.* (2009), Tsiakis et *al.* (2007), Kim et *al.* (2007) et Jayaraman and Pirkul (2001) traitent le problème multi-sites, multi-produits et multi-échelons de la chaîne logistiques. Pour Keskin and Üster (2007), Bidhandi et *al.* (2009), Tsiakis et *al.* (2007) et Jayaraman and Pirkul (2001) les modèles mathématiques mono-périodiques linéaires proposés visent la minimisation du coût total du système. Keskin and Üster (2007) visent la détermination les localisations des centres de distribution ainsi que l'affectation des clients à ces centres et l'affectation de ces derniers aux unités de production, en tenant compte d'une capacité limitée des centres de production et de distribution. Pour la résolution, des approches méta-heuristiques sont utilisées, afin d'obtenir des solutions acceptables en un temps

raisonnable. La particularité du travail de Bidhandi et *al.* (2009) réside dans l'utilisation de la procédure de décomposition de Benders pour l'analyse du modèle intégrant des décisions stratégiques et tactiques. Un nouvel algorithme est par la suite développé pour fournir une bonne borne inférieure de la fonction objective. Le programme linéaire en nombres mixtes proposé par Tsiakis et *al.* (2007) vise à déterminer la configuration optimale du réseau de production et distribution d'une industrie de produits chimiques sous des contraintes opérationnelles et financières. L'objectif étant de minimiser le coût total annuel du réseau logistique en tenant compte de l'infrastructure et des coûts opérationnels. Ce problème est formulé en tenant compte des contraintes de structure du réseau, de flux de matières produites et transportées, de capacité de production, de capacité de distribution et des contraintes de taux de changes. Les résultats obtenus montrent clairement le gain obtenu lorsque les méthodes heuristiques sont appliquées à la structure du réseau. Un tel gain est assuré par : - une meilleure utilisation des unités de production en sélectionnant l'ensemble des produits adéquats - par une minimisation de l'activité de sous-traitance - par une bonne gestion des déchets et du transport des produits - par de bonnes décisions au niveau de l'infrastructure - et par une spécialisation des unités de production.

La spécificité du problème formulé par Jayaraman and Pirkul (2001) est qu'il tient compte de tous les acteurs de la chaîne logistique, y compris les fournisseurs de la matière première. Ce problème vise la détermination de la localisation des unités et des dépôts ainsi que la stratégie de distribution des différents produits en minimisant les différents coûts. Appliqué au cas de l'industrie des produits de santé, il est difficile de trouver une solution optimale à toutes les instances de ce problème qualifié de NP-complet. De ce fait, Jayaraman and Pirkul font recours à l'utilisation d'une procédure basée sur la relaxation Lagrangienne.

Kim et *al.* (2007) développent un modèle mathématique mono-périodique, multi-produit pour un réseau multi-échelon de la chaîne logistique, en considérant plusieurs unités de productions, différents centres de distributions et plusieurs clients. Le problème de

production-distribution est appliqué au cas de l'industrie de raffinage de produits pétroliers et le programme mathématique formulé vise la maximisation du profit. Dans leur formulation du problème, les auteurs proposent un modèle intégré de reconfiguration du réseau de distribution qui détermine les taux de production optimaux dans les raffineries ainsi que la localisation des centres de distribution et les routes de transport vers les marchés.

Le modèle formulé par Cohen and Lee (1989), appliqué à une industrie de production d'ordinateurs, est par contre formulé en un programme non linéaire en nombres mixtes qui tient compte d'une pénalité de non satisfaction de la demande. Au niveau stratégique, le modèle décide des localisations et des capacités des sites et des dépôts. Au niveau tactique, les quantités livrées entre les différents acteurs de la chaîne sont à déterminer. Une approche heuristique hiérarchique est proposée pour résoudre ce problème.

Le modèle développé par Sabri and Beamon (2000) est multi-objectif et tient compte du coût total et de la flexibilité du volume (différence entre les capacités disponibles des sites et des centres de distribution et la capacité réellement utilisée). Le sous modèle stratégique est formulé par un programme multi-objectif en nombres mixtes. Les deux sous modèles traitant le niveau opérationnel concernant les fournisseurs et les producteurs sont formulés sous forme de programmes non linéaires. L'article de Jayaraman and Ross (2003) contrairement aux travaux précédents, tient compte d'une seule unité de production qui fabrique différents produits, puis elle les livre à des clients en passant par des dépôts. En plus, le problème mono-périodique tient compte de sites de regroupements des produits (cross-docks). Un premier modèle traitant le niveau stratégique est développé et vise à déterminer les meilleures localisations des centres de distribution et des sites de regroupements. Un autre modèle traitant le niveau tactique vise à déterminer les quantités nécessaires des produits à transporter de l'unité de production aux centres de distribution et les quantités livrées des dépôts aux sites de regroupements puis aux clients. Le premier modèle est résolu et les outputs obtenus ont servis d'inputs dans le deuxième modèle. Des

solutions optimales sont générées pour des instances de petites tailles. Néanmoins, pour des instances de tailles plus réalistes, cette approche à deux phases ne donne pas de bons résultats. C'est pourquoi les auteurs ont fait recours à des méta-heuristiques en utilisant un algorithme de recuit simulé pour résoudre le problème considéré.

b. Travaux intégrant les niveaux tactique et opérationnel

Sousa and *al.* (2007) traitent le problème multi-sites, multi-produits et multi-échelons de la chaîne logistique. Ils modélisent le problème d'optimisation de la chaîne logistique agrochimique, en deux phases. La première consiste à reconcevoir le réseau global pour optimiser la production et la distribution sur un horizon d'une année. Les outputs de ce premier modèle étant la configuration générale de la chaîne logistique et les décisions relatives à l'allocation des ressources. Ces derniers servent d'inputs au deuxième modèle traitant le niveau opérationnel. Ce modèle fournit les plans détaillés de production-distribution et l'évaluation du niveau de satisfaction client en considérant l'affectation des produits aux lignes de production. Pour Kanyalkar and Adil (2005) une capacité de transport infinie est prise en compte sans considération de *set-up* et de *lead-time*. Romo et *al.* (2009) s'intéressent à l'optimisation de la production et du transport du gaz naturel Norvégien en développant un outil d'aide à la décision qui se base sur un programme en nombres mixtes visant la maximisation des flux de gaz sur tout le réseau. Le problème considéré est mono-périodique et les variables de décision concernent le flux circulant d'un nœud i à un nœud j et les pressions entrantes et sortantes du pipeline. Ozdamar and Yazdac (1999) traitent le cas industriel d'une production de détergents liquides et poudre et leur stockage dans différents dépôts. Dans une première phase, les auteurs développent un modèle qui considère la production de deux produits agrégés (liquide et poudre) sur une période de 2 mois. Ce premier modèle vise la minimisation des coûts et est résolu sur un horizon glissant. Dans une 2ème phase, les décisions agrégées sont désagrégées en des décisions plus fines en termes de périodes de temps, de familles de produits et de quantités stockées et distribuées aux dépôts. La relation entre les deux modèles est obtenue en imposant des contraintes additionnelles au 2ème modèle désagrégé. La non réalisabilité des

solutions désagrégées est résolue par une procédure itérative de relaxation des contraintes, qui a permis de résoudre les deux modèles en considérant les 2 niveaux d'agrégation jusqu'à obtenir une solution réalisable. La simulation a montré que l'écart entre la solution optimale et la solution obtenue par l'approche hiérarchique est de 3 à 4% comparé aux solutions du problème agrégé.

II.3.3 Synthèse

En tenant compte de la typologie des problèmes de planification de la chaîne logistique présentée dans la section II.3.2, nous dressons un tableau récapitulant les caractéristiques des travaux recensés dans la littérature :

Tableau 2 : Synthèse des travaux bibliographiques traitant le problème de planification de la production et de la distribution

	Niveau de décision			Nombre d'échelons		Nombre de produits		Nombre de sites		Nombre de périodes		Application industrielle
	stratégique	tactique	opérationnel	<= 2 échelons	>= 3 échelons	1 produit	multi-produits	1 site	multi-sites	1 période	multi-périodes	
Aliev et *al.*(07)		×			×		×		×		×	
Armentano et *al.*(11)		×		×			×	×			×	
Artzen et *al.*(95)		×		×			×		×		×	Ordinateurs
Barbasoglu , Ozgur(99)		×		×			×	×			×	
Bidhandi et *al.*(09)	×	×			×		×		×	×		
Bolduc et *al.*(06)			×		×		×	×			×	
Boudia et *al.* (07)			×	×		×		×			×	
Bramel (00)		×		×			×		×	×		
Brown et *al.*(87)	×			×			×		×	×		Agroalimentaire
Burns(86)		×		×			×	×		×		
Chandra, Fisher(94)		×		×			×	×			×	
Cohen, Lee (88)		×			×		×		×	×		

	Niveau de décision			Nombre d'échelons		Nombre de produits		Nombre de sites		Nombre de périodes		Application industrielle
	stratégique	tactique	opérationnel	<= 2 échelons	>= 3 échelons	1 produit	multi-produits	1 site	multi-sites	1 période	multi-périodes	
Cohen, Lee(89)	×	×			×		×		×	×		Prod. ordinateurs
Cunha, Mutareli (07)		×		×			×		×		×	Magazines hebdomadaires
Dhanens flipo(00)		×		×			×		×	×		Prod. métaux
DhanesFlipo, Finke (01)		×			×		×		×		×	
Ekiolu et *al.* (07)		×		×			×		×		×	
El hedhli, Goffrion(05)		×			×		×		×	×		
Feser et *al.* (85)		×			×		×	×		×		Prod. Poudre à laver
Fumero, Vercellis(97)		×		×			×		×		×	
Fumero, Vercellis (99)		×		×			×	×			×	
Garavelli et *al.*(96)		×		×		×			×	×		
Geoffrion, Graves (74)	×				×		×		×	×		

	Niveau de décision			Nombre d'échelons		Nombre de produits		Nombre de sites		Nombre de périodes		Application industrielle
	stratégique	tactique	opérationnel	<= 2 échelons	>= 3 échelons	1 produit	multi-produits	1 site	multi-sites	1 période	multi-périodes	
Haq, Kanda(91)		×			×	×		×			×	Prod. engrais
Huchzermeier, Cohen (96)		×			×	×			×		×	
Jang et *al.* (02)		×			×		×		×		×	
Jang, Kim(07)		×		×		×		×		×		
Jayaraman, Pirkul (01)	×	×			×		×		×	×		Produits de santé
Jayaraman, Ross(03)	×	×			×		×	×		×		
Jolayemi, olorunniwo (04)		×		×			×		×		×	
Kaminsky, Simchi (01)		×		×			×		×		×	
Kanyalkar, Adil (05)		×	×	×			×		×		×	
Keskin, Uster(07)	×	×			×		×		×	×		
Kim et *al.*(07)	×	×			×		×		×	×		Raffinement prod. pétrolier
Lee, Chen(01)			×	×			×		×		×	

	Niveau de décision			Nombre d'échelons		Nombre de produits		Nombre de sites		Nombre de périodes		Application industrielle
	stratégique	tactique	opérationnel	<= 2 échelons	>= 3 échelons	1 produit	multi-produits	1 site	multi-sites	1 période	multi-périodes	
Lee, Kim(02)		×			×		×		×		×	
Liang (08)		×			×		×		×		×	
Matta, Miller(04)		×		×			×		×		×	Indus. pharmaceutique
Metters(96)			×	×		×			×		×	Service postal
Mohamed (99)		×		×			×		×		×	
Mohamed, Youssef (04)		×		×			×		×		×	
Nishi et *al.*(07)			×		×		×	×			×	Prod. aluminium
Ozdamar, Yazdac (99)		×	×		×		×	×			×	Produits détergents
Park(05)		×		×			×		×		×	
Pyke, Cohen(94)		×			×		×	×			×	
Rizk et *al*. (06)		×		×			×	×			×	Indus. pâte et papier
Romo et *al.* (09)		×	×		×		×		×	×		Gaz naturel
Russel et *al.* (08)			×	×			×	×			×	Prod. journaux

	Niveau de décision			Nombre d'échelons		Nombre de produits		Nombre de sites		Nombre de périodes		Application industrielle
	stratégique	tactique	opérationnel	<= 2 échelons	>= 3 échelons	1 produit	multi-produits	1 site	multi-sites	1 période	multi-périodes	
Sabri , Beamon(00)	×	×			×		×		×	×		
Selim et *al.*(07)		×			×		×		×		×	
Sousa et *al.*(07)		×	×		×		×		×		×	Agrochimie
Timpe, Kallrath(00)		×		×			×		×		×	Indus. chimique
Tsiakis et *al.*(07)	×	×			×		×		×	×		Indus. chimique
Verderame, Floudas (09)			×	×			×		×		×	Indus. chimique
Vidal, Goetsch (01)		×			×		×		×	×		
Wang, Su(07)		×		×			×	×		×		
Williams (81)		×			×	×		×			×	

Compte tenu de ce tableau récapitulatif présentant les différents travaux traitant le problème de planification de la production et de la distribution, nous constatons que :

- De point de vue structure de la chaîne logistique considérée, uniquement 7 articles, représentant 13% des travaux synthétisés dans le tableau, tiennent compte de 3 échelons ou plus de la chaîne tout en traitant le problème multi-périodique, multi-sites et multi-produits. Parmi ces derniers, 2 travaux uniquement considèrent une capacité de production supplémentaire l'un moyennant des heures supplémentaires (selim et *al.*, 2007), l'autre moyennant l'activité de sous-traitance (Jolayemi and Orunniwo, 2004). Par contre, la chaîne logistique globale, avec différents clients et différents sites de production internes et externes répartis dans plusieurs pays avec des coûts de production et de transport différents, n'est pas considérée dans ces deux travaux. D'un autre côté, uniquement deux travaux tiennent compte de plusieurs moyens de transports (2 moyens de transports pour Matta and Miller, 2004 ; différents moyens pour Cunha and Mutarelli, 2007).

- De point de vue niveau de décision, environ 11 articles, représentant 19% des travaux synthétisés dans le tableau, tiennent compte de l'intégration de deux niveaux de décision incluant dans la plupart des cas le niveau stratégique. En effet, nous avons recensé uniquement 4 travaux qui intègrent les niveaux de décision tactique et opérationnel. Mais uniquement un seul article (Sousa et *al.*, 2009) modélise un problème multi-périodique, multi-sites et multi-produits d'une chaîne logistique à 3 échelons, s'appliquant à l'industrie agrochimique et sans considération d'activité de sous-traitance ou d'heures supplémentaires.

- De point de vue application industrielle, environ 20 articles, représentant 35% des travaux synthétisés dans le tableau, considèrent des cas d'études réels de l'industrie chimique, agroalimentaire, pharmaceutique, etc. Mais l'industrie textile-habillement n'a pas encore fait l'objet d'étude de ce problème de planification intégrée de la production et de la distribution, ce qui nous incite à creuser dans les travaux traitant ce type d'industrie pour l'activité de production.

II.4 Approche de planification proposée

Compte tenu de la synthèse bibliographique présentant les différents travaux qui traitent le problème de planification de la production et de la distribution, et de l'absence d'une telle planification coordonnée pour le cas de l'industrie textile-habillement, nous proposons de présenter notre approche de planification qui vise à fournir le planning de production et de distribution optimal. Elle tient compte de différents sites de production, où les produits sont fabriqués, puis livrés aux clients, en passant par les entrepôts moyennant trois modes de transport tout en tenant compte des délais de production et de transport ainsi que des activités de sous-traitance et des heures supplémentaires pour réajuster les capacités internes.

Lors de la réception d'une commande client, le producteur aura à gérer une production déjà lancée et une commande à placer dans la chaîne de production ou auprès des différents sous-traitants à moindre coût et en respectant les délais. La difficulté émane de la gestion de différents types de commandes explicitées précédemment (mise en place et réassort) en tenant compte des ressources internes disponibles et des différents sous-traitants locaux et lointains.

Compte tenu de l'arrivée fréquente des demandes imprévisibles, il est important que le producteur épargne de la capacité interne pour produire, au bon moment et à moindre coût, les ordres de production imprévus et urgents. Cela peut être assuré par la considération d'une capacité interne de sécurité au niveau tactique pour répondre, de façon optimale, aux demandes opérationnelles qui pourraient arriver. C'est ainsi que l'approche proposée doit anticiper les décisions opérationnelles au niveau de planification tactique.

Cette approche permettra ainsi au producteur de planifier le problème intégré de la production et de la distribution aux niveaux tactique et opérationnel, tout en réservant de la capacité de production interne au niveau tactique pour l'utiliser au niveau opérationnel. Notre objectif est de tester l'intérêt de la considération d'une réserve de capacité de production et de la dimensionner au niveau tactique, afin de mieux satisfaire les commandes de réapprovisionnement au niveau opérationnel avec un coût total minimum.

L'approche sera par la suite testée sur un cas d'étude réel d'une entreprise textile tunisienne.

II.4.1 Intégration tactique-opérationnel

Notre approche pour la planification de la production et de la distribution, telle que présentée à la figure 6 permet d'intégrer deux niveaux de décisions : tactique et opérationnel. Ceci est justifié par la variation des délais de livraison des commandes. En effet, différentes commandes peuvent être prévisibles et même à délais de livraisons pouvant atteindre les six mois. D'autres demandes arrivent d'une façon imprévue avec un délai de livraison beaucoup plus restreint de l'ordre même de la semaine.

Pour la planification tactique, un premier modèle mathématique est élaboré. Il considère un horizon de planification de T mois. En entrées, ce modèle tactique reçoit les demandes, la réserve de capacité de production, les différentes capacités et les délais de production et de distribution, et les différents coûts. En sortie, il détermine les quantités à produire dans les différents sites internes, ainsi que les quantités à sous-traiter à l'étranger ou en local, avec les quantités à stocker et à distribuer pour chaque période élémentaire de l'horizon T, de manière à minimiser les coûts globaux au niveau tactique.

Au niveau opérationnel, l'objectif est de détailler les quantités obtenues pour chaque période élémentaire de l'horizon T, prévues à être produites en interne au niveau tactique, sur les semaines et de placer les nouvelles commandes imprévues et urgentes qui arrivent. Il est évident que les ordres de production à ce niveau ont un délai de livraison restreint et sont introduits moyennant un horizon opérationnel glissant. Ces nouvelles commandes sont planifiées en utilisant la réserve de capacité de production considérée au niveau tactique, en plus des heures supplémentaires. Elles sont affectées à différents sites de production internes et/ou aux sous-traitants locaux.

Dans notre approche, pour le programme mathématique développé au niveau opérationnel, les décisions opérationnelles prises pour la première période sont figées et les coûts de production, de distribution et de stockage relatifs sont pris en compte. Toutefois, les décisions

prises pour les autres périodes ne sont pas fermes et pourraient être modifiées, tout en introduisant les nouveaux ordres de production qui arrivent récemment. Quand un nouvel ordre arrive, sur la période opérationnelle, avec un délai de livraison supérieur au nombre de périodes de l'horizon opérationnel, le modèle tactique est appliqué au début de la période tactique suivante, car il pourrait être intéressant de considérer de nouveaux sous-traitants lointains pour ces types de commandes puisque les délais le permettent. Les nouvelles affectations décidées par le modèle tactique seront, évidemment, considérées au niveau opérationnel. Cette procédure se répète jusqu'à la fin de l'horizon tactique.

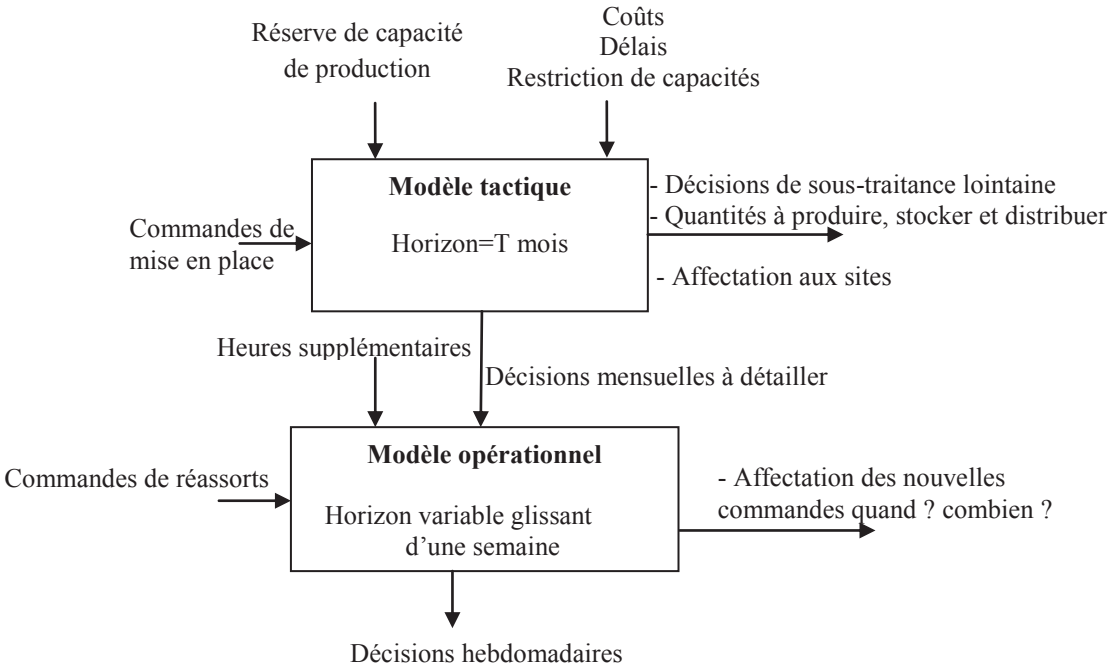

Figure 6 : Approche de planification proposée

II.4.2 Horizon glissant

Afin d'expliciter notre approche et la notion d'horizon variable, nous considérons que le modèle de planification tactique tient compte d'un horizon de 6 mois et que le modèle opérationnel considère initialement un horizon de planification de deux mois avec une périodicité hebdomadaire en supposant que chaque mois est représenté par 4 semaines. Le

choix pour le premier modèle est lié à la collection, puisque la production annuelle dans le secteur textile correspond en général à deux collections (printemps/été, automne/hiver). Par contre pour le deuxième modèle opérationnel, ce choix est nécessaire afin de pouvoir planifier la production et la distribution, au niveau opérationnel, en tenant compte de tous les modes de transport, y compris le bateau qui nécessite un délai de livraison supérieur à 1 mois. Par la suite, un horizon glissant hebdomadaire est utilisé afin d'insérer les commandes de réassorts ou actualisation qui risquent d'arriver au fil des semaines. Par ailleurs, au niveau opérationnel, une fois le mois entamé, nous devons recueillir toutes les décisions tactiques prévues pour ce mois-ci. Ainsi, l'horizon glissant opérationnel doit atteindre la fin du mois pour détailler par semaine toutes ces décisions déjà prises en insérant au fur et à mesure les commandes de réassorts et d'actualisation qui arrivent. D'où nous jugeons nécessaire la considération d'un horizon de planification opérationnel variable et le nombre de périodes de cet horizon glissant dépend de la position de la «première période» (semaine) dans le «mois» et varie de 8 à 11 semaines pour un horizon opérationnel de 2 mois (cf. figure 7).

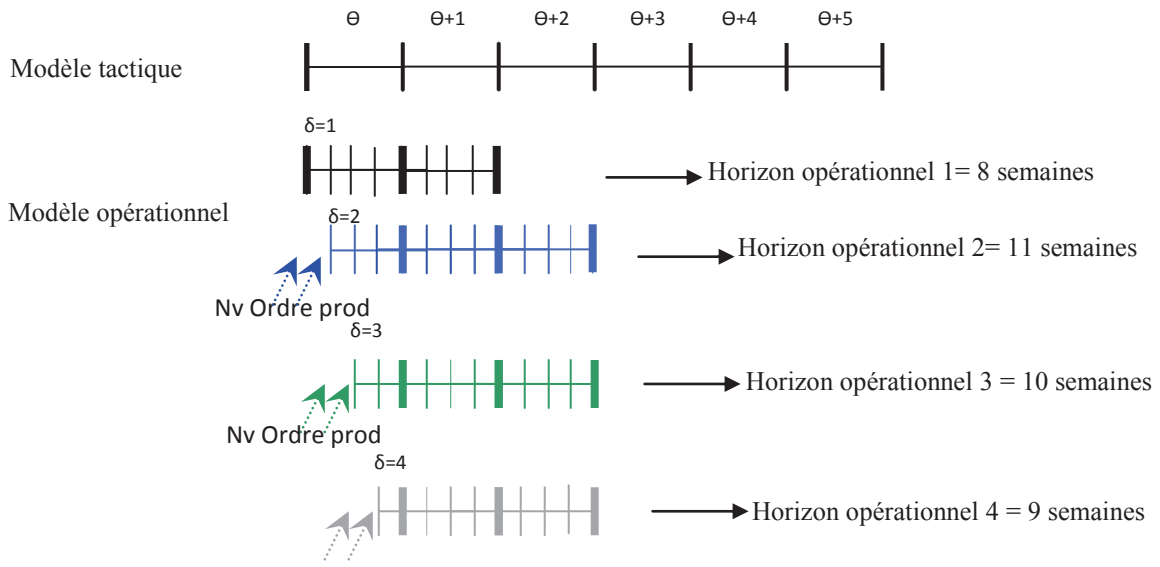

Figure 7 : Principe de l'horizon glissant au niveau des décisions opérationnelles

En effet, les demandes planifiées pour le 3ème mois au niveau tactique, par exemple, doivent être respectées au niveau opérationnel et placées sur les 4 semaines de ce mois. D'où pour l'opérationnel 2, trois semaines sont ajoutées pour atteindre la fin du mois, pour l'opérationnel 3, deux semaines sont ajoutées et pour l'opérationnel 4, une semaine est ajoutée pour pouvoir bien placer toutes les quantités décidées au niveau tactique sur ce troisième mois. Et puis la même chose se répète pour les autres mois à venir.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons un état de l'art des travaux traitant le problème de planification de la production et de la distribution. A partir de cette revue bibliographique nous avons noté d'une part, l'absence des travaux concernant la planification intégrée de la production et la distribution pour le secteur textile-habillement ; d'autre part, la rareté des travaux intégrant les niveaux de décisions tactique et opérationnel en tenant compte d'une chaîne logistique multi-échelons, multi-sites, des délais de production et de livraison pour un problème multi-produits et multi-périodes, tout en intégrant les activités de sous-traitance et de production en heures supplémentaires. Dans la deuxième section de ce chapitre, nous développons l'approche proposée en tenant compte des spécificités du secteur textile-habillement. Cette approche sera évaluée dans les chapitres suivants en considérant initialement un découplage informationnel entre les producteurs et les clients. Puis, la performance de cette approche sera jugée en envisageant un partage d'information entre ces deux acteurs.

Chapitre III : Planification de la production et de la distribution avec réserve de capacité de production

Introduction

Modélisation mathématique

Description du cas d'étude

Expérimentation et résultats numériques

Conclusion

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les modèles mathématiques adoptés et nous testons notre approche qui considère une réserve de capacité de production au niveau tactique. Afin de faire face aux commandes imprévues et urgentes qui risquent d'arriver, nous proposons d'autoriser l'utilisation uniquement d'un pourcentage de la capacité de production disponible au niveau tactique. Le reste de la capacité est une réserve à utiliser au niveau opérationnel. Notre objectif est de montrer que, par la prise en compte de cette réserve, notre approche permet de répondre au mieux aux aléas de la demande. Les modèles seront testés sur un cas d'étude réel d'une chaîne logistique textile et une évaluation de l'effet de la prise en compte de cette réserve de capacité de production au niveau tactique sur les coûts au niveau opérationnel sera donc présentée. (Safra et *al.*, 2011 a.)

III.2 Modélisation mathématique

Dans cette section seront détaillés les modèles tactique et opérationnel sur lesquels se base notre approche de planification de la production et de la distribution.

III.2.1 Modèle de planification tactique

Il s'agit d'un problème de planification multi-sites, multi-produits, multi-dépôts, multi-modes de transport et multi-périodes, tenant compte de l'activité de sous-traitance. Ce modèle décidera de la répartition des commandes, pour chaque période, auprès des différents sites de production internes ou chez les sous-traitants, des quantités à stocker et de celles à distribuer en tenant compte des délais des modes de transport et des délais de livraison des commandes.

En entrée, nous injectons à ce modèle les demandes, les capacités de la production des sites, les capacités de stockage et de transport, les temps de production et les volumes d'occupation des produits, ainsi que les différents coûts de production, stockage et distribution, en considérant en plus un coût de sous-utilisation de la capacité interne de production pour pénaliser les ressources non utilisées (machines non utilisées, main d'œuvre payée sans

qu'elle soit productive, etc.). Finalement, pour offrir plus de flexibilité à notre système au niveau opérationnel, en essayant de répondre au mieux aux demandes imprévues et urgentes qui risquent de s'exprimer, nous décidons d'épargner de la capacité de production au niveau tactique et ne considérer que seule une partie de la capacité de production interne disponible.

III.2.1.1 Les paramètres du modèle

J = Ensemble des dépôts ; $j \in J$

K = Ensemble des sites de production ; $k \in K$; $K = U \cup V$

U : unités internes de production, $k \in U$

V : sous-traitants $k \in V$

I = Ensemble des clients ; $i \in I$

L = Ensemble de modes de transports ; $l \in L$

P = Ensemble des produits finis ; $p \in P$

T = Nombre de périodes de l'horizon de planification ; $t \in [1..T]$

Coûts de transport

CT_{kjplt} : coût unitaire de transport du produit p du site $k \in K$ vers le dépôt j via le mode de transport l durant la période t (exprimé en €/m^3).

CS_{jiplt}: coût unitaire de transport du produit p du dépôt j vers le client i via le mode de transport l durant la période t (exprimé en €/m^3).

CF_{kjplt} : coût fixe de transport du produit p du site $k \in K$ vers le dépôt j via le mode de transport l durant la période t (exprimé en €).

CFS_{jiplt}: coût fixe de transport du produit p du dépôt j vers le client i via le mode de transport l durant la période t (exprimé en €).

Coûts de production

C_{pkt} : coût de production unitaire du produit p dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €/unité).

S_{pkt}: coût de lancement de la production du produit p dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €).

G_{pkt} : coût de sous-traitance unitaire du produit p chez le site du sous-traitant $k \in V$ durant la période t (exprimé en €/unité).

CSU_{kt} : coût de sous utilisation de la capacité interne de production dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €/heure).

Paramètres de stocks

KP_{pjt} : coût de possession de stock du produit p dans le dépôt j durant la période t (exprimé en €/unité).

W_j : capacité de stockage du dépôt j (exprimée en nombre d'unités).

Paramètres de capacités et de délais

D_{pit} : demande de production du produit p pour le client i à satisfaire à la fin de la période t (exprimée en quantité de produit).

U_{kt} : capacité maximale de production dans le site $k \in K$ durant la période t (exprimée en heures).

V_p: volume d'occupation dans un mode de transport d'un produit p exprimé en unité de volume par produit.

Tp_p: temps nécessaire pour produire une unité du produit p (exprimé en heures).

Cap_l : capacité du moyen de transport l (exprimé en m^3).

e_l : délai du mode de transport l $e_l = 2$ pour bateau

$e_l = 0$ pour camion, avion

α_{kt}: pourcentage de la capacité de production disponible dans l'unité de production $k \in U$ durant la période t.

III.2.1.2 Les variables de décisions

Variables liées à l'activité de production

X_{pkt} : quantité de produit *p* produite dans le site $k \in K$ durant la période *t* (exprimée en nombre d'unités).

SU_{kt} : capacité de production non utilisée dans le site $k \in U$ durant la période *t* (exprimée en heures).

Y_{pkt}=1 si le produit *p* est produit dans le site $k \in K$ durant la période *t* ; 0 sinon.

Variables liées à l'activité de stockage

J_{pjt}: niveau de stock du produit *p* dans le dépôt *j* à la fin de la période *t* (exprimé en nombre d'unités).

Variables liées à l'activité de transport

$Z1_{kjplt}$: quantité de produit *p* transportée du site $k \in K$ au dépôt *j* pendant la période *t* via le mode de transport *l* (exprimée en nombre d'unités).

$Z2_{jiplt}$: quantité de produit *p* transportée du dépôt *j* au client *i* pendant la période *t* via le mode de transport *l* (exprimée en nombre d'unités).

$N1_{kjlt}$: nombre de moyens de transports (bateaux, camions ou avions) utilisés pour transporter des produits du site $k \in K$ au dépôt *j* pendant la période *t* via le mode de transport *l*.

$N2_{jilt}$: nombre de moyens de transports (bateaux, camions ou avions) utilisés pour transporter des produits du dépôt *j* au client *i* pendant la période *t* via le mode de transport *l*.

III.2.1.3 La fonction objectif

La fonction objectif vise la minimisation des coûts de production, de sous-utilisation de la capacité de production interne, de stockage et de transport

Coût de production :

$$\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} C_{pkt} * X_{pkt} + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} S_{pkt} * Y_{pkt} + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in V} G_{pkt} * X_{pkt} + \sum_{t\in T}\sum_{k\in U} CSU_{kt} * SU_{kt}$$

Coût de stockage :

$$\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{j\in J} KP_{pjt} * \frac{J_{pjt-1}+J_{pjt}}{2}$$

Coût de transport :

$$\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} CT_{kjplt} * V_p * Z1_{kjplt} + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} CF_{kjplt} * N1_{kjlt} + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} CS_{jiplt} * V_p * Z2_{jiplt} + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{j\in J} CFS_{jiplt} * N2_{jilt}$$

Le premier terme de la fonction objectif est le coût de production formé de 4 types de coûts : - un coût de production variable qui dépend de la quantité produite, - un coût fixe de lancement de la production, - un coût de sous-traitance variable qui dépend des quantités sous-traitées et - un coût de sous-utilisation de la capacité de production interne. Le deuxième terme représente le coût de stockage moyen. Le troisième terme est le coût de transport des produits des sites vers les dépôts et des dépôts vers les clients, il est formé d'un coût variable en fonction des quantités transportées et d'un coût fixe dépendant du nombre de moyens de transport utilisés.

III.2.1.4 Les contraintes

* $J_{pjt} = J_{pjt-1} + \sum_{k\in K}\sum_{l\in L} Z1_{kjplt-e_l} - \sum_{i\in I}\sum_{l\in L} Z2_{jiplt}$ $\quad j \in J; p \in P; t \in T; t \geq e_l$ (1.a)

* $\sum_{p\in P} J_{pjt} \leq W_j$ $\quad j \in J; t \in T$ (1.b)

Ces contraintes concernent l'activité de stockage. En effet, (1.a) détermine le niveau de stock du produit *p* dans le dépôt *j* à la fin de la période *t*, alors que (1.b) délimite la capacité de stockage dans les dépôts.

* $\sum_{p\in P} Tp_p * X_{pkt} \leq \alpha_{kt} * U_{kt}$ $\quad k \in K; t \in T$ (2.a)

* $X_{pkt} \leq M * Y_{pkt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in T$ (2.b)

$* \; Y_{pkt} \leq X_{pkt}$ $\quad k \in V; p \in P; t \in T$ (2.c)

$* \; SU_{kt} \geq \alpha_{kt} * U_{kt} - \sum_{p \in P} Tp_p * X_{pkt}$ $\quad k \in U; t \in T$ (3)

Ces contraintes concernent l'activité de production. En effet, la famille de contraintes (2.a) délimite la capacité de production disponible à la période t dans l'unité *k*. Par contre, les familles de contraintes (2.b) et (2.c) garantissent l'affectation des produits aux sites où ils sont fabriqués. Enfin, les contraintes (3) assurent que la capacité de production interne non utilisée soit supérieure ou égale à la capacité interne considérée au niveau de la planification tactique ($\alpha_{kt} * U_{kt}$) diminuée des quantités produites.

$*X_{pkt} = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} Z1_{kjplt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in T$ (4.a)

$*D_{pit} = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} Z2_{jiplt-e_l}$ $\quad i \in I; p \in P; t \in T; t \geq e_l$ (4.b)

$* \sum_{p \in P} V_p * Z2_{jiplt} \leq N2_{jilt} * Cap_l$ $\quad j \in J; i \in I; t \in T; l \in L$ (5.a)

$* \sum_{p \in P} V_p * Z1_{kjplt} \leq N1_{kjlt} * Cap_l$ $\quad j \in J; k \in K; t \in T; l \in L$ (5.b)

Ces contraintes concernent l'activité de transport. En effet, les contraintes (4.a) assurent que toutes les quantités produites soient transportées aux dépôts. La famille de contraintes (4.b) assure que toutes les quantités demandées par les clients à *t* soient livrées à temps (pendant la même période). Les familles des contraintes (5.a) et (5.b) délimitent les capacités des moyens de transport.

$* \; Y_{pkt} \in \{0,1\}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in T$ (6)

$Z1_{kjplt} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; j \in J; p \in P; l \in L; t \in T$

$Z2_{jiplt} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; i \in I; p \in P; l \in L; t \in T$

$X_{pkt} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in T$

$J_{pjt} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; p \in P; t \in T$

$N1_{kjlt} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; j \in J; l \in L; t \in T$

$N2_{jilt} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; i \in I; l \in L; t \in T$

$SU_{kt} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in U; t \in T$

Les contraintes (6) sont les contraintes d'intégrité.

III.2.2 Modèle de planification opérationnel

Ce modèle opérationnel affine les placements décidés par le modèle tactique pour chaque période élémentaire et place les nouvelles commandes qui arrivent au fil des semaines auprès des différents sites internes ou sous-traitants proches. Ce modèle décide aussi des quantités stockées et de celles distribuées en tenant compte des délais des modes de transport et des délais de livraison des commandes. En résumé ce modèle servira à détailler les décisions de production prises au niveau tactique, en respectant l'affectation décidée déjà et en tenant compte des nouvelles commandes qui arrivent au fur et à mesure.

Pour ce niveau opérationnel, uniquement les sous-traitants locaux sont considérés, des heures supplémentaires peuvent être également planifiées, afin de permettre une meilleure flexibilité aux sites de production. En entrée, nous injectons à ce modèle, les demandes, les commandes déjà placées par le modèle tactique sur les mois, les capacités de production des sites en heures normales et en heures supplémentaires, les capacités de stockage et de transport, les temps de production et les volumes d'occupation des produits, ainsi que les différents coûts de production, stockage et distribution, en considérant en plus un coût de sous utilisation de la capacité interne de production pour pénaliser les ressources non utilisées (machines non utilisées, main d'œuvre payée sans qu'elle ne soit productive, etc.). Le coût de stockage au niveau de la fonction objectif est multiplié par le stock moyen entre le début et la fin de période, pour rapprocher les optimisations faites aux niveaux tactique et opérationnel. Le coût de sous-utilisation de la capacité sera estimé en coût horaire de main d'œuvre. Pour ce niveau opérationnel toute la capacité de production disponible pourra être bien évidemment utilisée.

III.2.2.1 Les paramètres du modèle

J = Ensemble des dépôts ; $j \in J$

K = Ensemble des sites de production ; $k \in K$; $K = U \cup V$

U : unités internes de production

V : sous-traitants locaux

CL = Ensemble des clients ; $i \in CL$

L = Ensemble de modes de transports ; $l \in L$

PR = Ensemble des produits finis $p \in PR$; $PR=PR1 \cup PR2$

$PR1$= Produits planifiés par le modèle tactique.

$PR2$= Les nouvelles commandes de réassorts ou autres qui arrivent.

H = horizon de planification ; $h \in [1..H]$ avec $H \in \{8,9,10,11\}$

Coûts de transports

$\widetilde{CT}_{kjplh}$: coût unitaire de transport du produit $p \in PR$ du site $k \in K$ vers le dépôt j via le mode de transport l durant la période h (exprimé en €/m^3).

$\widetilde{CS}_{jiplh}$: coût unitaire de transport du produit $p \in PR$ du dépôt j vers le client i via le mode de transport l durant la période h (exprimé en €/m^3).

$\widetilde{CF}_{kjplh}$: coût fixe de transport du produit $p \in PR$ du site $k \in K$ vers le dépôt j via le mode de transport l durant la période h (exprimé en €).

$\widetilde{CFS}_{jiplh}$: coût fixe de transport du produit $p \in PR$ du dépôt j vers le client i via le mode de transport l durant la période h (exprimé en €).

Coûts de production

$\tilde{C}_{pkh}$: coût de production unitaire du produit $p \in PR$ dans l'unité $k \in U$ durant la période h (exprimé en €/unité).

$\widetilde{CH}_{pkh}$: coût de production unitaire du produit $p \in PR$ en heures supplémentaires dans l'unité $k \in U$ durant la période h (exprimé en €/unité).

$\tilde{S}_{pkh}$: coût de lancement de la production du produit $p \in PR2$ dans l'unité $k \in U$ durant la période h (exprimé en €).

$\tilde{G}_{pkh}$: coût de sous-traitance unitaire du produit $p \in PR2$ chez le site $k \in V$ durant la période h (exprimé en €/unité).

$\widetilde{CSU}_{kh}$: coût de sous utilisation de la capacité interne de production dans l'unité $k \in U$ durant la période h (exprimé en €/heure).

Paramètres de stocks

$\widetilde{KP}_{pjh}$: coût de possession du stock du produit $p \in PR$ dans le dépôt j durant la période h (exprimé en €/unité).

$\widetilde{W}_j$: capacité de stockage du dépôt j (exprimée en unités).

Paramètres de capacités et de délais

$\widetilde{D}_{pih}$: demande de production du produit $p \in PR$ pour le client i à satisfaire à la fin de la période h (exprimée en nombre d'unités).

$\widetilde{U}_{kh}$: capacité maximale de production dans le site $k \in K$ durant la période h (exprimée en heures).

$\widetilde{UH}_{kh}$: capacité maximale de production en heures supplémentaires dans le site $k \in U$ durant la période h. Pour $k \in V$, $\widetilde{UH}_{kh}$=0. (exprimée en heures).

$\widetilde{V}_p$: volume d'occupation d'un produit p exprimé en unité de volume par produit.

$\widetilde{Tp}_p$: temps nécessaire pour produire une unité du produit p (exprimé en heures).

$\widetilde{Cap}_l$: capacité du moyen de transport l (exprimé en m^3).

$\tilde{e}_l$: délai du mode de transport l $\tilde{e}_l$= 5 pour bateau

$\tilde{e}_l$ = 0 pour camion, avion

Paramètres de correspondance tactique-opérationnel

$X1_{pk}$: décision du modèle tactique sur la quantité des produits $p \in PR1$ produite dans le site $k \in U$ durant le premier mois.

$X2_{pk}$: décision du modèle tactique sur la quantité des produits $p \in PR1$ produite dans le site $k \in U$ durant le deuxième mois.

$X3_{pk}$: décision du modèle tactique sur la quantité de produits $p \in PR1$ à produire dans le site $k \in U$ durant le troisième mois.

III.2.2.2 Les variables de décisions

Variables liées à l'activité de production

$\tilde{X}_{pkh}$: quantité de produit $p \in PR$ produite dans le site $k \in K$ durant la période h (exprimée en nombre d'unités).

$\widetilde{XH}_{pkh}$: quantité de produit $p \in PR$ produite en heures supplémentaires dans le site $k \in U$ durant la période h (exprimée en nombre d'unités).

$\widetilde{SU}_{kh}$: capacité de production non utilisée dans le site $k \in U$ durant la période h (exprimée en heures).

$\tilde{Y}_{pkh}$=1 si le produit $p \in PR2$ est produit dans le site $k \in K$ durant la période h ; 0 sinon.

$\widetilde{YH}_{pkh}$=1 si le produit $p \in PR$ est produit en heures supplémentaires dans le site $k \in K$ durant la période h ; 0 sinon.

Variables liées à l'activité de stockage

$\tilde{J}_{pjh}$: niveau de stock du produit $p \in PR$ dans le dépôt j à la fin de la période h (exprimé en nombre d'unités).

Variables liées à l'activité de distribution

$\widetilde{Z1}_{kjplh}$: quantité de produit $p \in PR$ transportée du site $k \in K$ au dépôt j pendant la période h via le mode de transport l (exprimée en unités).

$\widetilde{Z2}_{jiplh}$: quantité de produit $p \in PR$ transportée du dépôt j au client i pendant la période h via le mode de transport l (exprimée en unités).

$\widetilde{N1}_{kjlh}$: nombre de moyens de transports utilisés pour transporter des produits du site $k \in K$ au dépôt j pendant la période h via le mode de transport l.

$\widetilde{N2}_{jilh}$: nombre de moyens de transports utilisés pour transporter des produits du dépôt j au client i pendant la période h via le mode de transport l.

III.2.2.3 La fonction objectif

La fonction objectif vise la minimisation des coûts de production, de sous-utilisation de la capacité de production interne, de stockage et de transport.

Coût de production :

$$\sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in U}\tilde{C}_{pkh} * \tilde{X}_{pkh} + \sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in U}\tilde{S}_{pkh} * (\tilde{Y}_{pkh} + \widetilde{YH}_{pkh}) +$$
$$\sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in V}\tilde{G}_{pkh} * \tilde{X}_{pkh} + \sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in U}\widetilde{CH}_{pkh} * \widetilde{XH}_{pkh} + \sum_{h\in H}\sum_{k\in U}\widetilde{CSU}_{kh} * \widetilde{SU}_{kh}$$

Coût de stockage :

$$\sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{j\in J}\widetilde{KP}_{pjh} * \frac{\tilde{J}_{pjh-1}+\tilde{J}_{pjh}}{2}$$

Coût de transport :

$$\sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\widetilde{CT}_{kjplh} * \tilde{V}_p * \widetilde{Z1}_{kjplh} + \sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\widetilde{CF}_{kjplh} *$$
$$\widetilde{N1}_{kjlh} + \sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{i\in CL}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\widetilde{CS}_{jiplh} * \tilde{V}_p * \widetilde{Z2}_{jiplh} +$$
$$\sum_{h\in H}\sum_{p\in PR}\sum_{i\in CL}\sum_{l\in L}\sum_{j\in J}\widetilde{CFS}_{jiplh} * \widetilde{N2}_{jilh}$$

Le premier terme de la fonction objectif est le coût de production formé de 5 types de coûts : - un coût de production variable qui dépend de la quantité produite, - un coût fixe de lancement de la production en heures normales et en heures supplémentaires,- un coût variable de production en heures supplémentaires, - un coût de sous-traitance variable qui dépend des quantités sous-traitées et - un coût de sous-utilisation de la capacité de production interne. Le deuxième terme représente le coût de stockage moyen. Le troisième terme est le coût de transport des sites vers les dépôts et des dépôts vers les clients, il est formé d'un coût variable en fonction des quantités transportées et d'un coût fixe dépendant du nombre de moyens de transport utilisés.

III.2.2.4 Les contraintes

$$* \ \tilde{J}_{pjh} = \tilde{J}_{pjh-1} + \sum_{k\in K}\sum_{l\in L}\widetilde{Z1}_{kjplh} - \sum_{i\in CL}\sum_{l\in L}\widetilde{Z2}_{jiplh} \qquad j \in J; p \in PR; h \in H \qquad (7.a)$$

$$* \ \sum_{p\in PR}\tilde{J}_{pjh} \leq \widetilde{W}_j \qquad j \in J; h \in H \qquad (7.b)$$

Ces familles des contraintes sont relatives à la gestion de stocks. En effet, les contraintes (7.a) déterminent le niveau de stock du produit p dans le dépôt j à la fin de la période h alors que les contraintes (7.b) assurent que la quantité stockée dans le dépôt ne dépasse pas sa capacité de stockage.

$$* \sum_{p\in P} \widetilde{Tp}_p * \tilde{X}_{pkh} \leq \widetilde{U}_{kh} \qquad k \in K; h \in H \qquad (8.a)$$

$$\sum_{p\in P} \widetilde{Tp}_p * \widetilde{XH}_{pkh} \leq \widetilde{UH}_{kh} \qquad k \in U; h \in H$$

$$* \ \tilde{X}_{pkh} \leq M * (\widetilde{Y}_{pkh} + \widetilde{YH}_{pkh}) \qquad k \in K; p \in PR; h \in H \qquad (8.b)$$

$$\tilde{Y}_{pkh} \leq \tilde{X}_{pkh} \qquad k \in K; p \in PR; h \in H$$

$$\widetilde{XH}_{pkh} \leq M * (\tilde{Y}_{pkh} + \widetilde{YH}_{pkh}) \qquad k \in U; p \in PR; h \in H$$

$$\widetilde{YH}_{pkh} \leq \widetilde{XH}_{pkh} \qquad k \in U; p \in PR; h \in H$$

$$* \ \tilde{Y}_{pkh} + \widetilde{YH}_{pkh} \leq 1 \qquad k \in U; p \in PR; h \in H \qquad (8.c)$$

$$* \widetilde{SU}_{kh} \geq \widetilde{U}_{kh} - \sum_{p\in P} \widetilde{Tp}_p * \tilde{X}_{pkh} \qquad k \in U; h \in H \qquad (8.d)$$

Les familles des contraintes (8.a), (8.b), (8.c), (8.d) et (8.e) représentent les contraintes de production. Les contraintes (8.a) assurent que la quantité de produits finis produite dans l'unité k ne dépasse pas la capacité de production disponible à la période h en heures normales et en heures supplémentaires. Les familles de contraintes (8.b) garantissent l'affectation des produits lancés en heures normales et en heures supplémentaires aux sites où ils sont fabriqués. Les deux dernières contraintes de la famille (8.b) avec la contrainte (8.c) garantissent la considération du coût de lancement de la production en heures supplémentaires uniquement pour le cas où il n'y a pas eu de production en heures normales dans le même site. Les contraintes (8.d) assurent que la capacité de production interne non utilisée soit supérieure ou égale à la capacité disponible diminuée des quantités produites.

$$* \ X1_{pk} = \sum_{h=1}^{4} (\tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh}) \qquad k \in U; p \in PR1; h \in [1..8] \qquad (8.e)$$

$$X1_{pk} = \sum_{h=1}^{g-8} (\tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh}) \qquad k \in U; p \in PR1; h \in [1..g]; g \neq 8$$

$$X2_{pk} = \sum_{h=1}^{8} (\tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh}) \qquad k \in U; p \in PR1; h \in [1..8]$$

$X2_{pk} = \sum_{h=g-7}^{g-4}(\tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh})$ $\quad k \in U; p \in PR1; h \in [1..g]; g \neq 8$

$X3_{pk} = \sum_{h=g-3}^{g}(\tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh})$ $\quad k \in U; p \in PR1; h \in [1..g]; g \neq 8$

Les contraintes (8.e) assurent le lien entre le modèle tactique et opérationnel en respectant des décisions d'affectation prises au niveau tactique. En effet, les quantités lancées au niveau tactique sur un mois donné doivent être produites au cours de ces 4 semaines du mois correspondant au niveau opérationnel.

$* \ \tilde{X}_{pkh} + \widetilde{XH}_{pkh} = \sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\widetilde{Z1}_{kjplh}$ $\quad k \in K; p \in PR; h \in H$ (9.a)

$* \ \tilde{D}_{pih} = \sum_{j\in J}\sum_{l\in L}\widetilde{Z2}_{jiplh-e_l}$ $\quad i \in CL; p \in PR; h \in H; h \geq e_l$ (9.b)

$* \sum_{p\in PR}\tilde{V}_p * \widetilde{Z2}_{jiplh} \leq \widetilde{N2}_{jilh} * \widetilde{Cap}_l$ $\quad j \in J; i \in CL; h \in H; l \in L$ (9.c)

$\sum_{p\in PR}\tilde{V}_p * \widetilde{Z1}_{kjplh} \leq \widetilde{N1}_{kjlh} * \widetilde{Cap}_l$ $\quad j \in J; k \in K; h \in H; l \in L$

Les familles des contraintes (9.a), (9.b) et (9.c) représentent les contraintes de distribution. Les contraintes (9.a) assurent que toutes les quantités produites soient transportées aux dépôts. Les contraintes (9.b) garantissent la satisfaction de la demande des clients à temps. La famille des contraintes (9.c) assure que toutes les quantités transportées ne doivent pas dépasser les capacités des moyens de transport.

$*\tilde{Y}_{pkh} \in \{0,1\}$ $\quad k \in K; p \in PR2; h \in H$ (10)

$\widetilde{YH}_{pkh} \in \{0,1\}$ $\quad k \in U; p \in PR; h \in H$

$\widetilde{Z1}_{kjplh} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; j \in J; p \in PR; l \in L; h \in H$

$\widetilde{Z2}_{jiplh} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; i \in CL; p \in PR; l \in L; h \in H$

$\tilde{X}_{pkh} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; p \in PR; h \in H$

$\widetilde{XH}_{pkh} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in U; p \in PR; h \in H$

$\tilde{J}_{pjh} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; p \in PR; h \in H$

$\widetilde{N1}_{kjlh} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in K; j \in J; l \in L; h \in H$

$\widetilde{N2}_{jilh} \in \mathbb{N}$ $\quad j \in J; i \in CL; l \in L; h \in H$

$\widetilde{SU}_{kh} \in \mathbb{N}$ $\quad k \in U; h \in H$

Les contraintes (10) sont des contraintes d'intégrité et de restriction de signe.

III.3 Description du cas d'étude

Dans notre expérimentation, nous considérons la chaîne logistique d'un industriel textile tunisien produisant pour le marché national et international avec trois sites de production situés en Tunisie et dédiés aux produits maille. Environ 200 références de ce type de produit sont lancées par an. Une fois les produits finis sont achevés, ils sont acheminés vers les dépôts de stockage. Deux entrepôts locaux sont utilisés pour stocker les produits : un dépôt est dédié aux produits destinés aux clients locaux, l'autre est utilisé pour stocker les produits commandés par les clients étrangers. Les articles d'habillement sont ensuite transportés aux clients (donneurs d'ordre) à la date prédéfinie. La société travaille pour environ 30 clients par an. Par clients, nous sous-entendons, dans ce chapitre, les distributeurs qui se chargent de livrer leurs points de ventes respectifs.

Le transport se fait moyennant trois modes différents : celui en local se fait par des camions tandis que les articles destinés à l'étranger sont transportés par bateau ou avion.

L'horizon tactique est fixé à 6 mois ce qui correspond à une collection des produits textile-habillement. Il est aussi justifié par les délais imposés par les commandes lancées auprès des sous-traitants lointains.

Au niveau opérationnel, l'horizon couvre initialement deux mois avec une périodicité hebdomadaire. Cela permet une meilleure prise en compte des commandes imprévues et urgentes. Ce choix est décidé afin de contenir tous les produits y compris ceux transportés par bateau et qui nécessitent un délai de plus qu'un mois pour être livrés. Afin de respecter les décisions de production mensuelles prises au niveau tactique, l'horizon de planification considéré dans ce modèle opérationnel est variable entre huit et onze semaines comme explicité dans le chapitre II.

Pour le transport à l'étranger, des avions ou des bateaux sont utilisés avec des délais et des coûts de transports différents. En effet, pour le bateau une période d'environ cinq semaines est nécessaire. Toutefois, pour l'avion, la livraison est effectuée dans la même semaine.

Le coût de transport par camion est fixe par livraison et ne dépend que du client considéré. Les coûts de distribution à l'étranger sont composés de coûts variables, en fonction du volume transporté et des coûts fixes des frets ou des transitaires selon le nombre de moyens de transports utilisés pour la même période. Le coût fixe de transport par avion est trois fois plus grand que celui de transport par bateau.

Pour plus de flexibilité et afin de renforcer sa capacité de production, l'entreprise travaille avec dix sous-traitants locaux de capacité et un sous-traitant lointain chinois de spécialité. Le sous-traitant chinois offre des prix très compétitifs ; un prix unitaire pour un article habillement de base qui avoisine la moitié de son coût de production interne. Ce sous-traitant a la capacité de produire de grands volumes d'articles de base, mais seules les commandes ayant un délai supérieur à deux mois pourraient être affectées. Les sous-traitants locaux, par contre, fournissent des articles dont les prix sont plus élevés que les coûts de production internes de 20%. Les capacités de production des unités internes sont limitées. Cependant, les capacités des sous-traitants sont assez élevées pour satisfaire les quantités commandées.

Un coût de sous-utilisation de la capacité de production interne est estimé en coût horaire de main d'œuvre/machine payé et non épuisé, et est approximé au tiers du coût de production en interne. Les unités de production internes peuvent être utilisées après les heures régulières de travail. Cette capacité supplémentaire est limitée à 25% de la capacité de production en heures régulières, tandis que la production pendant ces heures supplémentaires coûte 40% plus cher. Les produits finis sont recueillis et stockés dans des entrepôts appropriés et ramassés une fois par semaine pour livraison. Ces entrepôts sont caractérisés par leur capacité de stockage limitée et un coût de maintien des stocks de l'ordre de 5% du coût de production unitaire mensuel.

En s'alignant sur le cas réel, nous intégrons aussi les contraintes suivantes au niveau du modèle opérationnel :

- Les clients internes (boutiques appartenant à la société) sont à proximité des dépôts, et donc le transport se fait moyennant des camions uniquement,

- Les clients externes sont tous localisés à l'étranger, et donc le transport se fait moyennant des avions ou des bateaux uniquement,

- Les produits des clients internes seront affectés au dépôt local,

- Les produits des clients externes seront tous transportés au dépôt export.

- Les différents coûts sont inchangés pour chaque semaine et donc ces coûts ne dépendent pas de t.

- Tous les sites de production (internes ou sous-traitants locaux) sont à proximité et donc le seul moyen de transport utilisé est le camion. D'où les quantités à transporter et les coûts de transport des sites de production vers les dépôts ne dépendent pas de l (indice du mode de transport).

- Les coûts de transport ne dépendent pas du produit p mais des 2 nœuds à partir et vers lesquelles les quantités ont été transportées.

Pour le modèle opérationnel, nous considérons les demandes à délais de livraison inférieurs à 2 mois. Pour les commandes à délais supérieurs à 2 mois, nous appliquons notre modèle tactique, à partir du mois suivant, pour décider des placements de ces demandes auprès des sous-traitants lointains ou pas. Notre modèle opérationnel pourrait donc contenir ces demandes, si le modèle tactique juge leur placement dans des sites de productions internes optimal. Sinon ces quantités seront affectées aux sous-traitants lointains et leurs coûts seront comptabilisés au niveau tactique. Pour cela, nous commençons par détailler les décisions prises au niveau tactique pour les 2 premiers mois par semaine. Nous figeons ensuite les quantités produites, stockées et distribuées pour la première semaine et nous re-planifions de

nouveau les quantités restantes à produire en avançant d'une semaine et en intégrant les nouvelles commandes qui arrivent pendant cette semaine, et qui ont un délai de livraison inférieur ou égal à 2 mois. Les quantités décidées pour la première semaine sont de nouveau figées et nous glissons d'une autre semaine pour re-planifier les quantités restantes et intégrer les nouvelles commandes, et nous répétons la même chose en intégrant les nouvelles demandes au fur et à mesure, jusqu'à la fin du sixième mois. Nous obtenons à la fin un planning optimal de production, stockage et distribution hebdomadaire des différents produits, tenant compte des affectations du modèle tactique et des demandes imprévues et urgentes qui arrivent.

Nous testons nos modèles en intégrant les différents coûts, les différentes capacités de production, de stockage et des moyens de transport, inspirés du cas réel, ainsi que les demandes non encore livrées et qui sont à dates d'arrivées antérieures au premier mois.

Les résultats retenus de l'exécution du modèle de planification opérationnel sont les quantités produites, stockées et distribuées pour la première semaine, et nous re-planifions les quantités restantes à produire, avec l'intégration de nouvelles demandes qui arrivent pour la semaine glissante. La somme des coûts obtenus pour les premières semaines des horizons glissants jusqu'à la fin du sixième mois, additionnée au coût tactique des productions chez les fournisseurs lointains, représente le coût total optimal de notre processus de production, stockage et distribution pour les six mois.

III.4 Expérimentation et résultats numériques

L'approche adoptée dans ce chapitre consiste à considérer une réserve de capacité de production interne au niveau tactique sur les six mois. Cette réserve est calculée en se basant sur un historique des demandes observées. Notre approche permettra de planifier, sur un horizon de six mois avec une périodicité mensuelle, les quantités à produire, à stocker et à distribuer chez les sous-traitants lointains, les sous-traitants locaux ou dans les sites internes de production, de sorte à minimiser les coûts. Ces productions seront détaillées au niveau

opérationnel par semaine, excluant celles affectées au sous-traitant lointain, et intégrant les commandes à délai court et qui sont des commandes urgentes, de réassort ou d'actualisation.

Dans la suite, nous détaillons notre expérimentation conçue afin de prouver l'intérêt de la considération d'une réserve de capacité de production interne au niveau tactique, pour faire face de manière optimale aux demandes imprévues et urgentes à intégrer dans la planification au niveau opérationnel. Pour cela, nous commençons par la considération de toute la capacité de production interne disponible. Enfin, face à la variabilité de la demande sur les mois, nous considérons une réserve de capacité de production dynamique par mois.

Dans notre expérimentation, les modèles mathématiques considérés ont été résolus en utilisant le package ILOG OPL Studio V6.3 / Cplex 11, sur un PC IntelCore i5 avec un processeur 2,3 GHz et une mémoire de 512 Mo. Une solution optimale à 10^{-4} près est obtenue pour tous les modèles simulés. Pour le modèle de planification tactique le nombre de contraintes est d'environ 122 000 et le nombre de variables est d'environ 66000, y compris plus de 5000 variables binaires. Le modèle opérationnel contient environ 55000 contraintes et 25000 variables avec plus de 3000 variables binaires. Pour toutes les expérimentations présentées ci-dessous, le coût total de la chaîne logistique sur les six mois est composé de deux parties : la première partie résulte de la solution de planification tactique et est induite entre autres par les coûts de sous-traitance lointaine, la deuxième partie est obtenue à partir des solutions de planification opérationnelle en additionnant les coûts correspondant aux premières périodes de l'horizon glissant.

III.4.1 Utilisation de toute la capacité de production interne

Comme première solution du modèle proposé, nous adoptons l'hypothèse d'une utilisation de toute la capacité de production interne disponible pour la planification au niveau tactique (100% de capacité et donc une réserve nulle), qui est la solution actuelle appliquée par l'entreprise de textile-habillement étudiée.

Initialement, le modèle tactique, tenant compte en entrée des demandes initiales, des différents coûts et des différentes capacités, fournit une solution optimale à 10^{-4} près après 2 minutes de temps. Ce modèle contient 122622 contraintes et 66103 variables dont 5040 variables binaires. En sortie, ce modèle décide des quantités à produire et de leurs affectations. Ces décisions sont injectées au niveau du modèle opérationnel en entrée afin de les détailler par semaine. Ce modèle contient 55699 contraintes et de 25289 variables dont 3456 variables binaires. Il fournit une solution optimale à 10^{-4} près après 20 secondes. Pour ce modèle opérationnel, les décisions prises lors de la première semaine sont figées et les coûts correspondants sont retenus. Par contre, les décisions prises pour les semaines suivantes seront replanifiées en introduisant les nouvelles commandes imprévues et urgentes qui arrivent.

Pour ce modèle opérationnel, les commandes à dates d'échéances incluent dans l'horizon considéré seront insérées moyennant un horizon glissant d'une semaine. Cependant, les autres commandes, à dates d'échéance supérieures au nombre de périodes de l'horizon opérationnel, seront insérées au niveau du modèle tactique à partir du mois suivant, pour décider de leur affectation auprès des sous-traitants lointains.

Le modèle tactique est ainsi appliqué de manière séquentielle, dès qu'une commande à délai de livraison supérieur au nombre de périodes de l'horizon opérationnel arrive.

Ainsi sur l'horizon de six mois considéré le modèle opérationnel, simulé 24 fois, permet de fournir les différents coûts respectifs des premières périodes du modèle.

Nous obtenons à la fin des simulations sur les six mois, un planning de production, stockage et distribution hebdomadaire des différents produits, tenant compte des affectations du modèle tactique et des demandes imprévues et urgentes qui arrivent. La somme des coûts obtenus pour les premières semaines du modèle opérationnel appliqué à horizon glissant, additionnée au coût tactique des productions chez le sous-traitant lointain, obtenu par le modèle tactique, représente le coût total de production, stockage et distribution pour les six mois (tableau 3). Ce coût est égal à 2 864 *K€* pour une réserve de capacité de production nulle.

Tableau 3 : Détails des coûts logistiques par semaine

Période	**Coût *(K€)***	**Période**	**Coût *(K€)***	**Période**	**Coût *(K€)***
$ST_{lointaine}$ Mars	320	Mai S 1	92	Juillet S 1	86
Mars S 1	79	Mai S 2	69	Juillet S 2	90
Mars S 2	99	Mai S 3	93	Juillet S 3	105
Mars S 3	84	Mai S 4	92	Juillet S 4	91
Mars S 4	98	$ST_{lointaine}$ Juin	223	Août S 1	113
Avril S 1	83	Juin S 1	83	Août S 2	106
Avril S 2	83	Juin S 2	90	Août S 3	93
Avril S 3	87	Juin S 3	89	Août S 4	108
Avril S 4	76	Juin S 4	218	**Total**	**2864**

Les coûts hebdomadaires représentent la somme des coûts de production en heures normales, en heures supplémentaires et chez les sous-traitants locaux additionnés aux coûts de stockage, de sous-utilisation de la capacité de production interne et de livraison du produit.

III.4.2 Utilisation d'une réserve de capacité de production interne statique

III.4.2.1 Détermination d'une réserve moyenne de la capacité de production interne

Nous considérons à titre d'expérimentation la même réserve de capacité de production pour toutes les unités internes et cela pour chaque mois de l'horizon de planification de six mois. Le taux de capacité de production interne utilisée est noté α. La capacité de sécurité doit être estimée a-priori en considérant un historique de la demande. Pour cela, deux ans de données historiques à partir desquelles nous déterminons la capacité de production sécuritaire adéquate à utiliser au niveau de la planification tactique. Cette capacité de production à utiliser est définie comme le rapport des quantités de réassorts commandées par les quantités totales en cours de production. Les taux de capacité de production interne utilisée sont présentés ci-dessous:

Tableau 4 : Taux de capacité de production interne utilisée et observée

Mois →	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**Moyenne**
Taux $_{N-2}$ (%)	62	90	89	71	61	76	75
Taux $_{N-1}$ (%)	75	91	72	91	87	95	85
Taux moyen	69	91	81	81	74	85	80

Ces valeurs ne permettent pas de confirmer une saisonnalité des productions réalisées pour les mois allant de M1 à M6 des années N-2 et N-1. Nous optons alors pour le calcul d'une moyenne des capacités de production utilisées pour ces deux années, afin de déterminer le pourcentage de capacité pour les mois de M1 à M6 de l'année N, cela a abouti à une valeur de α moyen pour l'année N égal à **80%**.

III.4.2.2 Variation du coût en fonction de la réserve de capacité de production interne

Afin de montrer que la considération d'une réserve de la capacité de production peut s'avérer nécessaire et importante pour l'optimisation de la chaîne logistique, nous testons différentes valeurs de α, afin de délimiter la capacité de production interne optimale à utiliser. Les valeurs de α dans l'intervalle [70%,100%] par pas de 5% ont abouti aux coûts reportés dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Variation du coût total selon α

α	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
Coût des 6 mois de l'année N (K€)	3 896	2 990	2 746	2 667	2 716	2 723	2 864

La structure convexe de la variation du coût total selon α (figure 8) montre bien que la considération d'une réserve de capacité est bien justifiée.

En effet, les coûts élevées pour α égal à 70% et 100% par exemple, sont dus à la mauvaise utilisation de la capacité interne de production : - soit cette capacité est totalement consommée au niveau tactique et donc les commandes imprévues seront sous-traitées ou

satisfaites en heures supplémentaires induisant des coûts élevés,- soit la réserve de capacité de production est surestimée de façon à engendrer une sous-utilisation de la capacité au niveau opérationnel.

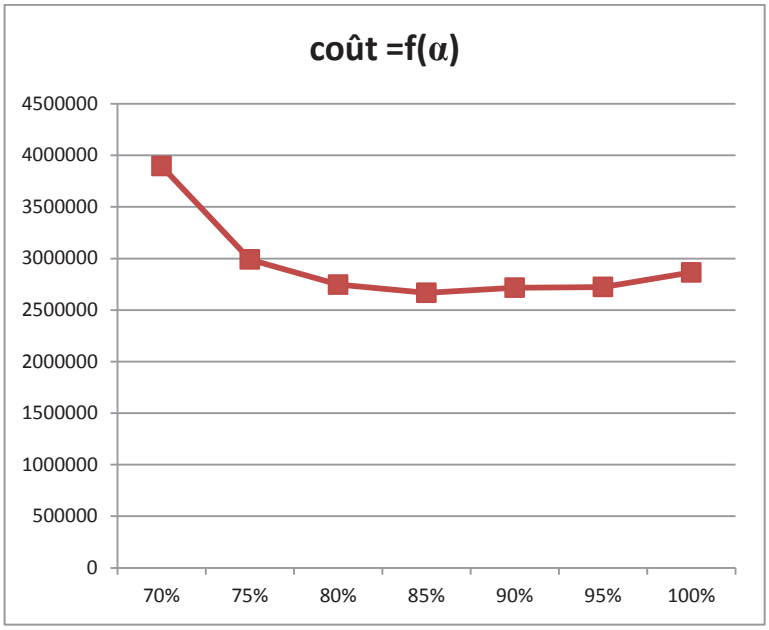

Figure 8 : Variation du coût selon α

Nous remarquons que le meilleur coût de la chaîne logistique considérée est obtenu pour un α qui avoisine 85%. Par conséquent, une réserve de capacité de production de 15% permet de garantir une flexibilité de production qui minimise le coût total de la chaîne.

Nous notons que α = 80% est la valeur moyenne obtenue à partir de l'historique de données (tableau 4). Nous considérons alors une valeur de α égale à 80% pour tous les modèles tactiques qui sont résolus séquentiellement avec les modèles opérationnels. De la même manière que pour le travail présenté précédemment, mais en considérant une réserve de 20%, nous obtenons un coût global de notre chaîne logistique sur les six mois de l'année N égal à 2 746 *K€*.

En comparant ce coût à celui correspondant à l'utilisation de toute la capacité de production disponible (α =100%), nous remarquons un gain Δ1 =4,12% avec une réserve de capacité de production de 20%. Ce gain en coût justifie l'importance d'une telle réserve de capacité pour

pouvoir absorber au mieux les demandes qui arrivent au fur et à mesure avec des coûts maîtrisés. Cependant, le gain pourrait être meilleur si la réserve de capacité de production était mieux estimée en utilisant un historique de demande plus long et plus précis et en développant des méthodes de prévisions efficaces. En fait, le gain en coût peut atteindre 7% pour α égal à 85% par rapport à une utilisation de toute la capacité de production disponible (tel que le montre le tableau 5).

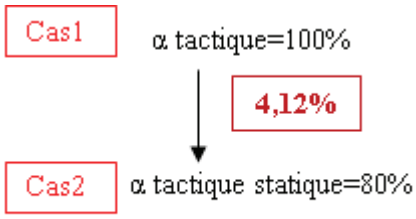

Figure 9 : Gains en coût

La performance de cette approche de planification dépendra certes du choix du pourcentage de capacité de production à considérer au niveau tactique, et plus précisément du choix de la méthode utilisée pour l'estimer.

III.4.3 Utilisation d'une réserve de capacité de production interne dynamique

Afin de tenir compte de la variabilité et la dispersion des demandes sur les mois, nous considérons une réserve de capacité de production interne mensuelle variable. Pour chaque mois t de l'année N, nous affectons comme valeur à α_t la moyenne du pourcentage de la capacité de production interne utilisée pour les années N-1 et N-2 (comme indiqué dans le tableau 4).

En considérant les α_t mensuels, en intégrant les nouvelles commandes qui arrivent progressivement au niveau opérationnel en N moyennant l'horizon glissant et en appliquant l'approche séquentielle, nous obtenons un coût total de la chaîne logistique égal à 2 575 *K€*. Ce coût est remarquablement inférieur à celui obtenu en utilisant toute la capacité de

production interne disponible. Le gain en coût est égal à 6,2% par rapport au système considérant une réserve de 20% et est égal à 10,1% par rapport au système utilisant toute la capacité de production disponible sans aucune réserve.

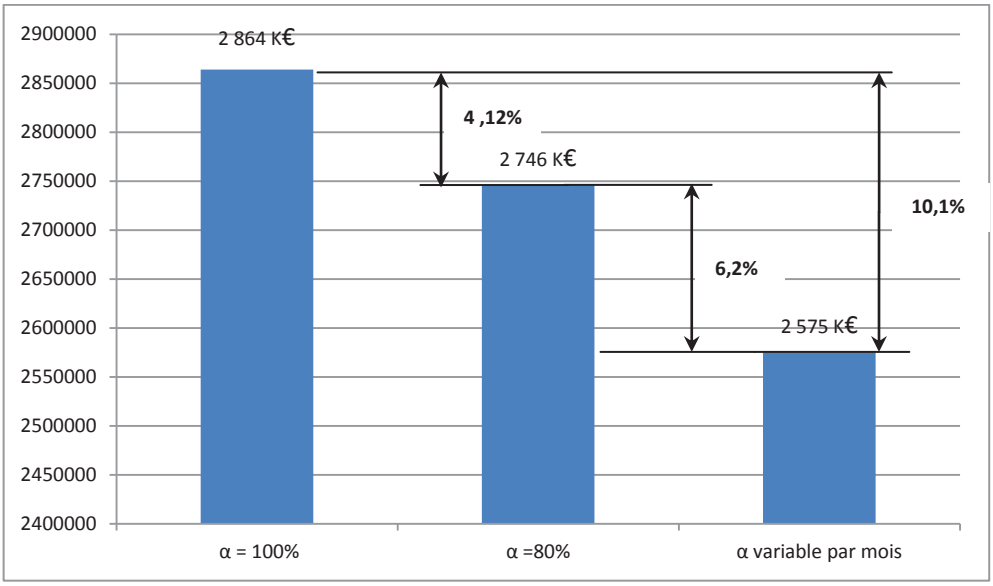

Figure 10 : Comparaison des cas d'études

Ce gain en coût s'explique par l'affectation des productions au sein des différents sites de production internes en heures régulières et en heures supplémentaires et auprès des différents sous-traitants.

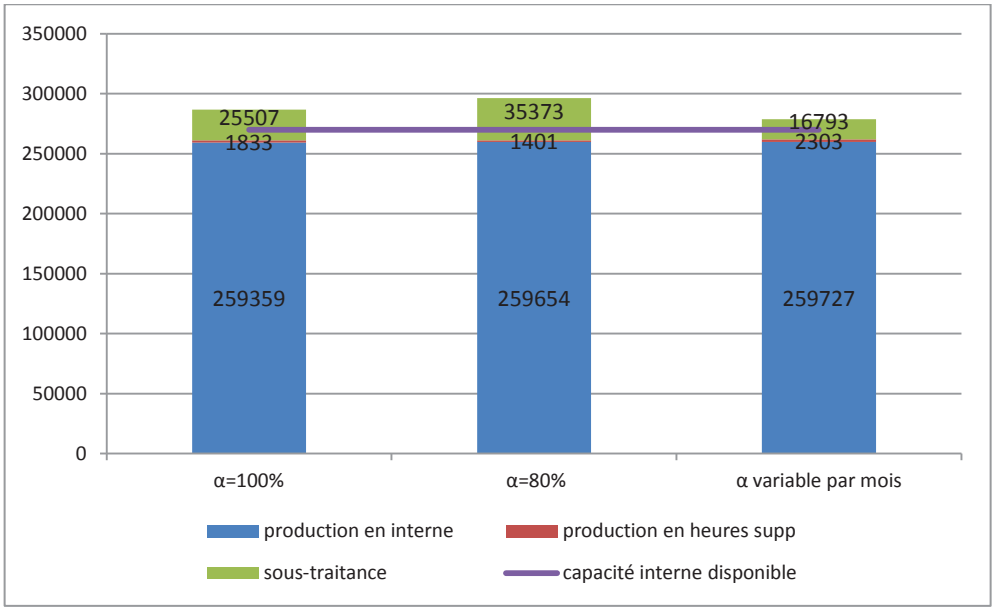

Figure 11 : Quantités produites auprès des différents sites

Au cours des six mois considérés, nous constatons d'autre part une meilleure utilisation de la capacité de production interne lorsqu'une réserve de cette capacité est prise en compte au niveau tactique. Cette capacité interne est mieux utilisée en considérant une réserve mensuelle variable.

D'autre part, nous notons que certaines productions sont lancées en heures supplémentaires, même si la capacité de production interne en heures normales n'est pas pleinement utilisée. Ceci est principalement dû à la position des dates d'échéance des commandes de mise en place sur le mois. En effet, puisque les productions prévues dans les unités internes sur un mois sont détaillés au niveau opérationnel par semaine, il semble obligatoire dans certains cas de produire massivement au cours des premières semaines du mois afin de respecter les dates de livraison prédéfinies. Ainsi, il est nécessaire de lancer en heures supplémentaires certaines productions que la capacité de production pendant les heures normales ne peut pas satisfaire. Pendant ce temps, la capacité de production interne pour le restant des semaines du mois est sous-utilisée.

Nous notons également que les quantités produites auprès des sous-traitants, quand une réserve de capacité mensuelle variable est considérée, sont inférieures à celles proposées lors de la considération d'une réserve de capacité fixe (à la fois pour $\alpha = 80\%$ et $\alpha = 100\%$). Désormais, l'affectation des productions à des sous-traitants est mieux optimisée pour une réserve de capacité variable. Ce résultat met en évidence l'avantage d'une capacité mensuelle variable ajustée pour les commandes de réassorts: l'affectation des productions aux sous-traitants est décidée au niveau tactique tout en épargnant la capacité de production interne nécessaire et adéquate afin de pouvoir accueillir les commandes de réassort qui risquent d'arriver.

Néanmoins, les quantités produites auprès des sous-traitants sont particulièrement élevées lorsqu'un α égal à 80% est considéré au niveau tactique. En même temps, les quantités totales produites au cours des six mois considérés sont plus grandes que celles lancées lorsque l'on considère un α égal à 100% ou un α variable par mois. Ceci est dû à la variation de la

demande d'un mois à l'autre. En fait, quand une réserve de capacité de production fixe est considérée (α égale à 80%), deux situations peuvent se produire: (1) les commandes de réassort à satisfaire au cours du mois nécessitent plus que la capacité de production interne disponible (donc nécessitent plus de capacité de production de sécurité). Dans ce cas, l'affectation de ces commandes aux sous-traitants est la meilleure solution ; (2) les commandes de réassort à satisfaire au cours du mois nécessitent moins que la capacité de production interne disponible (donc nécessitent moins de capacité de production de sécurité); dans ce cas et afin de minimiser la sous-utilisation de la capacité de production interne, les ordres de production à satisfaire pour les mois à venir sont traités à l'avance. Quand un α fixe égal à 100% est considéré, les commandes de réassort sont affectées aux sous-traitants puisque la capacité de production interne est pleinement utilisée par les lancements de la production des articles de mise en place décidée au niveau tactique.

Enfin, l'adoption d'une réserve de capacité de production mensuelle variable au niveau tactique permet une utilisation efficace des capacités internes et optimise l'affectation de production aux sous-traitants. La performance de planification de la capacité peut toutefois être améliorée, si un historique de la demande plus précis est utilisé et des méthodes d'estimation de capacité mensuelle de sécurité sont développées.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous confirmons l'intérêt de la considération d'une réserve de capacité de production interne, afin de répondre aux mieux aux attentes imprévues et urgentes des clients. Cependant, l'estimation de cette réserve de capacité s'avère déterminante pour la performance de la chaîne logistique globale.

Au début, nous appliquons le modèle tactique pour décider des productions auprès des sous-traitants lointains et des affectations des productions dans les sites internes sur les 6 mois. Puis, notre modèle opérationnel à horizon glissant est appliqué pour détailler les quantités sur les semaines, en intégrant les demandes qui arrivent au fur et à mesure. Dès qu'une

commande à délai de livraison supérieur à 2 mois arrive, le modèle tactique est alimenté de nouveau pour un placement optimal de cette commande. En effet, notre approche teste de manière séquentielle les modèles tactique et opérationnel, où le premier est expérimenté pour insérer au fur et à mesures les commandes à délais de livraison supérieurs à 2 mois. Par contre le deuxième permettra de placer les commandes urgentes en tenant compte des productions en cours, décidées au niveau tactique, en considérant un horizon glissant d'une semaine.

Une autre approche, tenant compte d'un partage d'information entre producteur et client, sera évaluée dans le chapitre suivant comme complément ou comme alternative à cette première approche présentée.

Chapitre IV : Planification de la production et de la distribution avec partage de l'information

Introduction

Coordination entre les acteurs de la chaîne logistique

Les méthodes de prévision de la demande

Choix de la méthode de prévision

Description de l'approche avec partage de l'information

Modélisation mathématique

Résultats expérimentaux

Conclusion

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous considérons le cas où le producteur dispose d'une information avancée sur les commandes à venir des clients. L'intégration entre les acteurs de notre chaîne logistique est alors informationnelle. Différents niveaux de partage de l'information existent et différentes approches traitant ce partage sont utilisées. Cette information permettra au producteur de réaliser des prévisions réduisant les incertitudes sur la demande. Dans ce qui suit, nous explicitons l'intérêt du partage de l'information dans la chaîne logistique et nous présentons certaines formes de ce partage. Puis, dans le cadre d'une collaboration fournisseur-client, nous présenterons les différentes méthodes de prévision de la demande de produits à courte durée de vie et nous détaillerons la méthode que nous avons utilisée ainsi que la modélisation mathématique du problème proposé. A la fin de ce chapitre, nous exposons les résultats obtenus pour notre cas d'étude. (Safra et *al.*, 2011 b.)

IV.2 Coordination entre les acteurs de la chaîne logistique

Différents types de coordination au niveau de la chaîne logistique sont présentés dans la littérature (Thomas and Griffin, 1996 ; Arshinder et *al.,* 2008). En effet, comme détaillé par Arshinder et *al.*, 2008, cette coordination peut s'établir entre les différentes fonctions et au niveau de différentes interfaces de la chaîne logistique.

IV.2.1 Les différents types de coordination

Les acteurs de la chaîne logistique exercent différentes fonction et activités tout au long de la chaîne telles que la gestion de stocks, la prévision de demandes, la conception de produits, la logistique, la gestion d'information et d'argent, etc. Traditionnellement, la gestion de ces activités se fait de manière indépendante. Cependant, une coordination entre ces activités ne peut qu'aider les acteurs à améliorer leurs performances et à être compétitifs. Cette coordination peut s'établir au niveau de différentes interfaces : - production et distribution, - approvisionnement matière première et production, - production et stockage, - distribution et

stockage. Une telle coordination peut s'établir moyennant : - des contrats entre les acteurs spécifiant certains paramètres (quantité, prix, temps, qualité…), - des ressources partagées entre les acteurs, - des prises de décisions conjointes entre les acteurs, - un partage de l'information entre les acteurs (Arshinder et *al.,* 2008)

IV.2.2 Coordination basée sur le partage de l'information entre producteur-client

IV.2.2.1 Intérêt du partage de l'information

Nous ne pouvons pas parler de collaboration sans présenter les principales raisons d'établir une telle stratégie au sein des entreprises (Lehoux et *al.*, 2010). En effet, d'après Baratt (2004) le partenariat permet de faire bénéficier de plusieurs avantages stratégiques tels qu'une réaction plus rapide aux changements, un partage des frais associés à certaines activités, une acquisition de nouvelles compétences, etc. Par contre, pour Spalanzani and Samuel (2007), la collaboration consiste en un partage d'information qui permet de réduire les risques et l'incertitude. En effet, dès que le client partage avec le producteur l'information qu'il a sur les commandes à venir des points de ventes, ce dernier pourra, grâce à cette information avancée, anticiper en production et moduler sa capacité selon les futures demandes, tout en réduisant les risques liés aux ventes perdues ou à la rupture de stock.

IV.2.2.2 Les différentes formes de partage de l'information

Le partage de l'information peut se faire en amont de la chaîne logistique tel qu'il est présenté par Chen (2003) et Zhang (2006). Pour Chen (2003), l'information partagée concerne le producteur qui révèle ses coûts de production, ses délais d'opération et sa capacité disponible au client. Pour Zhang (2006), le partage concerne la quantité qui pourrait être livrée ; cette dernière pourrait être inférieure ou supérieure à la quantité commandée. Dans ce cas l'auteur compare deux scénarios et montre que par cette information avancée le coût de stockage est beaucoup plus faible et le niveau de service est meilleur.

Chen (2003), tout comme Cachon and Fisher (2000), étudie le cas où le partage de l'information se fait au bout de la chaîne par une connaissance avancée des demandes des clients et même de leurs politiques de stockage, et à partir de là le producteur pourra synchroniser ses productions pour répondre au mieux aux attentes des clients en supportant un coût beaucoup plus faible. D'après Lee et *al.* (1997) et Moyaux et *al.* (2006) un partage de l'information est nécessaire pour que tous les acteurs acquièrent les mêmes connaissances sur le réseau afin de réduire l'effet de coup de fouet (*Bullwhip effect*) dans la chaîne logistique. Un tel effet consiste en une amplification remarquable des variations de la demande causée par une imprécision informationnelle et une déconnection prononcée entre le producteur et le client.

Lee et *al.* (2000) évaluent l'impact de la variabilité de l'information partagée entre les différents acteurs sur la quantification de l'effet coup de fouet. Ils constatent que même si cette information partagée est homogène, concernant la connaissance de la demande, la technique de prévision utilisée et la politique de gestion de stock considérée, l'effet coup de fouet n'est pas totalement éliminé mais considérablement réduit.

IV.2.2.3 Les approches traitant le partage de l'information

Dans la littérature, le degré de partenariat fournisseur-client varie d'un simple partage d'information à un transfert de décisions (Yu et *al.*, 2001). Pour le premier cas, le client est décideur et il partage ses informations de ventes avec le producteur pour que ce dernier puisse synchroniser et planifier ses productions à l'avance pour une meilleure satisfaction client. Dans ce cas, deux stratégies ont été utilisées : le QRS (*Quick Response System*) ou l'ECR (*Efficient Consumer Response*). Concernant le deuxième cas, c'est le producteur lui-même qui décide pour le client en suivant ses ventes de près et en gérant son stock : cas d'un VMI (*Vendor Managed Inventory*).

a. Quick Response System et Efficient Consumer Response

Lummus and Vokurka (1999) ont présenté dans leur article les concepts QRS et ECR comme des stratégies qui ont nettement contribué à la bonne gestion des flux au sein de la chaîne

logistique. Le QRS a été défini comme un concept de pilotage de flux adopté par l'industrie textile pour survivre face à la concurrence mondiale croissante. L'ECR est par contre un concept crée par l'industrie alimentaire. Les deux stratégies visent une meilleure satisfaction client par un raccourcissement des délais de livraison, une réduction des stocks invendus et une réponse rapide aux marchés. Le QRS a été développé par les leaders de l'industrie textile américaine suite à une étude faite en 1985 par Kurt Salmon Associates qui a montré que les délais de livraison de matières sont considérablement longs et entraînent d'importantes pertes pour l'industrie par une absence du produit adéquat au bon moment et au meilleur emplacement et par des coûts de stockage importants. Une étude similaire a été menée en 1992 par la même firme de consulting Kurt Salmon Associates et a donné naissance au concept ECR qui vise en plus du raccourcissement des délais de livraison, la réduction des stocks invendus périssables, en assurant une collaboration étroite entre les partenaires.

Iyer and Bergen (1997), Forza and Vinelli (1997) ainsi que Fisher and Raman (1996) ont étudié le système QRS pour des produits textiles. Les premiers ont évalué l'impact de ce système sur ce type d'industrie. Les deuxièmes ont présenté la structure nécessaire quant à l'organisation, la gestion et les conditions technologiques pour une implémentation efficace de ce système. Quant à Fisher and Raman, en considérant un QRS, ils ont développé une méthode pour estimer la distribution de probabilités de la demande.

b. Vendor Management Inventory

Comme décrit par Lehoux et *al.* (2010) le VMI est « une technique qui permet au producteur de prendre en charge la gestion des stocks du client». La décision est ainsi transférée au producteur, qui par le partage d'information sur les ventes, va décider lui-même des livraisons à effectuer au client en synchronisant ses productions.

Cette approche collaborative a reçu une attention particulière dans différents domaines vue sa capacité à réduire les coûts et à améliorer le niveau de service du client. En effet, Waller et *al.* (1999) évaluent dans leur article l'effet du VMI sur le stock dans la chaîne logistique et utilisent la simulation pour générer un modèle de chaîne logistique représentant une grande

variété d'industries. Tyan and Wee (2002) considèrent le cas de l'industrie alimentaire. Jana et *al.* (2001) considèrent par contre le cas de l'industrie textile et prononcent que la stratégie VMI n'est pas très adaptable à ce type d'industrie vu que le produit textile n'est pas un produit standard et que la demande est incertaine.

IV.3 Les méthodes de prévision de la demande

Dans le cadre d'une collaboration producteur-client, la fiabilité et la précision de l'information partagée, transmise par le dernier, ne pourra qu'aider le premier à faire de meilleures prévisions de demande pour satisfaire aux mieux ses clients. Ces prévisions permettent à l'entreprise d'anticiper les changements du comportement des clients, pour assurer une réponse immédiate, tout en prévoyant assez à l'avance les phénomènes de sous-production et de sur-production. En effet, l'optimisation de la chaîne logistique dépend fortement de la qualité de ces prévisions.

Cependant, ce système de prévision doit tenir compte de toute information adaptée au contexte logistique considéré. Pour le contexte textile, par exemple, connu par une introduction répétitive de nouveaux produits à courte durée de vie, où tous les évènements influençant le système de prévision sont soit non contrôlés (mode, comportement client…) soit non identifiés (promotions locales, locaux de vente…), les performances du système de prévision doivent satisfaire différents critères tels qu'une réponse immédiate aux variations significatives de la demande, une réalisation de prévisions moyennant un historique sur des courtes périodes de ventes, etc. (Thomassey et *al.*, 2001).

Dans la littérature, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude de la prévision par la présentation de différentes méthodes et le développement de plusieurs modèles. Le choix de ces méthodes dépend entre autres de la disponibilité des historiques de données et de la longueur de l'horizon de prévision. Dans notre travail nous nous intéressons aux produits textile-habillement qui sont généralement de nouveaux produits caractérisés par une courte durée de vie.

Certaines de ces méthodes se basent sur des modèles statistiques comme pour Suh et *al*. (2000), ou sur des concepts de stock de sécurité (Gebennini et *al.*, 2009; Tuzkaya and Önüt, 2009). Il est à noter que ces méthodes sont plus appropriées pour des produits sans risque d'obsolescence et à historique de demande disponible et long. D'autres travaux comme Thomassey et *al*. (2002) et Mostard et *al*. (2011), ont mis au point des systèmes de prévision spécifiques pour l'industrie textile-habillement. Mais il a été montré que ces méthodes deviennent plus efficaces quand elles sont utilisées par les clients tout en observant le comportement de la demande et en faisant un suivi des ventes.

D'après Makridakis et *al*. (1998) et Chern et *al*. (2010), ces méthodes prévisionnelles se divisent principalement en deux groupes : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives.

IV.3.1 Les méthodes qualitatives

Ce sont des méthodes basées principalement sur le jugement humain et sont appuyées par des études de marché ou des enquêtes sur les intentions d'achat. Elles sont utilisables en complément ou à la place des méthodes quantitatives lorsque ces dernières se révèlent inadaptées. Parmi lesquelles nous citons la méthode Delphi (Dalkey, 1969), l'étude du marché (Davis, 1993), l'opinion des vendeurs, la méthode des scénarios ou le panel d'experts (Makridakis et *al.*, 1998). Le point commun entre toutes ces méthodes est qu'elles permettent d'apporter des jugements d'experts sur des sujets précis afin de lever des incertitudes sur les décisions antérieures en vue d'une aide à la décision.

IV.3.2 Les méthodes quantitatives

Ces méthodes sont, par contre, générées à partir de modèles mathématiques et économétriques. Chern et *al*. (2010), s'intéressant dans leur travail à la conception d'un système d'aide à la décision pour la prévision de demande de nouveaux produits, répartissent les méthodes de prévision quantitatives en 2 groupes : un premier groupe de méthodes classiques et un deuxième groupe de méthodes heuristiques. Les premières sont considérées si

un long historique de données de ventes est disponible. Les deuxièmes sont par contre valables pour un historique de moins de 3 périodes ou même pour un historique absent.

IV.3.2.1 Les modèles classiques

Ils sont de deux types :

- des modèles d'extrapolation statistique qui ne tiennent compte que du facteur temps comme variable influençant la demande et se basent donc sur des historiques de ventes de 3 périodes ou plus. Telles que les méthodes de moyennes mobiles (Poskitt, 2001), de lissages exponentiels, ARIMA, etc (Bourbonnais and Usunier, 2001).

- des modèles explicatifs de cause à effet qui tiennent compte du comportement de plusieurs variables indépendantes pour prédire le comportement de la demande. Nous citons à titre d'exemple les méthodes de régression simple ou multiple (Makridakis and *al.*, 1998).

Ces méthodes reposent sur l'analyse d'un historique des ventes existant et diffèrent selon que cet historique de la demande soit stationnaire, avec tendance et/ou avec saisonnalité. Pour des données stationnaires les méthodes de moyennes mobiles ou le lissage exponentiel simple (lissage de Brown) (Brown, 1959) sont utilisés. Pour un historique avec tendance la méthode de lissage exponentiel double de Holt (Holt, 1957), celle de la moyenne mobile double, ou la méthode de régression linéaire sont utilisées. Pour un historique avec saisonnalité, la méthode lissage exponentiel triple de Winters (Winters, 1960) est considérée (Gardner, 2006). Ces méthodes sont caractérisées par leur simplicité, cependant les méthodes d'extrapolation statistique ignorent les évènements exogènes qui sont pris en compte dans les méthodes explicatives.

Comme annoncé par Berbain et *al*. (2010) l'utilisation des méthodes classiques de prévision fondées sur l'analyse de l'historique est quasi impossible pour les nouveaux produits avec une durée de vie courte, comme le cas des articles textile-habillement caractérisés par une courte durée de vie avec une introduction permanente de nouveaux produits. Ainsi, pour ce type de produits les méthodes heuristiques sont plus appropriées.

IV.3.2.2 Les modèles heuristiques

Pour faire face à l'absence d'historique des ventes des nouveaux produits ou de ceux à courte durée de vie, les méthodes heuristiques tiennent compte d'autres aspects pour prévoir les futures demandes tels que l'allure des cycles de vie des produits similaires.

Parmi les modèles utilisés, nous citons les modèles de diffusion qui peuvent être considérés pour prévoir les futures demandes de nouveaux produits ayant un court historique des ventes ou sans historique tels que le modèle logistique et le modèle de Gompertz (Morrison, 1996). Pour les produits ayant un cycle de vie standard (avec un volume des ventes au fil du temps qui passe par les quatre phases d'introduction, croissance, maturité et déclin), les modèles heuristiques essayent de déterminer l'évolution probable des ventes, en connaissant le seuil de saturation à long terme (le maximum des ventes est atteint), le timing quand des ventes atteignent leur maximum et les données sur les ventes cumulatives observées pour la phase d'introduction (Kurawarwala and Matsuo, 1996) (cf. figure 12). Sinon, pour les produits dont l'évolution de leurs ventes ne suit pas la forme standard de la courbe de cycle de vie (une ou plusieurs phases sont absentes), Chern et *al*. (2010) ont proposé un modèle basé sur la moyenne des ventes de la famille de produits (à laquelle appartient ce nouveau produit) en distinguant entre deux situations possibles: (1) la présence ou (2) l'absence de certaines données initiales du lancement de produit.

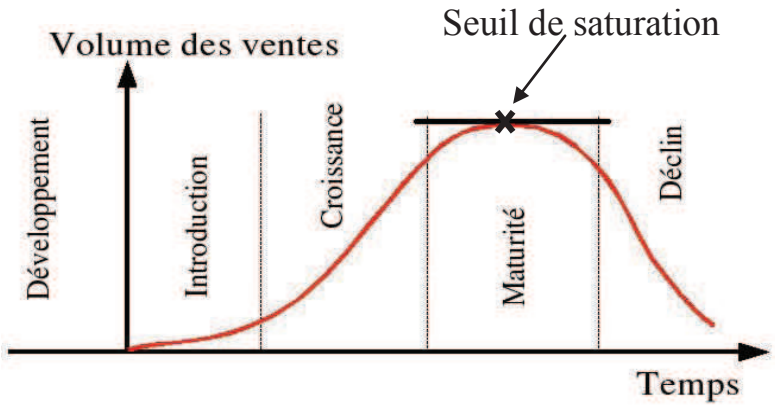

Figure 12 : Cycle de vie d'un produit

Dans tous les cas, le modèle de prévision à considérer doit tenir compte de toute information jugée appropriée au contexte logistique et au domaine d'application. Pour l'industrie textile-habillement (connue par une introduction répétitive de nouveaux produits à courte durée de vie), comme annoncé par Thomassey et *al*. (2002, 2005), la performance du système de prévision dépend de divers critères tels que la rapidité de la réponse à une variation importante de la demande, la précision des prévisions de la demande qui se basent sur un court historique des ventes, etc.

Dans ce qui suit nous explicitons les deux principaux modèles de courbe de vie : le modèle de Gompertz et le modèle logistique (Morrison, 1996). L'objectif de ces modèles est de calculer des prévisions par période en modélisant les courbes de vie des produits (Kurawarwala and Matsuo, 1996 ; Berbain et *al*. 2010). Les données à utiliser sont les ventes observées cumulées en phase de démarrage. Le cycle de vie de produits dont les prévisions sont calculées moyennant ces modèles suppose suivre des profils standards où les volumes des ventes en fonction du temps passent par les quatre phases d'introduction, de croissance, de maturité et de déclin (figure 12).

a. Le modèle de Gompertz

Ce modèle permet de tracer la courbe de cycle de vie d'un nouveau produit en représentant les prévisions cumulées des ventes qui utilisent comme paramètre le seuil de saturation et la vitesse de l'évolution des ventes selon la formule :

$$\text{Log } Y_t = a + b\, r^t \qquad \text{avec } 0 < r < 1$$

Il s'agit d'une courbe en « S » qui croît d'une manière rapide puis ralentit après un point d'inflexion (cf. figure 13).

Le paramètre a est caractéristique du seuil de saturation tel que e^a = seuil. Le paramètre b est lié à l'origine. Et le paramètre r est lié à la vitesse d'évolution des ventes (plus r est faible, plus vite le seuil de saturation sera atteint). Le point d'inflexion de la courbe est fixe (annulation de la dérivée seconde), il est atteint lorsque les ventes cumulées représentent 36.8% du seuil de saturation e^a.

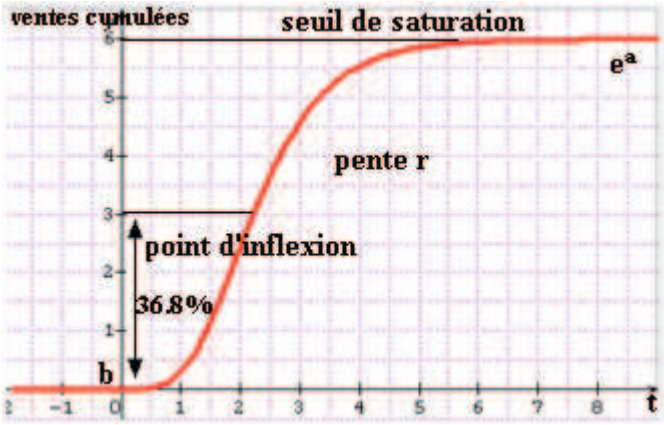

Figure 13 : courbe de Gompertz

b. Le modèle logistique

Ce modèle permet aussi de tracer la courbe de cycle de vie de nouveau produit en utilisant les mêmes paramètres que le modèle de Gompertz sauf que les ventes cumulées atteignent 50% du seuil de saturation au point d'inflexion. D'où une particularité de la courbe logistique est sa fonction symétrique par rapport à ce point (Morrison, 1996).

L'équation de cette courbe (cf. figure 14) est la suivante :

$$Y_t = \frac{Y_{max}}{1+ae^{-rt}}$$

Avec Y_{max}= seuil de saturation ; r = un paramètre lié à la vitesse d'évolution

a = un paramètre lié à l'origine

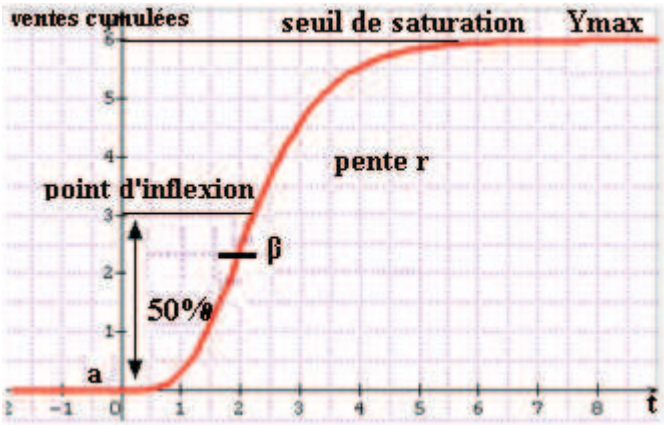

Figure 14 : courbe logistique

L'estimation des paramètres de ces modèles se fait en utilisant un historique des ventes des produits similaires (Greene, 2005). En cas d'absence d'historique pour les produits nouveaux, les paramètres peuvent être estimés en disposant des informations concernant le niveau global des ventes et le temps prévu des pics des ventes (Kurawarwala and Matsuo, 1996).

IV.4 Choix de la méthode de prévision

Dans ce chapitre, notre objectif est d'évaluer l'intérêt de partage de l'information entre producteur et client au niveau de la chaîne logistique en comparant le cas où le producteur possède une information avancée sur les futures demandes du client au cas où ce lien est inexistant et que l'information n'est pas du tout partagée. En vue d'une application sur le cas réel d'un industriel textile tunisien, notre travail traitant le cas intégré, ne sera pas centré sur le développement d'une méthode de prévision élaborée, mais favorisera plutôt l'utilisation de modèle de prévision simple qui soit adapté au cas d'étude. Ce choix s'est aussi appuyé sur la

complexité des programmes linéaires formulés et l'utilisation de l'approche proposée en tant qu'outil d'aide à la décision. En l'absence d'un historique de ventes de produits textiles qui sont saisonnièrement nouveaux et caractérisés par une courte durée de vie, les méthodes de prévisions classiques ne sont pas adaptées à notre cas d'étude. Dans ce travail, nous allons nous baser sur les méthodes de prévisions considérant les cycles de vie de produits. D'autant plus que ces méthodes sont déjà utilisées par des industriels textiles et que différentes allures de courbes de vie existent selon le type de produit considéré.

IV.4.1 Utilisation de la courbe de cycle de vie de produit

Tenant compte des spécificités de la chaîne logistique textile-habillement, tels qu'une courte durée de vie et une absence d'un historique des ventes, nous proposons d'utiliser le modèle logistique de diffusion afin de prévoir les futures commandes de réassort qui risquent d'arriver au cours de la saison. Le choix de cette méthode est justifié par la courbe de cycle de vie standard des articles textile-habillement, comme indiqué par Thomassey et *al*. (2005), ainsi que par la pratique d'utilisation de ce type de modèle dans ce domaine industriel. L'utilisation de ces modèles de prévision est basée sur le partage des informations fournies par le client concernant les ventes en cours. Ayant cette information instantanée, le producteur peut prévoir l'arrivée les commandes de réassort suffisamment à l'avance. En effet, la première étape consiste à développer le modèle de prévision logistique en définissant les paramètres correspondants. Comme deuxième étape, la courbe des ventes cumulatives doit être construite afin de déduire les ventes futures. La troisième étape consiste à définir les points de commande ainsi que les quantités à livrer aux clients. Pour ce faire, nous devons connaître, la politique de réapprovisionnement des clients. Enfin, ces prévisions de commandes de réassort sont insérées en entrée du modèle opérationnel. Il est à noter que le délai entre la réception de la commande jusqu'à sa livraison finale est de 3 semaines. Ainsi chaque commande de réassort prévisionnelle est une demande prévisionnelle à livrer dans 3 semaines. Les prévisions sont mises à jour moyennant l'horizon glissant hebdomadaire.

IV.4.2 Le modèle logistique de diffusion pour la prévision de la demande

Dans ce qui suit nous détaillons la procédure de prévision des commandes de réassort des produits, placés sur les rayons des boutiques, à vendre pour la saison en cours. Afin d'illustrer les différentes étapes réalisées, nous détaillons la procédure pour un exemple type de produit.

Initialement, nous supposons que la durée de vie d'un produit d'habillement est d'environ 24 semaines. En effet, les produits placés dans les boutiques pour la vente en mars, par exemple, font partie de la collection printemps/été et resteront dans les rayons des ventes jusqu'à la fin du mois d'août. Ainsi, nous présentons notre courbe du cycle de vie sur les 24 semaines dans le but de prévoir les différentes commandes de réassort. Pour ce faire, nous utilisons le modèle logistique des prévisions où les ventes cumulatives sont définies en fonction du temps comme suit :

$$Y_t = \frac{S}{1 + Be^{-At}}$$

S est le seuil de saturation à long terme; Ce seuil correspond aux ventes maximales atteintes pour des produits de la même famille vendus au cours de la même saison de l'année précédente.

A est un paramètre lié à la vitesse d'évolution;

B est un paramètre lié à l'origine.

Pour cette courbe les ventes cumulées atteignent 50% du seuil de saturation au point d'inflexion I. Donc ½ S= S/(1+Be^{-IA}) c'est à dire 2=1+ Be^{-IA} d'où B=e^{IA}.

Ainsi

$$Y_t = \frac{S}{1 + e^{(I-t)A}} \qquad (1)$$

Ainsi, Pour tous les produits, nous supposons que la moitié des ventes est atteinte au milieu de l'horizon (à t = 12 semaines). En effet, les produits de la collection d'été, placés sur les rayons des boutiques au début du mois de mars, atteignent leurs ventes maximales au début de la saison estivale au mois de juin.

La deuxième étape consiste à tracer la courbe des ventes cumulatives. Pour ce faire, nous devons déterminer le facteur A selon les quantités de mise en place commandées (commandes fermes qui correspondent aux quantités initiales disponibles dans les boutiques au début de la saison) et selon les ventes observées au cours des premières semaines de vente.

Prenons l'exemple du produit TM680 : connaissant la quantité de mise en place commandée (égale à 2200) et les ventes observées au cours des premières semaines, nous construisons un point de la courbe des ventes cumulatives puis nous déduisons une valeur du facteur A afin de prévoir les ventes cumulatives des prochaines semaines de la saison.

Ainsi, pour le produit TM680 :

$$Y_t = \frac{2200}{1 + e^{0.21(12-t)}} \qquad (2)$$

Ainsi nous pouvons construire la courbe des ventes cumulatives prévisionnelles du produit TM680 comme suit :

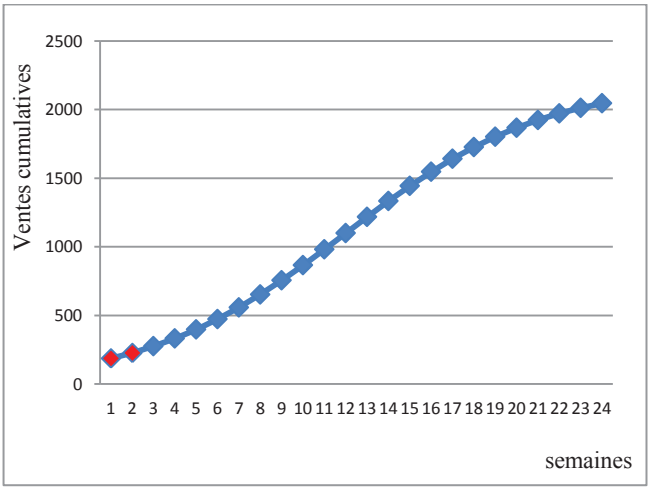

Figure 15 : Ventes cumulatives du produit TM680

A partir de la courbe de cycle de vie ou directement à partir de (2) nous déterminons les ventes hebdomadaires prévisionnelles comme suit :

Tableau 6 : Prévisions de ventes de TM680

semaine	**ventes$_{/sem}$**	**semaine**	**ventes$_{/sem}$**
2	40	14	116
3	48	15	110
4	56	16	103
5	66	17	95
6	75	18	85
7	85	19	75
8	95	20	66
9	103	21	56
10	110	22	48
11	116	23	40
12	118	24	34
13	118		

La troisième étape consiste en la détermination des points de commandes et des quantités à livrer aux clients. Pour cela, le client doit informer le producteur de sa politique de réapprovisionnement. Dans notre cas, il s'agit d'une politique de commande périodique avec deux commandes à deux mois d'intervalle. En effet, la première commande de réassort peut être insérée dès la deuxième période de l'horizon opérationnel (après une observation des ventes de la première semaine) puis elle sera mise à jour dès qu'une commande ferme arrive moyennant l'horizon glissant hebdomadaire. A l'arrivée d'une nouvelle commande ferme, un deuxième point de la courbe logistique est défini, permettant d'actualiser les prévisions effectuées initialement et de déduire ainsi une autre valeur du facteur A. La première courbe est alors ajustée et les prévisions des futures ventes hebdomadaires seront mises à jour. Par exemple, concernant le produit TM680, le producteur reçoit une commande de réassort ferme au deuxième mois. Ainsi, à partir de la troisième période, Y_t est calculé comme suit:

$$Y_t = \frac{2200}{1 + e^{0.34(12-t)}} \qquad (3)$$

La courbe des ventes cumulatives est alors mise à jour comme suit :

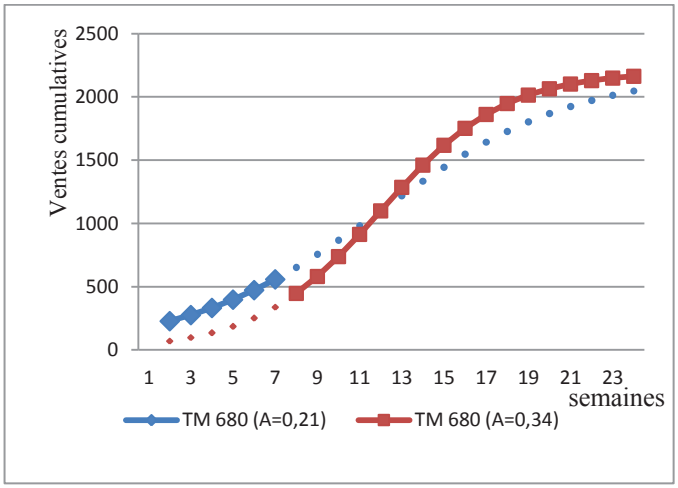

Figure 16 : Les ventes cumulatives mises à jour du produit TM680

IV.5 Description de l'approche de planification avec partage de l'information

Dans ce travail, des prévisions sont faites au niveau opérationnel pour estimer les quantités de réassort qui risquent d'arriver au fil des semaines. Néanmoins, pour notre première approche, décrite au chapitre III, uniquement des commandes fermes sont introduites moyennant l'horizon glissant et il faut attendre que la commande vienne pour l'insérer dans l'horizon afin de la planifier. Actuellement pour cette approche considérant un partage d'information, nous estimerons des commandes avant leurs arrivées moyennant une méthode de prévision, ce qui permet de les insérer dans l'horizon glissant à l'avance. En effet, pour ce cas, dès que les produits sont placés sur les rayons des boutiques, les données de ventes disponibles sont partagées avec le producteur. Sur la base de ces données, les futures commandes de réassort des clients sont estimées et insérées comme entrée dans le modèle opérationnel.

La méthode de prévision permet d'estimer à une période donnée les commandes à venir pour les périodes suivantes. Ensuite, à partir de la méthode de prévision et de la politique de gestion de stock, notre objectif est de définir le cumul des quantités à commander par point de

commande en observant les ventes des premières semaines. Notre méthode de prévision telle que présentée au paragraphe précédent se base sur le principe de courbe de vie de produits.

Initialement, nous aurons à détailler les décisions prises au niveau tactique par période opérationnelle. Il est à noter que pour la période 1 nous intégrons uniquement des commandes fermes puisque les décisions concernant cette semaine seront figées en avançant sur l'horizon glissant, surtout que nous choisissons de ne produire les quantités prévisionnelles que si elles deviennent fermes. Ensuite, en glissant d'une semaine nous figeons les décisions prises à la période 1 et nous mettons à jour les commandes prévisionnelles des périodes suivantes par confirmation, par suppression ou par modification. Les modifications concernent le délai de livraison de la commande ou la quantité à livrer et émanent directement de la méthode de prévision appliquée. Ainsi en avançant sur l'horizon glissant, nous aurons à appliquer à chaque semaine notre modèle de prévision qui fournit les nouvelles commandes prévisionnelles à considérer et qui remplaceront les commandes prises en compte pour la période précédente. Compte tenu de ces commandes prévisionnelles, de nouvelles commandes de mise en place à long délai de livraison peuvent se produire. Ces ordres sont introduits en entrée dans le modèle de planification tactique à partir du mois suivant pour décider de leur affectation en tenant compte des sous-traitants éloignés.

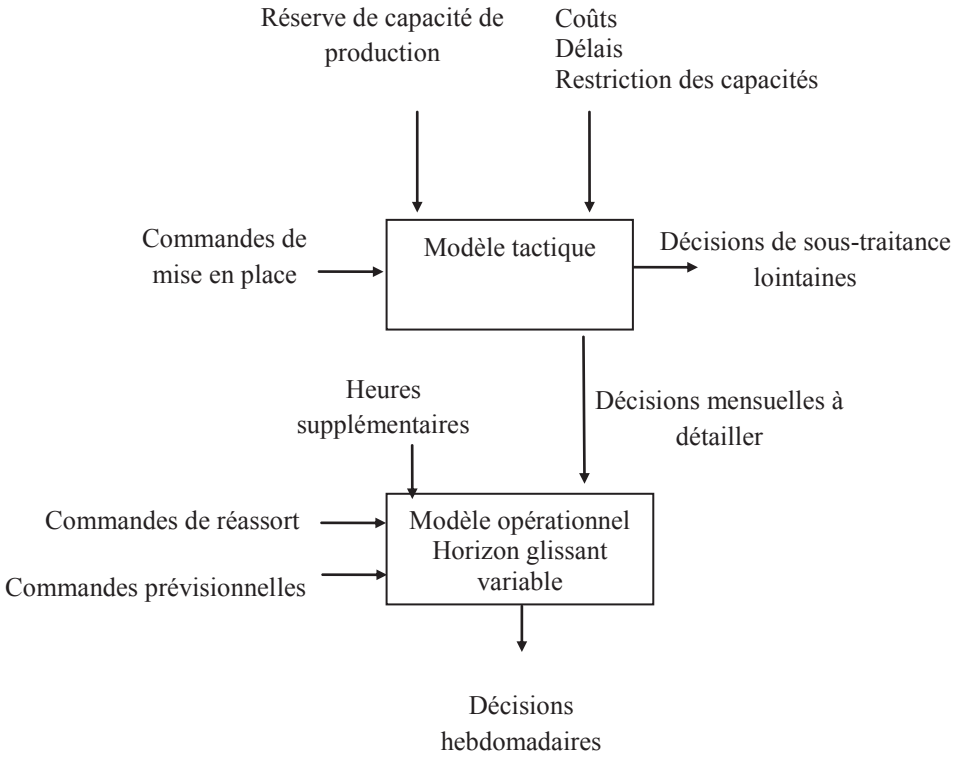

Figure 17 : approche de planification avec partage de l'information

En output, tout comme le premier cas présenté au chapitre précèdent, pour notre approche tenant compte d'un partage d'information, nous aurons un planning hebdomadaire des quantités à produire, à stocker et à distribuer sur 6 mois qui minimise les coûts de production, de stockage et de distribution.

Une comparaison sera par la suite établie entre les différents cas d'étude. Le critère de comparaison concerne le coût. En effet, nous évaluerons, en premier lieu, le gain en coût apporté par la possession d'une information avancée sur les commandes à venir des clients. En deuxième lieu, nous chiffrerons le gain en coût en considérant les résultats obtenus en comparaison avec le cas de prévisions parfaites où 100% de commandes prévisionnelles arrivent réellement. Alors nous pouvons même montrer l'intérêt de la méthode de prévision à appliquer et son effet sur la performance de notre approche.

IV.6 Modélisation mathématique

La modélisation du problème traitant le niveau tactique est inchangée par rapport au cas où nous traitons le problème sans partage d'information (chapitre III). C'est pourquoi nous présentons dans ce qui suit uniquement la modélisation de notre problème traitant le niveau opérationnel. Ce modèle, par comparaison au modèle opérationnel de l'approche présentée au chapitre III, tiendra compte des commandes prévisionnelles de réassorts, établies moyennant la méthode de prévision détaillée ci-haut.

IV.6.1 Les hypothèses du modèle

Les hypothèses du modèle opérationnel pour cette approche, considérant un partage d'information entre producteurs et clients, sont les suivantes :

- pour la première semaine S1 de l'horizon glissant nous ne considérons que des commandes fermes, donc pas de commandes prévisionnelles.

- les commandes prévisionnelles ne sont pas mises en production que lorsqu'elles deviennent fermes.

- les prévisions concernent uniquement les commandes de réassorts.

- les commandes prévisionnelles sont obtenues par le modèle de prévision et sont insérées directement comme données dans le modèle opérationnel.

- un horizon glissant variable est considéré.

- les sous-traitants lointains ne sont pas pris en compte.

- des heures supplémentaires sont considérées.

IV.6.2 Les paramètres du modèle

J = Ensemble des dépôts ; $j \in J$

K = Ensemble des sites de production ; $k \in K$; $K=U \cup V$;

U : unités internes de production

V : sous-traitants locaux

CL = Ensemble des clients ; $i \in CL$;

L = Ensemble de modes de transports ; $l \in L$;

P = Ensemble des produits finis ; $p \in P$

H = horizon de planification ; $t \in [1..h]$ avec $h \in \{8,9,10,11\}$

Coûts de transports

CTU_{kj} : coût unitaire de transport de tout produit du site $k \in K$ vers le dépôt j (exprimé en €/m3).

CST_{jil}: coût unitaire de transport de tout produit du dépôt j vers le client i utilisant le moyen de transport l (exprimé en €/m3).

CFT_{kj} : coût fixe de transport de tout produit du site $k \in K$ vers le dépôt j (exprimé en €).

$CFST_{jil}$: coût fixe de transport de tout produit du dépôt j vers le client i utilisant le moyen de transport l (exprimé en €).

Coûts de production

CP_{pkt} : coût de production unitaire du produit $p \in P$ dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €/unité).

CPH_{pkt} : coût de production unitaire du produit $p \in P$ en heures supplémentaires dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €/unité).

SP_{pkt}: coût de lancement de la production du produit $p \in P$ dans l'unité $k \in U$ durant la période t (exprimé en €).

GP_{pkt} : coût de sous-traitance unitaire du produit $p \in P$ chez le site k $\in V$ durant la période t (exprimé en €/unité).

CSU_{kt} : coût de sous utilisation de la capacité interne de production dans l'unité $k \in U$ durant la période *t* (exprimé en €/heure).

Paramètres de stocks

CPS_{pj} : coût de possession de stock du produit *p* dans le dépôt *j* (exprimé en €/unité).

WD_j : capacité de stockage du dépôt *j* (exprimée en volume).

Paramètres de capacités et de délais

DMP_{pit} : demande prévisionnelle du produit $p \in P$ pour le client *i* à satisfaire à la fin de la période *t* (exprimée en quantité de produit).

DMF_{pit} : demande de production du produit $p \in P$ pour le client *i* à satisfaire à la fin de la période *t* (exprimée en quantité de produit).

V_p: volume d'occupation d'un produit *p* exprimé en unité de volume par produit.

TP_p: temps de production d'un produit *p* exprimé en heure.

UP_{kt} : capacité maximale de production dans le site $k \in K$ durant la période *t* (exprimée en heure).

UPH_{kt} : capacité maximale de production en heures supplémentaires dans le site $k \in U$ durant la période *t*. Pour $k \in V$, UPH_{kt}=0 (exprimée en heure).

CM_l : capacité du moyen de transport *l* (exprimé en volume).

d_l : délai du mode de transport l d_l = 5 pour bateau

d_l = 0 pour camion, avion

Paramètres de correspondance tactique-opérationnel

$X1_{pk}$: Décision du 1er modèle sur la quantité des produits $p \in P$ produite dans le site $k \in U$ durant le premier mois.

$X2_{pk}$: Décision du 1er modèle sur la quantité des produits $p \in P$ produite dans le site $k \in U$ durant le deuxième mois.

$X3_{pk}$: Décision du 1er modèle sur la quantité des produits $p \in P$ produite dans le site $k \in U$ durant le troisième mois.

IV.6.3 Les variables de décisions

Variables liées à l'activité de production

XP_{pkt}: quantité prévisionnelle du produit $p \in P$ lancée dans le site $k \in K$ durant la période t (exprimée en quantité de produit).

XF_{pkt}: quantité ferme du produit $p \in P$ lancée dans le site $k \in K$ durant la période t (exprimée en quantité de produit).

XPH_{pkt}: quantité prévisionnelle du produit $p \in P$ lancée en heures supplémentaires dans le site $k \in U$ durant la période t (exprimée en quantité de produit).

XFH_{pkt}: quantité ferme du produit $p \in P$ lancée en heures supplémentaires dans le site $k \in U$ durant la période t (exprimée en quantité de produit).

SPR_{kt} : capacité de production non utilisée dans le site $k \in K$ durant la période t (exprimée en heure).

YP_{pkt}=1 si la commande prévisionnelle du produit $p \in P$ est lancée dans le site $k \in K$ durant la période t ; 0 sinon.

YF_{pkt}=1 si la commande ferme du produit $p \in P$ est lancée dans le site $k \in K$ durant la période t ; 0 sinon.

YPH_{pkt} =1 si la commande prévisionnelle du produit $p \in P$ est lancée en heures supplémentaires dans le site $k \in K$ durant la période t ; 0 sinon.

YFH_{pkt}=1 si la commande ferme du produit $p \in P$ est lancée en heures supplémentaires dans le site $k \in K$ durant la période t ; 0 sinon.

Variables liées à l'activité de stockage

JF_{pjt}: Niveau de stock du produit $p \in P$ émanant d'une commande ferme dans le dépôt j à la fin de la période t (exprimé en quantité de produit).

JP_{pjt}: Niveau de stock du produit $p \in P$ émanant d'une commande prévisionnelle dans le dépôt j à la fin de la période t (exprimé en quantité de produit).

Variables liées à l'activité de transport

$ZTP1_{kjpt}$: quantité du produit $p \in P$, émanant d'une commande prévisionnelle, transportée du site $k \in K$ au dépôt j durant la période t (exprimée en quantité de produit).

$ZTF1_{kjpt}$: quantité du produit $p \in P$, émanant d'une commande ferme, transportée du site $k \in K$ au dépôt j durant la période t (exprimée en quantité de produit).

$ZTP2_{jiplt}$: quantité du produit $p \in P$, émanant d'une commande prévisionnelle, transportée du dépôt j au client i durant la période t (exprimée en quantité de produit).

$ZTF2_{jiplt}$: quantité du produit $p \in P$, émanant d'une commande ferme, transportée du dépôt j au client i durant la période t (exprimée en quantité de produit).

$NP1_{kjt}$: Nombre de moyens de transports utilisés pour transporter des produits du site $k \in K$ au dépôt j durant la période t.

$NP2_{jilt}$: Nombre de moyens de transports utilisés pour transporter les produits du dépôt j au client i durant la période t via le mode de transport l.

IV.6.4 La fonction objectif

Elle vise la minimisation des coûts de production, de sous-utilisation de la capacité de production interne, de stockage et de transport :

Coût de production :

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} CP_{pkt} * \left(XP_{pkt} + XF_{pkt}\right) + \sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} SP_{pkt} * (YP_{pkt} + YF_{pkt}) +$$

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} SP_{pkt} * \left(YPH_{pkt} + YFH_{pkt}\right) + \sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in V} GP_{pkt} * (XP_{pkt} + XF_{pkt}) +$$

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in U} CPH_{pkt} * \left(XPH_{pkt} + XFH_{pkt}\right)$$

Coût de sous-utilisation de la capacité interne de production :

$$\sum_{t\in H}\sum_{k\in U} CSU_{kt} * SPR_{kt}$$

Coût de stockage :

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{j\in J} CPS_{pj} * \left(\frac{JP_{pjt}+JP_{pjt+1}}{2} + \frac{JF_{pjt}+JF_{pjt+1}}{2}\right)$$

Coût de transport :

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J} CTU_{kj} * V_p * \left(ZTP1_{kjpt} + ZTF1_{kjpt}\right) + \sum_{t\in H}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J} CFT_{kj} * NP1_{kjt} +$$

$$\sum_{t\in H}\sum_{p\in P}\sum_{i\in CL}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} CST_{ji} * V_p * \left(ZTP2_{jiplt} + ZTF2_{jiplt}\right) + \sum_{t\in H}\sum_{i\in CL}\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} CFST_{ji} * NP2_{jilt}$$

IV.6.5 Les contraintes

* $JP_{pjt} = JP_{pjt-1} + \sum_{k\in K} ZTP1_{kjpt} - \sum_{i\in CL}\sum_{l\in L} ZTP2_{jiplt}$ $\quad j \in J; p \in P; t \in H$ (11.a)

  $JF_{pjt} = JF_{pjt-1} + \sum_{k\in K} ZTF1_{kjpt} - \sum_{i\in CL}\sum_{l\in L} ZTF2_{jiplt}$ $\quad j \in J; p \in P; t \in H$

* $JP_{pj0} = JF_{pj0} = 0$ $\quad j \in J; p \in P$ (11.b)

* $\sum_{p\in P}(JP_{pjt} + JF_{pjt}) \leq WD_j$ $\quad j \in J; t \in H$ (11.c)

Les familles des contraintes 11) définissent celles de gestion de stocks. Les contraintes 11.a) déterminent le niveau de stock du produit p dans le dépôt j à la fin de la période t concernant les commandes prévisionnelles et celles fermes. La contrainte 11.b) assure que le stock initial soit nul. La contrainte 11.c) assure que la quantité stockée dans le dépôt ne dépasse pas sa capacité de stockage.

Les familles des contraintes (12), (13) et (14) représentent les contraintes de production.

$* XP_{pkt} \leq M * (YP_{pkt} + YPH_{pkt})$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$ (12.a)

$XF_{pkt} \leq M * (YF_{pkt} + YFH_{pkt})$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$YP_{pkt} \leq XP_{pkt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$YF_{pkt} \leq XF_{pkt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$* XPH_{pkt} \leq M * (YPH_{pkt} + YP_{pkt})$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$ (12.b)

$XFH_{pkt} \leq M * (YFH_{pkt} + YF_{pkt})$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$YPH_{pkt} \leq XPH_{pkt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$YFH_{pkt} \leq XFH_{pkt}$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

$* \; YPH_{pkt} + YP_{pkt} \leq 1$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$ (12.c)

$YFH_{pkt} + YF_{pkt} \leq 1$ $\quad k \in K; p \in P; t \in H$

Les familles de contraintes 12.a) et 12.b) garantissent l'affectation des produits lancés en heures normales et en heures supplémentaires aux sites où ils sont fabriqués. Les contraintes 12.b) avec 12.c) garantissent la considération du coût lancement de la production en heures supplémentaires uniquement pour le cas où il n'y a pas eu de production en heures normales dans le même site.

$\sum_{p \in P} TP_p * (XPH_{pkt} + XFH_{pkt}) \leq UPH_{kt}$ $\quad k \in K; t \in H$ (12.d)

$\sum_{p \in P} TP_p * (XP_{pkt} + XF_{pkt}) \leq UP_{kt}$ $\quad k \in K; t \in H$ (12.e)

Les contraintes 12.d) et 12.e) délimitent les capacités de production en heures supplémentaires et en heures normales.

$XP_{pkt} = 0$ $\quad p \in P; k \in K; t = 1$ (12.f)

$XPH_{pkt} = 0$ $\quad p \in P; k \in K; t = 1$

Les contraintes 12.f) garantissent que les quantités prévisionnelles produites lors de la première période soient nulles.

$$* \; X1_{pk} \leq \sum_{t=1}^{4}(XF_{pkt} + XFH_{pkt}) \qquad k \in U; p \in P; t \leq 8 \qquad (13)$$

$$X1_{pk} \leq \sum_{t=1}^{h-8}(XF_{pkt} + XFH_{pkt}) \qquad k \in U; p \in P; t \in [1..h]; h > 8$$

$$X2_{pk} \leq \sum_{t=1}^{8}(XF_{pkt} + XFH_{pkt}) \qquad k \in U; p \in P; t \leq 8$$

$$X2_{pk} \leq \sum_{t=h-7}^{h-4}(XF_{pkt} + XFH_{pkt}) \qquad k \in U; p \in P; t \in [1..h]; h > 8$$

$$X3_{pk} \leq \sum_{t=h-3}^{h}(XF_{pkt} + XFH_{pkt}) \qquad k \in U; p \in P; t \in [1..h]; h > 8$$

Les familles des contraintes 13) assurent le respect des décisions d'affectation prises au niveau tactique. En effet, les quantités lancées au niveau tactique sur un mois donné doivent être produites au cours de ces 4 semaines du mois correspondant au niveau opérationnel.

$$* \; SPR_{kt} \geq UP_{kt} - \sum_{p \in P} TP_p * \left(XP_{pkt} + XF_{pkt}\right) \qquad k \in U; t \in H \qquad (14)$$

Les familles des contraintes 14) assurent que la capacité de production interne non utilisée soit supérieure ou égale à la capacité disponible diminuée des quantités produites.

Les familles des contraintes 15) représentent les contraintes de distribution.

$$* \; XPH_{pkt} + XP_{pkt} = \sum_{j \in J} ZTP1_{kjpt} \qquad k \in K; p \in P; t \in H \qquad (15.a)$$

$$XFH_{pkt} + XF_{pkt} = \sum_{j \in J} ZTF1_{kjpt} \qquad k \in K; p \in P; t \in H$$

$$\text{Avec} \quad \left(XPH_{pkt}, XFH_{pkt}\right) = (0,0) \qquad k \in V; p \in P; t \in H$$

$$* \; DMF_{pit} = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} ZTF2_{jiplt-d_l} \qquad i \in CL; p \in P; t \in H; t \geq d_l \qquad (15.b)$$

$$DMP_{pit} = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} ZTP2_{jiplt-d_l} \qquad i \in CL; p \in P; t \in H; t \geq d_l$$

$$* \; \sum_{p \in P} V_p * \left(ZTF2_{jiplt} + ZTP2_{jiplt}\right) \leq NP2_{jilt} * CM_l \qquad j \in J; i \in CL; t \in H; l \in L \qquad (15.c)$$

$$\sum_{p \in P} V_p * \left(ZTF1_{kjpt} + ZTP1_{kjpt}\right) \leq NP1_{kjt} * CM_l \qquad j \in J; k \in K; t \in H; l \in L$$

En effet, 15.a) assure que toutes les quantités produites soient transportées aux dépôts. 15.b) garantit la satisfaction de la demande des clients à temps. La famille des contraintes 15.c) assurent que toutes les quantités transportées ne doivent pas dépasser les capacités des moyens de transport.

$*YP_{pkt} \in \{0,1\}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	(16)
$YF_{pkt} \in \{0,1\}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$YFH_{pkt} \in \{0,1\}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$YPH_{pkt} \in \{0,1\}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$ZTP1_{kjpt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; j \in J; p \in P; t \in H$	
$ZTF1_{kjpt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; j \in J; p \in P; t \in H$	
$ZTP2_{jiplt} \in \mathbb{N}$	$j \in J; i \in CL; p \in P; l \in L; t \in H$	
$ZTF2_{jiplt} \in \mathbb{N}$	$j \in J; i \in CL; p \in P; l \in L; t \in H$	
$XP_{pkt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$XF_{pkt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$XFH_{pkt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$XPH_{pkt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; p \in P; t \in H$	
$JP_{pjt} \in \mathbb{N}$	$j \in J; p \in P; t \in H$	
$JF_{pjt} \in \mathbb{N}$	$j \in J; p \in P; t \in H$	
$NP1_{kjt} \in \mathbb{N}$	$k \in K; j \in J; t \in H$	
$NP2_{jilt} \in \mathbb{N}$	$j \in J; i \in CL; l \in L; t \in H$	
$SPR_{kt} \in \mathbb{N}$	$k \in U; t \in H$	

Les contraintes 16) sont celles d'intégrité et de signe.

IV.7 Résultats expérimentaux

Dans ce paragraphe, nous allons détailler les résultats obtenus en insérant les commandes prévisionnelles de réassort émanant du modèle de diffusion logistique. Au niveau tactique, contrairement aux considérations de l'industriel et comme explicité précédemment, notre

approche de planification tient compte d'une réserve de capacité de production interne pour répondre au mieux aux commandes de réassort imprévues.

Initialement, de la même manière que pour le chapitre précèdent, nous étudions trois scénarios: (1) le premier reflète le cas réel où aucune réserve de capacité de production n'est utilisée au niveau de la planification tactique (α = 100%); (2) le deuxième scénario considère une réserve fixe de la capacité de production interne (α = 80%); (3) le troisième scénario tient compte d'une réserve de capacité de production mensuelle variable. Une comparaison des résultats obtenus pour les trois scénarios sera par la suite établie afin de confirmer l'intérêt de la considération de cette réserve de capacité au niveau tactique.

Ensuite, afin de mettre en évidence les avantages de partage d'informations précises et fiables entre les différents acteurs induisant de parfaites prévisions, nous comparons nos résultats obtenus avec le cas où nous considérons des prévisions parfaites (cas où toutes les commandes de réassort prévues arrivent réellement moyennant l'horizon glissant). L'objectif est d'évaluer notre approche de planification lorsque le producteur est en possession d'une information fiable et précise.

IV.7.1 Evaluation de l'effet de la considération d'une réserve de capacité

Au niveau de la planification opérationnelle, les prévisions de commandes de réassort déduites du modèle de diffusion logistique sont insérées à partir de la deuxième période (semaine) de l'horizon opérationnel. Le coût total de la chaîne logistique pour les six mois est composé des coûts des sous-traitants lointains émanant de la décision du modèle de planification tactique et des coûts de planification opérationnelle correspondant à la somme des coûts des premières périodes de l'horizon glissant le long des six mois de la saison.

IV.7.1.1 Utilisation de toute la capacité de production interne

Nous testons d'abord le cas observé de l'industriel où toute la capacité de production interne est utilisée. Au niveau tactique, α est donc égal à 100%.

Pour cela, nous commençons par injecter les décisions prises au niveau tactique dans le modèle opérationnel à horizon de 8 semaines. Ensuite, en glissant d'une semaine, les décisions prises à la période 1 sont figées, et les commandes fermes qui arrivent en cette période sont intégrées en entrée. Ce modèle opérationnel tient compte aussi toutes les commandes prévisionnelles qui pourraient arriver jusqu'à la fin de l'horizon opérationnel.

Moyennant l'horizon glissant, nous aurons à chaque fois à insérer les nouvelles commandes qui arrivent et à affermir les commandes prévisionnelles dès leurs réceptions effectives de la part du client.

Le tableau 7 présente les coûts de production, stockage et distribution obtenus sur les 6 mois :

Tableau 7 : Les coûts obtenus pour α=100%

Coût total *(K€)*	**α=100%**
Coût de production en heures régulières	2 019
Coût de production en heures supplémentaires	19
Coût de sous-traitance	144
Coût de stockage	21
Coût de transport	199
Coût de sous-utilisation de la capacité interne de production	25
Coût total	**2 429**

IV.7.1.2 Utilisation d'une réserve moyenne de la capacité de production interne

Afin de montrer l'intérêt de l'adoption d'une réserve de capacité de production interne au niveau tactique, nous testons le cas où α est égal à 80%. Ainsi les commandes insérées en entrée du modèle de planification tactique seront planifiées pour la production dans les sites internes et auprès des différents sous-traitants en laissant une réserve de capacité de production interne afin de pouvoir l'utiliser au niveau opérationnel lors de l'arrivée de commandes de réassort imprévues et urgentes. Comme explicité dans le paragraphe précèdent, les commandes prévisionnelles seront insérées au fur et à mesure moyennant

l'horizon glissant et seront mises à jour par affermissement, suppression ou modification en entamant un nouvel horizon jusqu'à atteindre la fin des six mois. Les différents coûts obtenus pour une réserve fixe de 80% sont rapportés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Les coûts obtenus pour α=80%

Coût total *(K€)*	**α=80%**
Coût de production en heures régulières	2 045
Coût de production en heures supplémentaires	15
Coût de sous-traitance	117
Coût de stockage	13
Coût de transport	198
Coût de sous-utilisation de la capacité interne de production	20
Coût total	**2 411**

IV.7.1.3 Utilisation d'une réserve variable de la capacité de production interne

Afin de tenir compte de la variabilité de la demande, nous considérons au niveau tactique une réserve de capacité de production interne variable par mois (tableau 4 chapitre III). Cette variation de la capacité de production interne à utiliser au niveau tactique permettra au producteur d'ajuster sa capacité mensuelle selon les commandes antérieures de la même saison. Ainsi les commandes insérées en entrée du modèle de planification tactique seront planifiées pour la production dans les sites internes et auprès des différents sous-traitants en laissant une réserve de capacité de production interne variable par mois afin de pouvoir accueillir au mieux les commandes de réassort imprévues qui arrivent au niveau opérationnel. Les différents coûts obtenus pour une réserve de capacité variable par mois sont reportés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Les coûts obtenus pour α variable

Coût total *(K€)*	**α variable par mois**
Coût de production en heures régulières	2 057
Coût de production en heures supplémentaires	1
Coût de sous-traitance	56
Coût de stockage	16
Coût de transport	196
Coût de sous-utilisation de la capacité interne de production	3
Coût total	**2 332**

IV.7.1.4 Comparaison des différents scénarios

Les gains en coûts induits par les scénarios 2 et 3 par rapport au scénario 1 sont présentés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 10). Les résultats obtenus pour les trois scénarios montrent bien l'intérêt de la considération d'une réserve de capacité de production interne au niveau de la planification tactique de la chaîne.

Tableau 10 : Comparaison des trois scénarios

Coût total *(K€)*	**Scénario 1 α=100%**	**Scénario 2 α=80%**	**Gain en coût (%)**	**Scénario 3 α variable**	**Gain en coût (%)**
Coût de production en heures régulières	2 019	2 045	-1	2 057	-2
Coût de production en heures supplémentaires	19	15	21	1	92
Coût de sous-traitance	144	117	19	56	61
Coût de stockage	21	13	34	16	22
Coût de transport	199	198	0.5	196	1
Coût de sous-utilisation de la capacité interne de production	25	20	18	3	87
Coût total	**2 429**	**2 411**	**1**	**2 332**	**4**

Cette réserve de capacité interne, si variable et ajustée par mois, induira un gain en coût total de 4% par rapport au scénario 1 qui adopte une réserve de capacité nulle. En effet, pour le troisième scénario, nous constatons une réduction substantielle du coût de production en heures supplémentaires, du coût de sous-utilisation de la capacité interne de production et du

coût de sous-traitance, contre un coût de production en heures régulières plus élevé que celui obtenu pour les deux autres scénarios. L'augmentation de ce coût en heures régulières met en évidence une meilleure utilisation des capacités de production internes (comme le montre la figure 18).

En ce qui concerne le coût de stockage, pour le scénario 3, ce coût est inférieur à celui obtenu pour le scénario 1, mais plus élevé que le coût obtenu pour le scénario 2. En effet, Pour le scénario 3 certaines productions prévues sont avancées au cours des mois lorsque la capacité de production interne permet de les accueillir.

Le coût de transport est par contre quasiment stable pour les trois scénarios.

Les gains en coûts sont donc principalement dus à une meilleure utilisation de la capacité de production interne, en tenant compte de la réserve de capacité de production adéquate au niveau de la planification tactique.

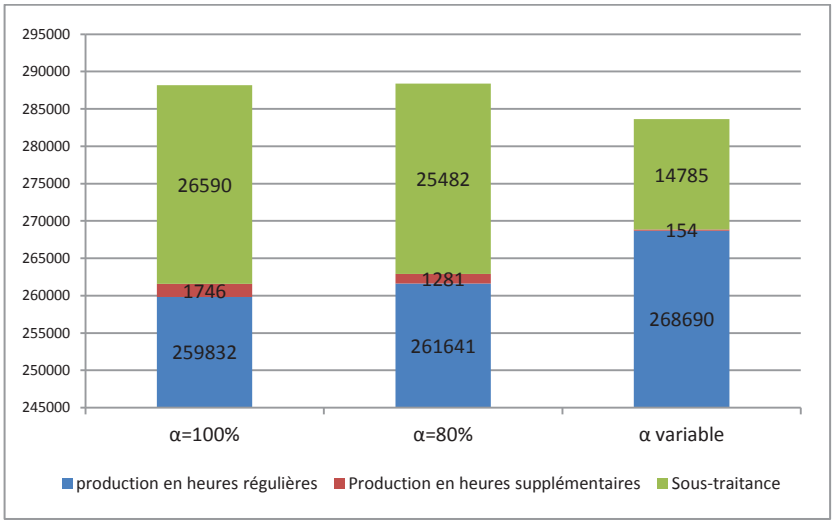

Figure 18 : Affectation des productions

Certaines commandes à planifier au cours des six mois doivent être livrées aux clients à une date d'échéance au-delà de l'horizon de planification de six mois. Ces commandes peuvent être traitées à l'avance quand la capacité de production disponible est en mesure de les accueillir et elles seront transportées par bateau aux clients. Sinon, ce type de commandes est

retardé pour les prochains mois, au-delà de l'horizon de planification de six mois, puisque la date d'échéance n'est pas encore atteinte. Pour le scénario 2, la réserve de capacité de production considérée au niveau tactique permet la production avancée de certaines commandes en interne à moindre coût, lorsque les capacités internes sont disponibles au niveau de la planification opérationnelle. Ce qui explique la hausse des quantités produites au cours des six mois par comparaison avec les aux deux autres scénarios. Néanmoins, pour une réserve de capacité de production variable par mois (scénario 3), ces quantités avancées sont plus faibles puisque la capacité interne disponible est ajustée par mois et elle permettra d'accueillir au juste les quantités nécessaires de manière optimale.

IV.7.2 Evaluation de l'effet de la qualité des prévisions

L'objectif ici est de mettre l'accent sur l'importance de partager une information fiable, précise et complète et sur l'importance de l'utilisation d'un système de prévision efficace. Pour ce faire, notre approche, tenant compte du partage d'information, a été testée avec des prévisions parfaites, c'est à dire, en supposant que toutes les commandes prévisionnelles arrivent réellement au niveau opérationnel.

Les différents coûts obtenus en tenant compte des trois scénarios sont reportés dans le tableau11.

Tableau 11 : Comparaison des coûts

	α =100%		**α =80%**		**α variable**	
	Coût total*	Gain en coût	Coût total*	Gain en coût	Coût total*	Gain en coût
A1	2 429	-	2 411	1%	2 332	4%
A2	2 396	1,4%	2 364	3%	2 285	6%

A1 : Approche avec partage d'information
A2 : Approche avec partage d'information et prévisions parfaites
* exprimé en *K€*

Ces résultats montrent que le partage d'une information fiable et précise permettra un gain en coût qui peut atteindre 6% en comparant le coût obtenu pour une réserve de capacité de production mensuelle variable avec des prévisions parfaites au coût obtenu pour une réserve

de capacité nulle et sans prévisions parfaites. Ceci confirme bien l'intérêt d'un système de prévision fiable et efficace.

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre, une approche de planification de la production et de la distribution a été développée en considérant un partage de l'information entre le producteur et le client. Nous confirmons l'intérêt de l'adoption d'une réserve de capacité de production interne au niveau de la planification tactique ainsi que l'importance de partage d'une information fiable pouvant induire des résultats prévisionnels précis.

Cette approche sera évaluée dans le chapitre suivant comme alternative ou comme complément à notre première approche, détaillée dans le chapitre III.

Chapitre V : Comparaison des approches et analyse des résultats

Introduction

Comparaison des performances des deux approches

Généralisation et analyse des résultats

Conclusion

V.1 Introduction

Dans les deux chapitres précédents, nous montrons l'intérêt de considérer une réserve de capacité de production interne au niveau tactique afin de répondre au mieux aux attentes imprévues et urgentes des clients au niveau opérationnel. Cette réserve est prouvée bénéfique aussi bien pour le cas ne considérant pas un partage de l'information entre fournisseur et client que pour le cas considérant la coordination entre ces acteurs.

Dans la première section de ce chapitre, les résultats de ces deux approches sont comparés. La deuxième approche avec partage de l'information sera évaluée comme alternative ou comme complément de la première approche afin de prouver que l'optimisation globale d'une chaîne logistique est meilleure en tenant compte du partage d'information.

La deuxième section de ce chapitre est dédiée à l'évaluation de l'effet de la variation de certains paramètres sur la performance des deux approches présentées.

V.2 Comparaison des performances des deux approches

V.2.1 Comparaison entre la première approche celle avec partage de l'information

Cette comparaison prouve l'intérêt de partage de l'information dans la chaîne logistique. La différence entre les deux approches réside dans le type de la relation entre le fournisseur (producteur) et le client : La deuxième approche utilise des informations partagées sur les ventes afin d'établir les commandes prévisionnelles de réassorts qui risquent d'arriver au fil des semaines au niveau opérationnel. Par contre la première approche ne considère aucun partage d'information entre fournisseur et client.

Le tableau 12 présente les résultats obtenus à partir des deux approches de planification et montre que la deuxième approche est une bonne alternative à la première puisque le gain en coût global est de 15% pour le scénario tenant compte de toute la capacité de production

interne au niveau de la planification tactique. Ce gain peut atteindre 18% en tenant compte d'une réserve de capacité de production mensuellement variable au niveau tactique.

Tableau 12 : Comparaison des deux approches

α	**100%**		**80%**		**Variable/mois**	
	C	CS	C	CS	C	CS
A1	2 864	-	2 746	4%	2 575	10%
A2	2 429	15%	2 411	16%	2 332	18%

A1: approche avec réserve de capacité
A2: approche avec partage d'information
C : coût total (K€)
CS : gain en coût

Ce gain en coût s'explique par une répartition optimisée des commandes sur les sites de production internes et chez les sous-traitants en heures normales et en heures supplémentaires comme explicité ci-joint dans le tableau 13.

Tableau 13 : Comparaison des affectations des productions

	α=100%		**α=80%**		**α variable/mois**	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Production en heures normales*	259359	259832	259654	261641	259727	268690
Production en heures supplémentaires*	1833	1746	1401	1281	2303	154
Production chez les sous-traitants*	25507	26590	35373	25482	16793	14785
Quantités totales produites*	286699	288168	296428	288404	278823	283629

A1: approche avec réserve de capacité
A2: approche avec partage d'information
* : exprimée en unités de produits

Nous notons que pour la deuxième approche de planification, quand le client partage ses informations de ventes avec le producteur, une meilleure utilisation de la capacité de production interne est assurée en considérant ou non une réserve de la capacité de production interne au niveau tactique. Cependant, la meilleure utilisation de cette capacité est observée

quand une réserve mensuellement variable est prise en compte au niveau de la planification tactique.

L'augmentation des quantités produites dans les sites de production internes est accompagnée d'une diminution des quantités produites en heures supplémentaires et chez les différents sous-traitants, à l'exception du cas où toute la capacité de production interne est utilisée au niveau de la planification tactique. Pour ce dernier cas, les productions auprès des sous-traitants ont augmenté par comparaison à la première approche, tenant compte uniquement d'une réserve de capacité de production sans partage d'information. Cette augmentation s'explique par l'avancement de certaines commandes et leur lancement dans les sites internes ou chez les sous-traitants. Cette décision de planification est due à : (1) un coût élevé des productions en heures supplémentaires en comparaison aux coûts compétitifs offerts par les sous-traitants ; (2) l'utilisation de toute la capacité de production interne disponible au niveau de la planification tactique ; (3) l'indisponibilité de la capacité de production interne quand de nouvelles commandes arrivent au niveau opérationnel.

V.2.2 Comparaison des deux approches dans le cas de prévisions parfaites

L'objectif par cette étude est de montrer l'importance de partage d'une information fiable, précise et complète. Pour cela, nous testons notre approche, tenant compte du partage de l'information, avec des prévisions parfaites, au sens que toutes les commandes prévisionnelles de réassorts parviennent réellement et cela sur l'horizon de planification opérationnel.

Les différents coûts obtenus considérant les trois scénarios et les trois niveaux de réserve de capacités considérés sont rapportés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Comparaison des coûts

	α =100%		**α =80%**		**Variable/mois**	
	C	CS	C	CS	C	CS
A1	2 864	-	2 746	4%	2 575	10%
A2	2 429	15%	2 411	16%	2 332	18%
A3	2 396	16%	2 364	17%	2 285	20%

A1: approche avec réserve de capacité
A2 : approche avec partage d'information
A3 : approche avec partage d'information et prévisions parfaites
C : coût total *(K€)*
CS : gain en coût

Ces résultats prouvent que le gain en coût peut atteindre 20% en comparant le meilleur coût obtenu pour une réserve de capacité de production mensuellement variable au coût supporté par l'industriel (où toute la capacité de production interne disponible est utilisée au niveau tactique sans considération de partage d'information).

V.3 Généralisation et analyse des résultats

L'objectif des simulations qui seront faites ci-après est d'évaluer l'intérêt de l'approche considérant un partage d'information par rapport à la première approche (en considérant uniquement une réserve de capacité de production) et de montrer jusqu'à quelles limites de demande et de coûts, le gain apporté par la deuxième approche par rapport à la première reste valable.

Pour cela nous proposons d'évaluer, dans un premier temps, l'effet de la variation de la demande sur l'écart entre les coûts globaux des deux approches. Ensuite, nous investiguons l'effet de la variation des coûts de sous-traitance et de transport sur la performance globale de nos approches.

V.3.1 Effet de la variation de la demande sur la performance des approches

Initialement, une comparaison des deux cas suivants est opérée : (1) le cas où toute la capacité de production interne est prise en compte au niveau de la planification tactique sans

considération de partage d'information, (2) le cas où le meilleur coût est obtenu par l'approche avec partage de l'information en tenant compte d'une réserve de capacité de production interne mensuellement variable au niveau de la planification tactique. Ce choix est basé sur les résultats obtenus.

Dans notre expérimentation, nous choisissons d'évaluer le gain de la deuxième approche par rapport à la première approche en considérant 5 scénarios dans lesquels la demande varie de -50% à +50% de la demande réelle. Ces scénarios sont respectivement notés : D-50%, D-20%, D, D+20% et D+50%. Les différents coûts obtenus pour une demande de +/- 20% et de +/-50% sont représentés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Variation des coûts en fonction de la demande D

	D-50%	**D-20%**	**D**	**D+20%**	**D+50%**
A1 avec α =100% ***(K€)***	1658	2152	2864	3285	3794
A2 avec α variable ***(K€)***	1601	1898	2332	2653	3055
Ecart ***(%)***	3	12	18,6	19	19

A1: approche avec réserve de capacité
A2 : approche avec partage d'information

L'écart entre les coûts obtenus pour les deux approches varie de 3% à 19% selon la courbe de la figure 19.

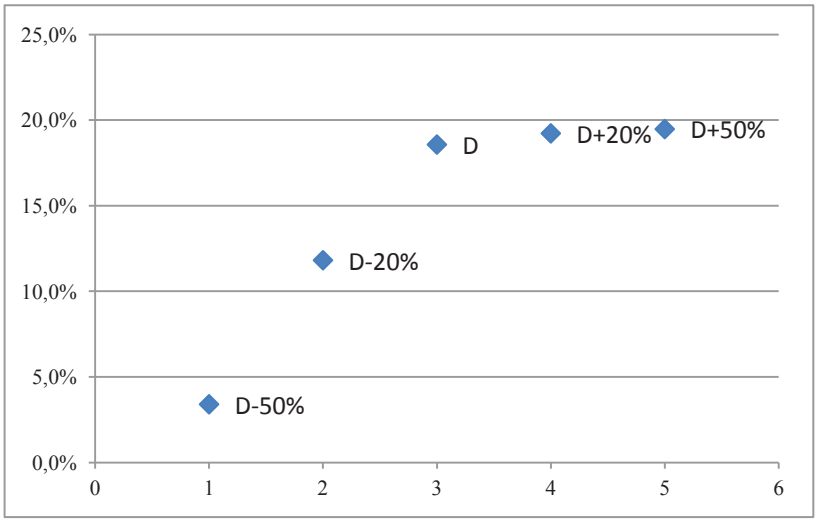

Figure 19 : Ecart entre les coûts obtenus par les deux approches

Les coûts ainsi évalués pour les deux approches prouvent bien l'intérêt de l'approche tenant compte d'un partage de l'information par rapport la première. En effet, même pour des demandes réduites de moitié, le coût reste meilleur pour l'approche avec partage d'information. Cependant, l'écart entre les coûts des deux approches est de plus en plus faible quand la demande baisse. Ceci s'explique par le fait que les sites de production internes sont capables d'accueillir les faibles commandes sans avoir recours à la considération de la réserve de capacité de production interne au niveau tactique ni à un partage d'information avec le client. Ce qui minimise l'intérêt de notre approche avec partage de l'information par rapport à la première approche dans le cas d'une diminution de la demande. La situation de surcapacité doit bien évidemment être évitée par le producteur. Cependant, pour des demandes plus élevées, la performance de l'approche avec partage de l'information est prouvée avec un écart entre les coûts qui avoisine 19% pour une demande augmentée de 20% et de 50%. Ainsi, nous constatons que la performance de cette approche par rapport à la première approche atteint un seuil qui sature quand la demande augmente. Ce seuil pourra être atteint pour des prévisions parfaites et en considérant une réserve de capacité de production interne au niveau tactique adéquatement ajustée aux commandes qui risquent de parvenir au niveau opérationnel.

Dans la suite de l'expérimentation, nous évaluons l'écart entre les coûts des deux approches pour les cas où la réserve de capacité est nulle (α=100%) puis pour une réserve mensuellement variable, pour le cas où la demande est augmentée de moitié. Nous constatons alors que l'écart entre les coûts pour les deux approches atteint effectivement un certain seuil suite à une augmentation de la demande de 50%. En effet, pour la demande augmentée de moitié et pour une réserve nulle (α =100%), l'écart entre les coûts est évalué à 15.3% contre 15% pour la demande réelle. De même pour une réserve variable, l'écart avoisine celui obtenu pour la demande réelle et est évalué à 9.9% comme présenté dans le tableau 16. Ainsi, l'approche avec partage de l'information reste plus performante s'il y a diminution ou augmentation de la demande.

Tableau 16 : Comparaison des écarts à demande élevée

	α =100%		α variable	
	D	**D+50%**	**D**	**D+50%**
A1 *(K€)*	2864	3794	2575	3389
A2 *(K€)*	2429	3215	2332	3055
Ecart *(%)*	15	**15,3**	9	**9,9**

A1: approche avec réserve de capacité
A2 : approche avec partage d'information

V.3.2 Effet de la variation des coûts sur la performance des approches

Compte tenu de la variabilité et de l'augmentation des coûts de production et de transport associée à un rattrapage progressif des salaires et aux coûts de transport gonflés par la hausse continue du prix de pétrole et des assurances, nous proposons d'évaluer l'effet de la variabilité de ces coûts sur la performance ainsi que sur l'intérêt de l'approche tenant compte du partage de l'information par rapport à la première approche.

V.3.2.1 Effet de la variation du coût de transport

Le coût de transport représente l'un des facteurs les plus influents sur la compétitivité d'une entreprise considérant une planification intégrée des activités de production et de distribution. Pour les entreprises œuvrant à l'échelle internationale (tel que l'industriel considéré dans notre cas d'étude) qui intègrent en plus du transport routier le transport aérien et maritime, la considération d'offrir le produit à temps et à un prix concurrentiel est souvent présenté afin de répondre à temps et à moindre coût aux attentes des clients finaux.

En considérant les spécificités du réseau logistique étudié, une simulation est faite en tenant compte de l'effet de la variation du coût de transport pour les sous-traitants lointains (localisés à l'étranger) qui offrent des produits substituts aux locaux à des coûts moins chers et souvent très réduits.

En comparant toujours les deux cas extrêmes : première approche avec une réserve de capacité de production nulle et (2) approche avec partage d'information et en considérant une réserve mensuellement variable, nous rapportons dans le tableau 17 les différents coûts obtenus pour une variation du coût de transport lointain de -50% du coût réel à +50% de ce coût.

Tableau 17 : Variation du coût total en fonction du coût de transport

	T-50%	**T-20%**	**T**	**T+20%**	**T+50%**
A1 avec α =100% ***(K€)***	2424	2678	2864	2891	2894
A2 avec α variable ***(K€)***	2260	2301	2332	2356	2358
Ecart ***(%)***	6	14,1	18,6	18,5	18,5

A1 : approche avec réserve de capacité
A2 : approche avec partage d'information

Nous constatons, d'une part, que lorsque le coût de transport lointain diminue, le coût total de la chaîne logistique diminue en conséquence. Ceci montre bien le poids de ce coût sur la chaîne logistique globale et sur les décisions prises. En effet, nous remarquons aussi une migration de certaines productions des sites de productions internes vers les sites des sous-traitants lointains (figure 20). Ceci est dû au fait que les coûts de ces sous-traitants sont très compétitifs par rapport aux coûts de production en internes et que la diminution des coûts de transports favorise cette délocalisation des productions. Cependant, la performance de notre approche avec partage de l'information à réserve variable se trouve entravée par la performance de la première approche à réserve nulle et ne considérant pas de partage d'information pour un coût de transport réduit de moitié, où l'écart entre les coûts enregistrés n'est que de 6%.

D'autre part, nous notons une faible augmentation du coût total lorsque le coût de transport lointain augmente. Cette stabilité de coût est due à une relocalisation des quantités sous-traitées à l'étranger au niveau des sites de productions internes et dans les sites des sous-traitants de proximité (en local). A chaque fois que les coûts de transport lointains ajoutés aux

coûts de production compétitifs sont comparés aux coûts de transport et de sous-traitance en local, ces derniers l'emportent sur les premiers. En effet, comme montré à la figure 20, pour un coût de transport lointain élevé, les productions se relocalisent en interne pour assurer des gains de productivité constants. Et pour ce cas de figure, les productions en interne assez serrées exigent un meilleur partage de l'information entre fournisseur-client et une meilleure planification des ressources (considération d'une réserve bien dimensionnée) afin de remédier aux aléas de la demande et de satisfaire le client à temps et à moindre coût. D'où l'écart important évalué à 18,5% entre les coûts relatifs aux deux approches de planification et l'intérêt de la deuxième approche par rapport à la première. La stabilité de cet écart pour un coût de transport lointain élevé prouve qu'un certain seuil de performance de l'approche tenant compte d'un partage de l'information est atteint.

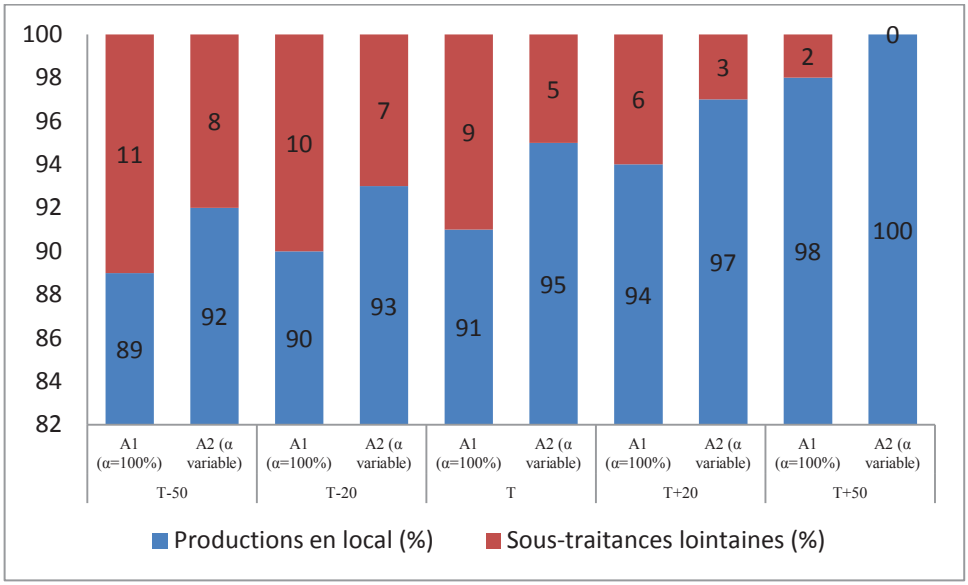

Figure 20 : Comparaison de la répartition de la production pour les deux approches

Cette figure montre bien l'effet de la variation du coût de transport lointain sur la localisation de la production. En effet, l'augmentation de ce coût, suite à la hausse du prix de pétrole et du prix d'assurances, causée par l'insécurité dans certaines régions, a fini par inciter les industriels à rapatrier des productions autrefois délocalisées dans les pays à bas coûts de production.

V.3.2.2 Effet de la variation du coût de sous-traitance

Contrairement aux coûts de transport lointain, les coûts de sous-traitance lointaine sont très compétitifs par rapport aux coûts de production en interne. Par contre les coûts des sous-traitants locaux sont assez élevés compte tenu de la flexibilité, en termes de délais, offerte par ces derniers et leur capacité à accueillir les commandes urgentes afin de satisfaire les clients à temps. Cependant, avec les avancés technologiques et suite à l'émergence des nouvelles techniques de productions, les machines de haute technologie font désormais l'essentiel du travail tandis que les ouvriers sont chargés de la maintenance, l'entretien et la réparation. Ce qui induit une certaine variation des charges salariales et donc des coûts de sous-traitance.

Ainsi, il nous paraît primordial d'évaluer l'effet de cette variation sur la performance de l'approche tenant compte du partage de l'information par rapport à la première suite à la variation du coût de sous-traitance en local en présence de sous-traitants de capacité qui offrent une grande flexibilité au système de production mais à des coûts plus élevés que les coûts de production en interne.

En comparant les deux cas extrêmes :(1) première approche avec une réserve de capacité de production nulle et (2) approche tenant compte du partage de l'information mais avec une réserve mensuellement variable (cas où le meilleur coût a été obtenu), nous rapportons dans le tableau18 les différents coûts obtenus pour une variation du coût de sous-traitance en local de -50% du coût réel à +50% de ce coût.

Tableau 18 : Variation du coût total en fonction du coût de sous-traitance

	S-50%	**S-20%**	**S**	**S+20%**	**S+50%**
A1 avec α =100% ***(K€)***	2509	2798	2864	2925	2964
A2 avec α variable ***(K€)***	2305	2321	2332	2382	2408
Ecart ***(%)***	8%	17%	18,6%	18,6%	19%

A1: approche avec réserve de capacité
A2 : approche avec partage d'information

L'écart entre les coûts pour les deux approches varie de 8% à 19% selon la courbe suivante présentée par la figure 21.

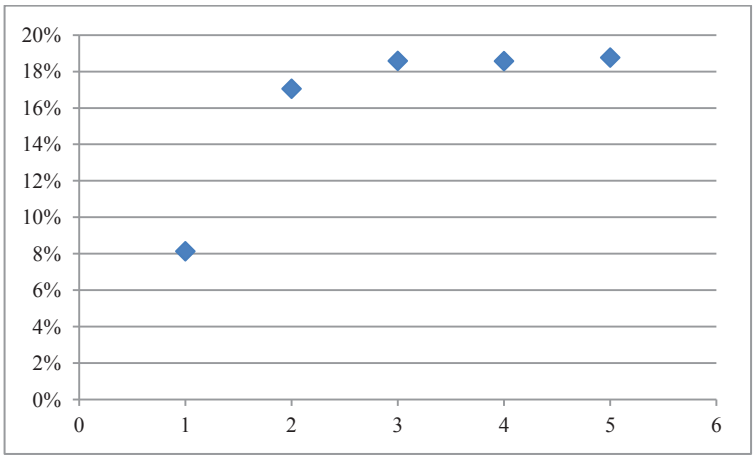

Figure 21 : Ecart entre les coûts pour les deux approches à coût de sous-traitance variable

Ainsi, lorsque le coût de sous-traitance en local diminue de moitié, il devient plus compétitif que le coût de production en interne. Donc une grande partie des productions internes migre vers les sites des sous-traitants locaux. C'est uniquement la considération du coût de sous-utilisation de la capacité de production interne qui empêche la migration des quantités totales. Ce qui induit un coût total moindre expliqué par une diminution des coûts de production.

De même pour un coût diminué de 20%, les coûts de sous-traitance deviennent égaux aux coûts de production en interne. Dans ce cas, les premiers sites avec les deuxièmes offrent une meilleure flexibilité au système de production interne.

Ainsi, le coût total de la chaîne logistique diminue puisque les quantités sous-traitées sont produites à un coût moindre.

Cependant, la performance de la deuxième approche à réserve variable se dégrade par rapport à la première approche à réserve nulle si le coût de sous-traitance baisse de moitié puisque un écart entre les coûts de 8% est enregistré. Mais cet écart augmente rapidement avec l'augmentation du coût de sous-traitance (pour T-20%, l'écart est de 17%), ce qui implique que la diminution du coût de sous-traitance a peu d'effet sur l'intérêt de l'approche avec

partage de l'information par rapport à la situation observée. En effet, même à coût de sous-traitance plus faible, il est toujours préférable de partager l'information et de planifier au mieux les productions internes afin de répondre aux besoins finaux à moindre coût.

D'autre part, nous notons une augmentation du coût logistique total lorsque le coût de sous-traitance augmente. En effet, la capacité de production interne saturée incite les sous-traitances même à coûts élevés. Cependant, l'augmentation de ce coût ne peut qu'inciter les producteurs à planifier aux mieux leur capacité afin de remédier aux urgences qui risquent d'arriver sans avoir recours aux sous-traitances coûteuses et ceci est assuré par un meilleur partage de l'information avec le client. D'où l'écart important évalué à 19% entre les coûts relatifs aux deux approches de planification et l'intérêt de la deuxième approche par rapport à la situation observée. La stabilité de cet écart pour un coût de sous-traitance local élevé prouve qu'un certain seuil de performance de l'approche avec partage de l'information est atteint.

V.4 Conclusion

Ce chapitre confirme l'intérêt de l'approche avec partage de l'information par rapport à la première ne considérant pas de partage d'information. Ainsi, la comparaison dans un premier temps des résultats obtenus pour les différents scénarios permet d'évaluer le gain de coût engendré à 18% voire 20% pour un système de prévision parfait. Dans un deuxième temps, l'évaluation de l'effet de la variation de certains paramètres sur la performance de l'approche tenant compte du partage de l'information, par rapport à la première approche, confirme l'intérêt de cette approche pour des demandes, des coûts de transport lointain et des coûts de sous-traitance locale plus élevés, puisque le gain de coût global reste estimé à 19%. Cependant pour des valeurs réduites de variation de ces paramètres, l'écart entre les coûts obtenus pour les deux approches baisse, mais reste toujours positif même pour des valeurs de paramètres réduits de moitié, puisque le gain en coût devient entre 3% et 8% selon le paramètre.

Il est aussi à noter que la variation du coût de transport affecte directement les décisions de localisation et de délocalisation des productions et que la variation du coût de sous-traitance agit directement sur la performance du système de production en lui affectant plus ou moins de flexibilité selon le sens de la variation du coût.

CONCLUSION GENERALE

Résultats obtenus et apport de la thèse

Développement futur

Résultats obtenus et apport de la thèse

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'étude d'une chaîne logistique globale, celle du textile-habillement. La revue bibliographique que nous avons dressée montre l'absence de travaux qui ont traité la planification intégrée de la production et de la distribution dans le secteur textile-habillement, ainsi que la rareté des articles qui portent sur l'optimisation de la production d'une grande entreprise textile. La multitude d'articles recensés dans la littérature que nous avons présentés dans un tableau synoptique montre cependant que l'analyse prédominante a concerné le niveau de décision tactique (choix de la taille des lots, niveau de stock, distribution aux sites et aux dépôts, sur l'horizon d'un an environ) pour des chaînes de production multi-sites, multi-produits et multi-périodes, dans le secteur de la chimie notamment.

Cette thèse se distingue des travaux existants sur trois points :

- la première contribution réside dans l'application du modèle de planification de la production et de la distribution au secteur textile-habillement, non étudié auparavant. Nous avons ainsi opté pour un problème qui décrit le plus possible la réalité par référence à la Tunisie qui est le quatrième fournisseur textile-habillement de l'Union Européenne. Nous avons choisi d'étudier le cas d'une chaîne logistique qui permet l'obtention de produits d'habillement de type maille : elle inclut trois sites de production internes, des sous-traitants, des dépôts de stockage, plusieurs références de produits et différents clients, en utilisant trois modes de transport pour la distribution de la marchandise (bateau, avion, camion). Le modèle a été ensuite testé sur un cas réel d'une grande entreprise de textile présentant ces caractéristiques.

- la deuxième contribution de notre approche réside dans l'intégration des décisions aux niveaux tactique et opérationnel, alors que la majorité des travaux recensés se sont intéressés à l'intégration des décisions au niveau stratégique (long terme : choix des investissements)

avec le niveau tactique (moyen terme : choix des lots, des sites, des stocks…) en sa basant sur des hypothèses simplificatrices.

L'intérêt porté à l'intégration tactique-opérationnel émane de l'arrivée fréquente de demandes imprévisibles qui nécessitent de garder une capacité de production interne de sécurité (décision tactique) pour l'utiliser au niveau opérationnel afin de satisfaire les clients au moindre coût.

- la troisième contribution réside dans le développement de deux approches de planification de la production-distribution et la comparaison des performances de la chaîne logistique lorsque la planification se fait (1) en considérant uniquement une réserve de capacité de production au niveau tactique et (2) en tenant compte, en plus de cette réserve, d'un partage de l'information sur les ventes entre producteurs et distributeurs. Dans ce cas, par cette information avancée, le producteur pourra faire des prévisions des commandes futures de réassorts.

Ainsi deux modèles ont été développés : le premier est tactique, le second est opérationnel. Les modèles ont été utilisés comme outils d'aide à la planification. Ils ont été validés et appliqués sur un cas réel d'entreprise textile-habillement tunisienne qui dispose de plusieurs sites et qui a un sous-traitant Chinois (à délai de livraison de 2 mois), offrant des coûts très compétitifs par rapport aux coûts internes de l'entreprise, atteignant la moitié pour certains produits basiques, et de nombreux sous-traitants locaux de proximité mais à un coût de 20% plus élevé que le coût interne. La vente est assurée par différents clients locaux (transport par camion) et étrangers (transport par bateau ou avion).

La planification conjointe de la production et de la distribution a mis en évidence l'intérêt d'adopter une réserve de capacité de production au niveau tactique, qui soit variable d'un mois à l'autre en vue de mieux utiliser au niveau opérationnel la capacité de production interne et de réduire le recours aux sous-traitants. Le gain de coût total peut alors atteindre 10%.

La planification sous l'hypothèse qu'il y a un partage de l'information dans la chaîne logistique entre distributeurs et producteurs montre que la possession d'une information avancée sur les commandes à venir permet de réaliser des gains de coût principalement dus à une meilleure utilisation de la capacité de production interne, en tenant compte de la réserve de capacité planifiée au niveau tactique.

En utilisant les données fournies par notre partenaire, nous avons réalisé des tests numériques et nous avons montré que la prise en compte de l'information distributeur-producteur permet de réaliser une économie pouvant atteindre 18% du coût total et cela dans le cas le plus favorable d'une capacité de production mensuellement variable optimisée au niveau tactique. Ce gain se limite à 15% dans le cas le moins favorable d'une absence de réserve de capacité tactique. Ce gain important lié au partage de l'information sur la demande est dû à une plus grande part de production en heures normales dans les sites internes de l'entreprise et à une réduction des heures supplémentaires ainsi qu'à une réduction de la part de la production sous-traitée. Ces gains en coût logistique total peuvent atteindre 20% dans le cas le plus favorable de prévisions parfaites où toutes les commandes prévisionnelles de réassorts parviennent réellement et cela sur l'horizon de planification opérationnel.

Des simulations ont été faites en considérant différentes hypothèses d'évolution de la demande et des coûts de transport et de sous-traitance pour tester la performance globale pour les deux cas avec et sans partage de l'information. L'objectif de ces simulations est de voir si l'intérêt du partage d'information soulevé plus haut persiste suite aux changements de marché et de l'environnement économique. Les résultats montrent l'intérêt de l'intégration de l'information avec la planification d'une capacité de production variable mensuellement. Cela aboutit à un gain de coût logistique total de près de 20% par rapport à la situation observée d'un industriel textile tunisien. Cette baisse de coûts de 20% induit une augmentation de la marge brute de près de 50%. D'où en plus du bénéfice de l'industriel, un gain pour l'emploi et le revenu national et donc pour le pays est engendré par une plus grande part de production locale (interne à l'entreprise ou sous-traitée).

Développement futur

Cette thèse s'inscrit dans une problématique d'actualité et la méthodologie adoptée peut contribuer à éclairer la décision et l'avenir du secteur textile-habillement dans les pays traditionnellement orientés vers cette activité. Cependant, les modèles développés dans ce travail peuvent être aussi appliqués à d'autres secteurs moyennant adaptation : les industries mécaniques et électriques par exemple. Différents scénarios peuvent être aussi testés en agissant éventuellement sur d'autres variables que celles qui ont été proposées pour l'étude de performance des approches. Ainsi, l'utilisation de nos modèles doit permettre non seulement de réduire les coûts et d'améliorer la réactivité de l'industriel, mais d'en tirer d'autres résultats pour l'amélioration de la performance globale de l'entreprise. Par ailleurs, nos modèles appliqués à des problèmes de plus grande taille peuvent engendrer une complexité au niveau de la résolution ce qui pourrait nous amener à développer des méthodes de relaxation ou de décomposition ou encore des méta-heuristiques pour obtenir une solution approchée.

Une autre perspective importante réside dans l'intégration des incertitudes au niveau des fonctions production et distribution de la chaîne logistique. Ces incertitudes ont un impact fort sur le processus dynamique de planification et sur la réactivité des acteurs de la chaîne logistique. A cet effet, il faudrait d'abord modéliser les incertitudes au niveau des modèles de planifications. Ceci pourra être pris en compte en introduisant des variables aléatoires dont il faut estimer la moyenne et l'écart type. Par la suite, il faudra développer une approche de résolution permettant d'évaluer les conséquences de ces incertitudes sur les performances des acteurs de la chaîne logistique.

Références bibliographiques

Aliev, R.A., Fazlolllahi, B., Guirimov, B.G. and Aliev, R.R. (2007). «Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management». *Information Sciences*, Vol.177, No.20, p.4241-4255.

Agence de Promotion de l'Industrie : API. (2002). «*Les industries du textile et de l'habillement en Tunisie, Monographie*». Ministère de l'Industrie et de l'Energie, Tunis.

Armentano,V.A., Shiguemoto, A.L. and Løkketangen, A. (2011). «Tabu search with path relinking for an integrated production–distribution problem». *Computers & Operations Research*, Vol.38, No.8, p.1199-1209.

Arntzen, B.C., Brown, G.G., Harrison, T.P. and Trafton, L.L. (1995). «Global supply chain management at Digital Equipment Corporation». *INTERFACES*, Vol.25, No.1, p.69-93.

Arshinder, Kanda, A. and Deshmukh, S.G. (2008). «Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions». *International Journal of Production Economics* Vol.115, No.2, p.316-335.

Barbarasoglu, G. and Özgür, D. (1999). «Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system». *European Journal of Operational Research*, Vol.118, No.3, p. 464-484.

Baratt, M. (2004). «Understanding the meaning of collaboration in the supply chain». *Supply Chain Management : An International Journal*, Vol.9, No.1, p.30-42.

Berbain, S., Bourbonnais, R. and Vallin, P. (2010). «Spécificités et problématiques des produits à durée de vie courte». *Proceeding of the 8th International conference on Logistics and SCM Research.* RIRL 2010, Bordeaux.

Bidhandi, M.H., Rosnah, M.Y., Megat Ahmad, M.M.H. and Abu Bakar, M.R. (2009). «Development of a New Approach for Deterministic Supply Chain Network Design». *European Journal of Operational Research*, Vol.198, No.1, p.121-128.

Bolduc, M.C., Renaud, J. and Montreuil, B. (2006). «Synchronized Routing of Seasonal Products through a Production/Distribution Network». *Central European Journal of Operations Research*, Vol.14, No.2, p.209-228.

Boudia, M., Louly, M.A.O. and Prins, C. (2007). «A reactive GRASP and path relinking for a combined production-distribution problem». *Computers and Operations Research*, Vol.34, No.11, p.3402-3419.

Bourbonnais, R. and Usunier, J.C. (2001). «*Prévision des ventes théorie et pratique*». Collection Gestion, série: politique générale, fiance et marketing, 3ème Edition, p.57.

Bramel, J., Goyal, S. and Zipkin, P. (2000). «Coordination of production/distribution networks with unbalanced lead times». *Operations Research*, Vol.48, No.4, p.570-577.

Brown, R.G. (1959). «*Statistical forecasting for inventory control*». McGraw-Hill, New York.

Brown, G.G., Graves, G.W. and Honczarenko, M.D. (1987). «Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition». *Management Science*, Vol.33, No.11, p.1469-1480.

Burns, L., Hall, W., Blumenfeld, D. and Daganzo, C. (1986). «Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs». *Operations Research*, Vol.33, No.3, p.469-490.

Cachon, G.P. and Fisher, M. (2000). «Supply chain inventory management and the value of shared information». *Management Science*, Vol.46, No.8, p.1032-1048.

Chandra, P. and Fisher, M. L. (1994). «Coordination of production and distribution planning». *European Journal of Operational Research*, Vol.72, No.3, p.503-517.

Chen, F. (2003). «Information sharing and supply chain coordination». *Handbooks in Operations Research and Management Science. Supply Chain Management : Design Coordination and Operation*, Vol.11, p.341-421.

Chen, Z.L. (2004). «Integrated Production and Distribution Operations: Taxonomy, Models, and Review». Chapter 17 of the book "*Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era"*, edited by Simchi-Levi, D., Wu, S.D. and Shen, Z.J., Kluwer Academic Publishers.

Chen, Z.L. (2010). «Integrated Production and Outbound Distribution Scheduling: Review and Extensions». *Operations Research*, Vol.58, No.1, p.130-148.

Chern, C.C., Ka leng, A.L., Ling, W.L. and Ling-Chieh, K. (2010). «Designing a decision-support system for new product sales forecasting». *Expert Systems with Applications*, Vol.37, No.2, p.1654-1665.

Cohen, M.A. and Lee, H.L. (1988). «Strategic analysis of integrated production-distribution systems: models and methods». *Operations Research*, Vol.36, No.2, p.216-228.

Cohen, M.A. and Lee, H.L. (1989). «Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks». *Journal of Manufacturing and Operations Management*, Vol.2, p.81-104.

Cunha, C.B. and Mutarelli, F. (2007). «A spreadsheet-based optimization model for the integrated problem of producing and distributing a major weekly newsmagazine». *European Journal of Operational Research*, Vol.176, No.2, p.925-940.

Dalkey, N.C. (1969). «The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion». *RAND Memorandum*, RM-5888-PR . Santa Monica, CA.

Davis, R.E. (1993). «The role of market research in the development of new consumer products». *Journal of Product Innovation Management*, Vol.10, No.4, p.309-317.

De Toni, A. and Meneghetti, A. (2000). «The production planning process for a network of firms in the textile-apparel industry», *International Journal of Production Economics*, Vol.65, No.1, p.17-32.

Dhaenens Flipo, C. (2000). «Spatial decomposition for a multi-facility production and distribution problem». *International Journal of Production Economics*, Vol.64, No.1, p.177-186.

Dhaenens Flipo, C. and Finke, G. (2001). «An integrated model for an industrial production-distribution problem». *IIE Transactions*, Vol.33, No.9, p.705-715.

Dumoulin, A. and Vercellis, C. (2000). «Tactical models for hierarchical capacitated lot-sizing problems with setups and changeovers». *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.1, p.51-67.

Ekiolu, S.D., Ekiolu, B. and Romeijn, H.E. (2007). «A Lagrangean heuristic for integrated production and transportation planning problems in a dynamic, multi-item, two-layer supply chain». *IIE Transactions*, Vol.39, No.2, p.191-201.

Elhedhli, S. and Goffin, J.L. (2005). «Efficient Production-Distribution System Design». *Manangement science*, Vol.51, No.7, p.1151-1164.

Erengüç, S.S., Simpson, N.C. and Vakharia, A.J. (1999). «Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review». *European Journal of Operational Research,* Vol.115, No.2, p. 219-236.

Fantar, S. (2005). «Les facteurs de compétitivité dans la filière textile habillement : Le cas de la Tunisie». *Document de travail : Centre d'économie et de finances internationales*.

Feser, P., Giinther, H.O. and Schneeweiss, Ch. (1985). «Coordination of production schedules and distribution (A case study)». *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.9, p.185-192.

Fisher, M. and Raman, A. (1996). «Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales». *Operations Research*, Vol.44, No.1, p.87-99.

FORTHAC : Formation textile - Habillement, cuir et secteurs connexes. (2004). «*Les métiers de la Logistique dans le secteur Textile-Habillement*». Etude menée auprès d'entreprises du secteur Textile-Habillement.

Forza, C. and Vinelle, A. (1997). «Quick response in the textile-apparel industry and the support of information technologies». *Integrated Manufacturing Systems*, Vol.8, No.3, p.125 - 136.

Fumero, F. and Vercellis, C. (1997). «Integrating distribution, machine assignment and lot-sizing via Lagrangean relaxation». *International Journal of Production Economics*, Vol.49, No.14, p.45-54.

Fumero, F. and Vercellis, C. (1999). «Synchronized Development of Production, Inventory, and Distribution Schedules». *Transportation Science*, Vol.33, No.3, p.330-340.

Garavelli, A., Okogbaa, O. and Violante, N. (1996). «Global manufacturing systems : a model supported by genetic algorithms to optimize production planning». *Computers & Industrial Engineering*, Vol.31, No.1-2, p.193-196.

Gardner, Jr. E.S. (2006). «Exponential smoothing: The state of the art-Part II». *International Journal of Forecasting*, Vol.22, No.4, p.637-666.

Gebennini, E., Gamberini, R. and Manzini, R. (2009). «An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization». *International Journal of Production Economics*, Vol.122, No.1, p.286-304.

Geoffrion, A.M. and Graves, G.W. (1974). «Multicommodity distribution system design by Benders decomposition». *Management Science*, Vol.20, No.5, p.822-844.

Goetschalckx, M., Vidal, C.J. and Dogan, K. (2002). «Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms». *European Journal of Operational Research*, Vol.143, No.1, p.1-18.

Greene, W. H. (2005), «*Econometric Analysis*», Prentice Hall, 5ème Edition.

Haq, A.N. and Kanda, P.V.A. (1991). «An integrated production-inventory-distribution model for manufacture of urea: a case». *International Journal of Production Economics*, Vol.25, No.1-3, p.39-49.

Holt, C.C. (1957). «Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages». ONR Memorandum Vol.52, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, PA

Houlihan, J.B. (1985). «International Supply Chain Management», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. Vol.15, No.1, p.22-38.

Huchzermeier, A. and Cohen, M.A. (1996). «Valuing operational flexibility under exchange rate risk». *INFORMS*, Vol.44, No.1, *Special Issue on New Directions in Operations Management*, p.100-113.

Iyer, A.V. and Bergen, M.E. (1997). «Quick response in manufacturer-retailer channels». Management Science, Vol.43, No.4, p.559-570.

Jana, P., Banerjee, P. and Knox, A. (2001). «VMI in Apparel Manufacturing: Unheard off but Unattainable Too? ». *Annual research*, GMT Department, NIFT, India. Nottingham Trent University, UK.
URL : http://fr.scribd.com/doc/57029771/2B-VMI-in-Apparel-Manufacturing.

Jang, Y., Jang, S., Chang, B. and Park, J. (2002). «A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network». *Computers and Industrial Engineering*, Vol.43, No.1-2, p.263–281.

Jang, W. and Kim, D. (2007). «Integrated production and allocation policies with one direct shipping option». *European Journal of Operational Research*, Vol.181, No.2, p.716-732.

Jayaraman, V. and Pirkul, H., (2001). «Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities». *European Journal of Operational Research*, Vol.133, No.2, p.394-408.

Jayaraman, V. and Ross, A. (2003). «A simulated annealing methodology to distribution network design and management». *European Journal of Operational Research*, Vol.144, No.3, p.629–645.

Jolayemi, J.K. and Olorunniwo, F.O. (2004). «A deterministic model for planning production quantities in a multi-plant, multi-warehouse environment with extensible capacities». *International Journal of Production Economics*, Vol.87, No.2, p.99-113.

Kaminsky, D. and Simchi-Levi, P. (2003). «Production and distribution lot sizing in a two stage supply Chain». *IIE Transactions*, Vol.35, No.11, p.1065-1074.

Kanyalkar, A.P. and Adil, G.K. (2005). «An integrated aggregate and detailed planning in a multi-site production environment using linear programming». *International Journal of Production Research*, Vol.43, No.20, p.4431-4454.

Karacapilidis, N.I. and Pappis, C.P. (1996). «Production planning and control in textile industry : A case study», Computers in Industry, Vol.30, No.2, p.127-144.

Keskin, B.B. and Üster, H. (2007). «Meta-heuristic approaches with memory and evolution for a multi-product production/distribution system design problem». *European Journal of Operational Research*, Vol.182, No.2, p. 663-682.

Kim, Y., Yun, C., Park, S.B., Park, S. and Fan, L.T. (2007). «An integrated model of supply Network and production planning for multiple fuel products of multi-site refineries». *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 32, No.11, p.2529-2535.

Krugman, P.R. (2000). «*L'Age des rendements décroissants*». Economica (3ème Edition).

Kurawarwala, A.A. and Matsuo, H. (1996). «Forecasting and Inventory Management of Short Life-Cycle Products». *Operations Research*, Vol.44, No.1, *Special Issue on New Directions in OperationsManagement*, p.131-150.

Lamming, R. (1996). «Squaring lean supply with supply chain management». *International Journal of Operations Production Management*, Vol.16, No.2, p.183-96.

Lee, C.Y. and Chen, Z.L. (2001). «Machine Scheduling with Transportation Considerations», *Journal of Scheduling*, Vol.4, p.3-24.

Lee, H.L. and Billington, C. (1993). «Material management in decentralized supply chains», *Operations Research*, Vol.41, No.5, p.835-47.

Lee, H.L., Kut, C.S. and Tang, C.S. (2000). «The Value of Information Sharing in Two-level Supply Chain», *Management Science*, Vol. 46, No.5, p.626-643.

Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. (1997). «Information distortion in a supply chain: the Bullwhip effect». *Management Science*, Vol.43, No.4, p. 546-558.

Lee, Y.H. and Kim, S.H. (2002). «Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints». *Computers & Industrial Engineering*, Vol.43, No.1-2, p.169-190.

Lehoux, N., D'Amours, S. and Langevin, A. (2010). «A win-win collaboration approach for a two-echelon supply chain : a case study in the pulp and paper industry». European Journal of Industrial Engineering, Vol.4, No.4, p.493-514.

Liang, T.F. (2008). «Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain». *Computers & Industrial Engineering*, Vol.55, No.3, p.676-694.

Limantour, J.F. (2009). *La lettre mensuelle du Cercle Euro-méditerranéen des Dirigeants Textile-Habillement* (CEDITH) dédiée à la Méditerranée et à l'Océan indien. No.34.

Lummus, R.R. and Vokurka, R.J. (1999). «Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines». *Industrial Management & Data systems*, Vol.99, No.1, p.11-17.

Luss, H. (1982). «Operations research and capacity expansion problems: a survey». *Operations Research*, Vol.30, No.5, p.907- 947.

Makridakis, S.G., Wheelwright, S.C. and Hyndman,R.J. (1998). «Forecasting: Methods and applications » (3rd ed.). New York: John Wiley and Sons.

Matta, R.D. and Miller, T. (2004). «Production and inter-facility transportation scheduling for a process industry». *European Journal of Operational Research*, Vol.158, No.1, p.72-88.

Metters, R. (1996). «Interdependent transportation and production activity at the united states postal services». *Journal of Operational Research Society*, Vol.47, No.1, p.27-37.

Mohamed, Z.M. (1999). «An integrated production-distribution model for a multi-national company operating under varying exchange rates». *International Journal of Production economics*, Vol.58, No.1, p.81-92.

Mohamed, Z.M. and Youssef, M.A. (2004). «A production, distribution and investment model for a multinational company». *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol.15, No.6, p.495-510.

Morrison, J. (1996). «How to use diffusion models in new product forecasting». *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, Vol.15, No.2, p.6-9.

Mostard, J., Teunter, R. and De Koster, R. (2011). «Forecasting demand for single-period products: A case study in the apparel industry». *European Journal of Operational Research*, Vol. 211, No.1, p.139-147.

Moyaux, T., Chaib-draa, B. and D'Amours, S. (2006). «Information Sharing as a Coordination Mechanism for Reducing the Bullwhip Effect in a Supply Chain». *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Part C: Applications and Reviews, Vol.37, No.3, p.396-409.

Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M. and Vicens, E. (2010). «Mathematical programming models for supply chain production and transport planning». *European Journal of Operational Research*, Vol.204, No.3, p.377-390.

Nishi, T., Konishi, M. and Ago, M. (2007). «A distributed decision making system for integrated optimization of production scheduling and distribution for aluminium production line». *Computer and Chemical Engineering*, Vol.31, No.10, p.1205-1221.

Ozdamar, L. and Yazgac, T. (1999). «A Hierarchical Planning Approach for a Production-Distribution System». *International Journal of Production Research*, Vol.37, No.16, p.3759-3772.

Park, Y.B. (2005). «An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management». *International Journal of Production Research*, Vol.43, No.6, p.1205-1224.

Poskitt, D.S. (2001). «On the specification of cointegrated autoregressive moving-average forecasting systems: technical proofs». *The Australian National University Mimeo*.

Pyke, D.F. and Cohen, M.A. (1994). «Multiproduct integrated production-distribution systems». *European Journal of Operational Research*, Vol.74, No.1, p.18-49.

Rajagopalan, S., Singh, M.R. and Morton, T.E. (1998). «Capacity expansion and replacement in growing markets with uncertain technological breakthroughs». *Management Science*, Vol.44, No.1, p.12-30.

Rizk, N., Martel, A. and D'Amours, S. (2006). «Multi-item dynamic production-distribution planning in process industries with divergent finishing stage». *Computers & Operations Research*, Vol.33, No.12, p.3600-3623.

Romo, F., Tomasgard, A., Hellemo, L., Fodstad, M., Eidesen, B.H. and Pedersen, B. (2009). «Optimizing the Norwegian Natural gas production and transport». *Interfaces*, Vol.39, No.1, p.46-56.

Russell, R., Chiang, W.C. and Zepeda, D. (2008). «Integrating multi-product production and distribution in newspaper logistics». *Computers and Operations Research*, Vol.35, No.5, p.1576-1588.

Sabri, E. and Beamon, B.M. (2000). «A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design». *Omega*, Vol.28, No.5, p.581-598.

Safra, I., Ghaffari, A., Jebali, A., Jemai, Z. and Bouchriha, H. (2011a.). «Capacity planning in textile/apparel supply chain». *Technical report*, Laboratoire Génie Industriel, Ecole Centrale Paris. Papier soumis à *Journal of the Operational Research Society*.

Safra, I., Jemai, Z., Jebali, A., Bouchriha, H. and Ghaffari, A. (2011b.). «Planification séquentielle tactique-opérationnelle d'une chaîne logistique textile». *9ème Congrès International de Génie Industriel (CIGI2011)*, École Polytechnique de Montréal, Saint-Sauveur, Québec, CANADA.

Sarmiento, A.M. and Nagi, R. (1999). «A review of integrated analysis of production-distribution systems». *IIE Transactions*, Vol.31, No.11, p.1061-1074.

Schmidt, G. and Wilhelm,W.E. (1999). «Strategic, Tactical and Operational Decisions in Multi-national Logistics Networks: A Review and Discussion of Modeling Issues». *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.7, p.1501-1523.

Selim, H., Araz, C. and Ozkarahan, I. (2007). «Collaborative production–distribution planning in supply chain: a fuzzy goal programming approach». *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol.44, No.3, p.396-419.

Silva, C. and Magalhaes, J.M. (2006). « Heuristic lot size scheduling on unrelated parallel machines with applications in the textile industry». *Computers & Industrial Engineering*, Vol.50, No.1-2, p.76-89.

Sousa, R., Shah, N. and Papageorgiou, L.G. (2007). «Supply chain design and multilevel planning-An industrial case». *Computers and Chemical Engineering*, Vol.32, No.11, p.2643-2663.

Spalanzani, A. and Evrard Samuel, K. (2007). «L'absorption de l'incertitude dans la chaîne logistique : passé, présent et futurs. Dans la gestion des chaînes logistiques multi-acteurs : perspectives stratégiques», p.45-66, Grenoble.

Stevens, G.C. (1989). «Integrating the Supply Chains». *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.19, No.8, p.3-8.

Suh, M.W., Lee, E.K. and Holt.M. (2000). «Estimation of consumer demands : an application to U.S apparel expenditures». *Journal of textile and apparel*, Vol.1, No.1.

Thomas, D.J. and Griffin, P.M. (1996). «Coordinated Supply Chain Management». *European Journal of Operation Research*, Vol.94, No.1, p.1-15.

Thomassey, S., Vroman, P., Happiette, M. and Castelain, J.M. (2001). «A comparative test of new mid-term forecasting models adapted to textile items sales». *Studies in Informatics and Control*, Vol.10, No.3, p.209-225. http://www.ici.ro/ici/revista/sic.html.

Thomassey, S., Happiette, M. and Castelain, J.M. (2002). «An automatic textile sales forecast using fuzzy treatment of explanatory variables». *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Vol.2, No.4. p.1-15. http://www.tx.ncsu. edu/jtatm/.

Thomassey, S., Happiette, M. And Castelain, J.M. (2005). «A global forecasting support system adapted to textile distribution». *International Journal of Production Economics*, Vol.96, No.1, p.81-95.

Timpe, C.H. and Kallrath, J. (2000). «Optimal planning in large multi-site production networks». *European Journal of Operational Research*, Vol.126, No.2, p.422-435.

Tsiakis, P. and Papageorgiou, L.G. (2007). «Optimal production allocation and distribution supply chain networks». *International Journal of Production Economies*, Vol.111, No.2, p.468-483.

Tuzkaya, U.R and Önüt, S. (2009). «A Holonic Approach Based Integration Methodology for Transportation and Warehousing Functions of The Supply Network». *Computers & Industrial Engineering*, Vol.56, No.2 , p.708-723.

Tyan J. and Wee H. (2002). «Vendor managed inventory: a survey of the Taiwanese grocery industry». *Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol.9, No.1, p.11-18.

Verderame, P.M. and Floudas, C.A. (2009). «Operational planning framework for multisite production and distribution networks». *Computers and Chemical Engineering*, Vol.33, No.5, p.1036-1050.

Verter, V. and Dincer, M.C. (1995) a. «Facility location and capacity acquisition: an integrated approach». *Naval Research Logistics*, Vol.42, p.1141-1160;

Verter, V. and Dincer, M.C. (1995) b. «Global manufacturing strategy». In : Z. Drezner (Ed.), *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, Springer-Verlag, New York, p.263-282.

Vidal, C.J. and Goetschalckx, M. (1997). «Strategic Production-Distribution Models: A Critical review with Emphasis on Global Supply Chain Models». *European Journal of Operational Research*, Vol.98, No.1, p.1-18.

Vidal, J. and Goetschalckx, M. (2001). « A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation ». *European Journal of Operational research*, Vol.129, No.1, p.134-158.

Waller, M., Johnson, M.E. and Davis, T. (1999). «Vendor-managed inventory in the retail supply chain». *Journal of Business Logistics*, Vol.20, No.1, p.183-203.

Wang, F.F. and Su, C.T. (2007). «Performance evaluation of a multi-echelon production, transportation and distribution system : A matrix analytical approach». *European Journal of Operational Research*, Vol.176, No.2, p.1066-1083.

Williams, J. (1981). «Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures : theory and empirical comparisons ». *Management Science* , Vol.27, No.3, p.336-352.

Winters, P.R. (1960). «Forecasting sales by exponentially weighted moving averages». *Management Science*, Vol.6, No.3, p.324-342.

www.cettex.com.tn, novembre 2012.

Yu, Z., Yan, H. and Cheng, T.C.E. (2001). «Benefits of information sharing with supply chain partnerships». *Industrial Management & Data Systems*, Vol.101, No.3, p.114-119.

Zhang, F. (2006). «Competition, Cooperation, and Information Sharing in a Two-Echelon Assembly System». *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.8, No.3, p.273-291.

Résumé

A travers cette thèse, nous nous intéressons au secteur industriel du textile. Les acteurs de ce secteur, qui se caractérise souvent par des chaînes logistiques internationales, doivent s'adapter à une demande dynamique pour des produits de courte durée de vie. Ces spécificités renforcent la nécessité de s'imposer dans un environnement très concurrentiel par une maîtrise des coûts et des ressources de production et logistique ainsi que par une bonne connaissance du marché auquel il faut savoir sans cesse s'adapter.
Dans cette thèse, en s'inspirant du contexte d'un industriel tunisien du textile, nous nous focalisons sur l'optimisation, par la programmation mathématique, de la planification de la production et de la distribution des produits. Ces décisions reviennent à l'industriel qui fournit des clients nationaux et internationaux. Il s'engage auprès d'eux à répondre à deux types de commandes : (i) des commandes de mise en place des collections à venir, souvent de délais longs et (ii) des commandes de réassort, souvent de délais très courts, pour les collections en cours de vente. Nous proposons une méthode de planification qui optimise, à la fois, les décisions de production et de distribution de produits. Cette méthode se caractérise par une anticipation d'une certaine flexibilité dans le plan de production tactique pour mieux absorber les commandes de réassort dans le plan opérationnel. Grâce aux données fournies par notre partenaire industriel, nous étions en mesure de démontrer qu'une telle approche permet des économies de coûts remarquables, allant jusqu'à 10% pour le cas étudié.
Nous supposons dans un second temps qu'un accord de partenariat permettait à l'industriel d'avoir accès à l'information sur l'évolution de la demande pour les produits en cours de vente chez ses clients. Il peut alors mobiliser cette information pour établir des modèles de prévision et les utiliser pour anticiper au mieux la flexibilité *a priori* des plannings de production. Sous cette hypothèse, nous démontrons que l'industriel peut réaliser un gain sur les coûts totaux d'environ 15%.
Le travail de cette thèse a trouvé une application et une validation grâce aux données fournies par un acteur de l'industrie du textile. Nous montrons néanmoins qu'il est largement valable pour des contextes industriels différents.

Mots clés : prévision de la demande, partage de l'information, intégration production-distribution, industrie textile-habillement, planification tactique-opérationnel.

Abstract

Through this thesis, we are interested in the textile industry. The actors in this field of industry, which is often characterized by global supply chains, must adapt to a dynamic demand for short-life-cycle products. These characteristics reinforce the need to be imperative in a highly competitive environment by controlling costs and resources of production and logistics and by having a good knowledge of the market to which it is necessary to constantly know how to adapt.
In this thesis, basing on the context of a Tunisian textile industry, we focus on production and distribution planning using mathematical programming. These decisions are made by the manufacturer who provides local and overseas retailers. He is fully committed to meet two types of orders: (i) pre-season orders of future collections, often with a large delivery lead time and (ii) replenishment orders, often with shorter due dates, occurring over the season to fill in stockouts or to replace unsold products. We propose an integrated planning method that optimizes both the production and distribution decisions. This method is characterized by an anticipation of some flexibility in the tactical production plan to better place the unplanned and urgent newly arrived demands at the operational level. Using the data provided by our industrial partner, we were able to demonstrate that such an approach allows remarkable cost savings, reaching 10% for the cases studied.
Then, we assume that a partnership agreement has allowed the manufacturer to follow the evolution of demand information concerning the products being sold to their retailers. They can then use this information to build forecast model to anticipate at best the flexibility a priori of production plans. Under this assumption, we demonstrate that a cost cutting of 15% is attained.
The work of this thesis was validated by data provided by a Tunisian textile-apparel company. We show, however, that it can be widely applied to different industrial contexts.

Keywords: Demand forecasting, information sharing, production-distribution integration, textile-apparel industry, tactical-operational planning.