

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL**

**PAR  
DAVID LUPIEN ST-PIERRE**

**DÉTERMINATION D'UN LOT DE TRANSFERT DANS  
UNE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT**

**SEPTEMBRE 2007**

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier les personnes suivantes : M. Denis Lagacé, pour son temps, son inébranlable confiance et son enthousiasme contagieux ; M. Georges Abdul-Nour pour son inestimable savoir ; MM. Claude Dupuis, Michel Deveault de Meubles Canadel inc. pour leur temps, leur confiance et leur connaissance ; M. David Nibert pour tout ce travail accompli en équipe ; M. Guy Bordeleau, pour ces discussions et mes parents qui m'ont communiqué ce désir aigu d'apprendre.

## Détermination d'un lot de transfert dans une chaîne d'approvisionnement

David Lupien St-Pierre  
(Sommaire)

Plusieurs facteurs macro économiques affectent actuellement l'état de l'industrie manufacturière québécoise. Pour parvenir à compétitionner dans ce nouvel ordre économique les entreprises manufacturières, dont celles du meuble, doivent revoir leur modèle d'affaires. Cet article exploite l'approche collaborative d'une chaîne d'approvisionnement comme nouvelle stratégie manufacturière. L'approche proposée touche la coordination de la chaîne d'approvisionnement par l'adoption d'un lot de transfert qui minimise le coût global d'échange à l'intérieur d'un réseau d'entreprises. Deux formes de lots seront comparés soit la quantité économique à commander (EOQ – economic order quantity) et la quantité économique conjointe (JELS – joint economic lot streaming). Dans le but de se rapprocher le plus possible de la réalité, un modèle de simulation d'un réseau d'entreprises a été créé et sert à l'analyse pour la fabrication d'un ensemble de 60 produits. Ce modèle valide les échanges entre le donneur d'ordres et ses sous-traitants et remonte jusqu'à l'échange avec le fournisseur de matières premières. Les variables utilisés pour modéliser la performance des échanges sont le nombre de pénuries, la capacité machine, le coût total et l'effet coup de fouet. La simulation des modèles retenus indique que l'approche du lotissement conjoint (JELS) fournit une réduction théorique des coûts totaux pour les sous-traitants de 56 %. Pour le fournisseur de matières premières, la réduction est de l'ordre de 79 % par rapport à la situation actuelle. Ces réductions sont basées sur l'hypothèse que le donneur d'ordres reste à sa situation optimale. Dans une avenue de future recherche, la synchronisation des lotissements dans un réseau basée sur la qualité devrait être étudiée.

## Tables des matières

Remerciement.....	i
Sommaire.....	ii
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vi
INTRODUCTION .....	1
1.0 INTRODUCTION.....	4
1.1 GESTION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT .....	5
1.1.1 GESTION DE L'INVENTAIRE .....	7
1.1.2 GESTION RÉSEAU .....	8
1.2 LOT ÉCONOMIQUE .....	11
1.2.1 SEGMENT ÉCHELON UNIQUE – ITEM UNIQUE .....	13
1.2.1.1 QUANTITÉ ÉCONOMIQUE À COMMANDER (EOQ) .....	14
1.2.1.2 QUANTITÉ ÉCONOMIQUE À PRODUIRE (EMQ).....	15
1.2.2 SEGMENT MULTIPLE ÉCHELONS .....	17
1.2.2.1 LOTISSEMENT ÉCONOMIQUE CONJOINT (JELS).....	17
1.2.3 SEGMENT ITEM UNIQUE / MULTIPLE ÉCHELONS (MANUFACTURIER UNIQUE – ACHETEUR UNIQUE) .....	23
1.2.4 SEGMENT ITEM UNIQUE / MANUFACTURIER UNIQUE – MULTIPLE ACHETEURS...24	
1.2.5 PROBLÉMATIQUE DE LOT ÉCONOMIQUE DANS UNE CÉDULE DE PRODUCTION (ELSP ; ECONOMIC LOT SCHEDULING PROBLEM).....	25
1.3 SIMULATION .....	26
1.3.1 INDICATEUR DE PERFORMANCE.....	28
1.3.2 L'EFFET COUP DE FOUET .....	29
1.4 THÉORIE DES JEUX.....	30
1.4.1 NÉGOCIATION.....	32
1.5 CONCLUSION .....	33
2.0 INTRODUCTION.....	34
2.1 CALCUL DU LOTISSEMENT .....	36
2.1.1 EOQ (ECONOMIC ORDER QUANTITY) .....	37
2.1.2 EMQ (ECONOMIC MANUFACTURING QUANTITY).....	39
2.1.3 JELS (JOINT ECONOMIC LOT STREAMING) .....	41
2.2 APPLICATION DE LA THÉORIE DES JEUX.....	45
2.3 CONCLUSION .....	46
3.0 INTRODUCTION .....	48
3.1 ANALYSE DES COÛTS .....	48
3.2 CONCLUSION .....	54
4.0 INTRODUCTION .....	56
4.1 ANALYSE DES COÛTS DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT .....	56
4.2 LOTISSEMENT GLOBAL.....	59

4.3	CONCLUSION .....	60
5.0	INTRODUCTION.....	61
5.0.1	LE NŒUD CREATE.....	62
5.0.2	LE NŒUD PROCESS .....	62
5.0.3	LE NŒUD MATCH.....	63
5.0.4	LE NŒUD DECIDE.....	63
5.0.5	LE NŒUD HOLD .....	64
5.1	LE MODÈLE.....	64
5.1.1	GÉNÉRATION DES COMMANDES .....	65
5.1.2	LA GESTION DE L'INVENTAIRE .....	65
5.1.3	ÉMISSION DES COMMANDES FOURNISSEURS DANS LE RÉSEAU .....	67
5.1.4	TRAITEMENT DES COMMANDES CHEZ LES SOUS-TRAITANTS .....	68
5.1.5	GESTION DES PANNEAUX EN FABRICATION POUR STOCK.....	69
5.2	LA VALIDATION DU MODÈLE .....	72
5.2.1	LE RÉGIME PERMANENT .....	73
5.2.2	LA VÉRIFICATION .....	74
5.2.2.1	LE NOMBRE DE COMMANDES .....	74
5.2.2.2	LE NOMBRE DE DESSUS DE TABLES PRODUITS .....	75
5.2.2.3	LE RESPECT DES PROPORTIONS .....	76
5.4	CONCLUSION.....	77
6.0	INTRODUCTION.....	78
6.1	ANALYSE OPÉRATIONNELLE.....	78
6.1.1	NOMBRE DE COMMANDES .....	79
6.1.2	NOMBRE D'HEURES EN TEMPS DE MISE EN COURSE .....	80
6.1.3	PÉNURIES.....	81
6.1.4	EFFET COUP DE FOUET .....	81
6.2	CONCLUSION .....	83
	BIBLIOGRAPHIE .....	88
	ANNEXE A.....	98
	ANNEXE B.....	102
	ANNEXE C.....	104
	ANNEXE D.....	108
	ANNEXE E.....	112
	ANNEXE F .....	116
	ANNEXE G.....	118
	ANNEXE H.....	120
	ANNEXE I.....	122

## Liste des figures

Figure 1 :	Schéma de la maison de la chaîne d'approvisionnement de Stadler(2005) traduit par David Lupien St-Pierre	6
Figure 2 :	Schéma du réseau de sous-traitance	35
Figure 3 :	Résumé des coûts entre le donneur d'ordres et le sous-traitant	51
Figure 4 :	Résumé des coûts entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières	53
Figure 5 :	Arena, nœud CREATE	62
Figure 6 :	Arena, nœud PROCESS	63
Figure 7 :	Arena, nœud MATCH	63
Figure 8 :	Arena, nœud DECIDE	64
Figure 9 :	Arena, nœud HOLD	64
Figure 10:	Module d'inventaire pour les dessus de table 540X4	66
Figure 11:	Module d'émission des bons de fabrication pour les items gérés en MTS	67
Figure 12:	Association de la matière avec la commande	70
Figure 13 :	Émission des bons de fabrication	70
Figure 14 :	Usine de fabrication de panneaux	72
Figure 15 :	Régime permanent	74
Figure 16 :	Nombre de commande par année	79
Figure 17 :	Mise en course (heure) par année	80
Figure 18 :	Effet coup de fouet	82

## **Liste des tableaux**

Tableau 1 :	Catégorisation des méthodes de calcul du lotissement	12
Tableau 2 :	Catégories et auteurs selon Thomas et Griffin	20
Tableau 3 :	Variables basées sur le modèle de Sucky(2005)	22
Tableau 4 :	Résumé des auteurs dans le segment item unique / manufacturier unique – acheteur unique	23
Tableau 5 :	Résumé des auteurs dans le segment item unique / manufacturier unique – acheteur multiple	24
Tableau 6 :	Résumé des auteurs sur la problématique du lot économique dans une cédule de production	25
Tableau 7 :	Description des variables utilisées pour le calcul du EOQ	37
Tableau 8 :	Description des variables utilisées pour le calcul du EMQ	39
Tableau 9 :	Description des indices utilisés pour le calcul du JELS	41
Tableau 10:	Description des variables utilisées pour le calcul du JELS	42
Tableau 11:	Comparaison des trois formes de lotissement retenues	44
Tableau 12:	Résumé des coûts totaux annuels (Donneur d'ordres – sous-traitant)	50
Tableau 13:	Résumé des coûts totaux annuels (Sous-traitant – fournisseur de matières premières)	51
Tableau 14:	Solution optimale négociée	52
Tableau 15:	Coût totaux annuels de la solution réseau négociée	56
Tableau 16:	Valeur monétaire à redistribuer	57
Tableau 17:	Ajout des politiques du réseau dans le calcul du lotissement	58
Tableau 18:	Résumé des coûts selon les politiques	59
Tableau 19:	Comparaison des coûts du lotissement global	60
Tableau 20:	Résultats de la cartographie	69
Tableau 21:	Quantité d'entité moyen générée dans le réseau	76

# INTRODUCTION

---

Le contexte manufacturier d'aujourd'hui est très stimulant par sa complexité grandissante et le fait qu'il demande une constante mise à jour des connaissances. En effet, la mondialisation des économies amène une réorganisation tant sur le plan physique que dans la mentalité des entreprises et on continue encore de nos jours à essayer d'en prévoir les tenants et aboutissants.

Actuellement, plusieurs facteurs affectent l'état de l'industrie québécoise du meuble, notamment la hausse de la devise canadienne par rapport à la devise américaine et la concurrence internationale croissante, notamment celle de la Chine et des économies émergentes. Ces facteurs modifient les stratégies adoptées par l'industrie manufacturière canadienne et plus particulièrement l'industrie québécoise, dont l'une des caractéristiques est d'être constituée principalement de PME situées en région. Pour espérer survivre et prospérer dans un environnement de plus en plus concurrentiel les fabricants de meubles devront rapidement trouver les moyens d'accroître leur productivité ainsi que leur capacité à répondre efficacement aux besoins de leurs clients. La gestion efficace de leur chaîne d'approvisionnement représente une réponse positive face à cette nouvelle forme de concurrence. En effet, dans le but d'augmenter la compétitivité d'un réseau de manufacturier face à la concurrence, gérer efficacement la chaîne d'approvisionnement devient un atout majeur. Dans une perspective de prospérité et de survie d'une chaîne d'approvisionnement, il convient d'élaborer des politiques de coopération pour contrebalancer la diminution du pouvoir relatif de négociation. Les méthodes de négociation et les règles du jeu se modifient de manière telle que la notion d'échange entre deux compagnies peut évoluer. Il existe aujourd'hui, avec le développement de l'application de la théorie des jeux dans le management, des méthodes d'approximation d'un nouvel équilibre où tous les joueurs qui participent à la négociation trouvent leur compte. La présente recherche se base sur ces théories pour déterminer s'il existe une forme de lot de transfert inter-compagnies qui puisse diminuer les coûts globaux.

Plus spécifiquement, le lotissement économique de commande (EOQ), le lotissement économique de production (EMQ) et le lotissement économique conjoint (JELS) seront comparés pour une chaîne d'approvisionnement composée de trois niveaux où on retrouve des usines d'assemblage, des usines de sous-traitance et des usines de matières premières. Le donneur d'ordres de ce réseau est l'entreprise d'assemblage car son ascendance sur les sous-traitants est telle qu'elle peut imposer ses choix. Le défi réside dans le fait que les sous-traitants doivent trouver le moyen de mieux synchroniser leurs actions avec le donneur d'ordres pour répondre tant à la variabilité grandissante de la demande qu'à l'augmentation des contraintes de production et des attentes en qualité, tout en cherchant à améliorer leur rentabilité. Cette mise à niveau des capacités de production nécessite la mobilisation de plusieurs ressources qui sont souvent trop coûteuses pour une seule entreprise.

De plus, toute modification du lotissement aura un impact sur l'équilibre des coûts dans le réseau. Il faut évaluer les diverses possibilités pour ramener à un équilibre qui convient à tous les membres de ce réseau. Pour bien évaluer les impacts d'un changement de lotissement, un modèle de simulation réseau servira d'outil d'analyse. Ce modèle sert à évaluer la variation dans le niveau d'inventaire, dans la répartition des coûts, la disponibilité des machines, etc. Dans cette perspective, du point de vue du donneur d'ordres, il convient de considérer les contraintes des sous-traitants non pas comme externes, mais bien comme des préoccupations internes de la compagnie.

La présente recherche a pour objectif de faire, dans un premier temps, une revue partielle de la littérature actuellement disponible sur le lot de transfert entre diverses entreprises, ce qui constituera le chapitre I de ce mémoire. Cette revue de littérature ne peut être que partielle étant donné l'envergure de ce champ d'étude. À la suite de cette revue, la problématique spécifique sera abordée plus en profondeur au chapitre II. Le chapitre III fera état de l'impact monétaire de l'adoption de divers lots de transfert. Le chapitre IV évaluera l'impact monétaire de certaines politiques de gestion retenues par les entreprises de la chaîne d'approvisionnement. Le chapitre V sera consacré à la

description du modèle de simulation développé pour tester le lotissement tandis que le chapitre VI servira à l'analyse des résultats sur les coûts et l'impact opérationnel de l'adoption d'un tel lotissement. Finalement une discussion et une conclusion suivront.

# CHAPITRE I : REVUE DES CONCEPTS

---

## 1.0 Introduction

Dans le but de mettre en place une stratégie globale d'optimisation des gains d'un réseau, il convient de définir les concepts pouvant influencer son optimisation. Le présent chapitre traite de certains concepts importants. Le premier est la définition de l'agilité et de la flexibilité d'une chaîne d'approvisionnement. En effet, ces deux caractéristiques, qui seront brièvement abordées, sont des conditions *sine qua non* de la performance d'un réseau dans le temps car elles assurent l'adaptabilité de celui-ci. Ensuite viendra la théorie sur la gestion de la chaîne d'approvisionnement. On verra aussi la différence entre la gestion d'inventaire en réseau et la gestion d'une chaîne d'approvisionnement. En effet, lorsque l'on souhaite implanter une stratégie globale d'optimisation des gains, la définition de ce qu'est la gestion de la chaîne d'approvisionnement et de l'inventaire réseau devient un incontournable. Aussi, il y aura un bref segment sur les diverses approches de gestion réseau.

Une fois les concepts de gestion traités, la notion de lotissement économique sera définie. Un classement sommaire sera proposé pour en faciliter la compréhension et une revue de littérature sera exposée pour chacune des sections. Il est à noter que c'est sur le concept de lotissement que la stratégie d'optimisation sera basée.

Le rôle de la simulation dans la recherche sera abordé dans cette revue de littérature. La différence entre la programmation linéaire et la simulation sera donnée, un aperçu des indicateurs de performance possibles sera décrit ainsi que la théorie et les impacts réels de l'effet coup de fouet, qui représente l'amplitude des variations d'information le long d'une chaîne d'approvisionnement.

Le dernier concept pris en considération dans cette recherche est la théorie des jeux. En effet, dans le domaine de la science appliquée, n'est vrai que ce qui est applicable. Toute recherche doit passer par l'évaluation de la phase d'implantation. Dans cet ordre

d'idée, il faut comprendre les difficultés et les solutions possibles qu'entraînent toute modification des paradigmes dans le temps. La théorie des jeux apporte les bases d'une solution à ce niveau. Dans la théorie des jeux, un volet particulier sera réservé à la négociation.

## **1.1 Gestion de la chaîne d'approvisionnement**

Il existe une multitude de définitions et de modèles portant sur le management de la chaîne d'approvisionnement. Toutefois, celle retenue dans le cadre de cette étude est fournie par Hartmut Stadtler (2005) en accord avec celle de Porter (1998). Pour eux, la définition d'une chaîne d'approvisionnement est un réseau organisationnel où chaque intervenant possède des liens tant en amont qu'en aval et qui produit de la valeur sous la forme de produits ou de services pour le consommateur ultime. Cette définition limite le réseau à toutes les activités reliées au dernier consommateur qui peut être, dans le meilleur des cas, considéré comme le dernier maillon de la chaîne. Le principal objectif de la gestion de la chaîne d'approvisionnement est, dans ce cas-ci, le respect des processus comprenant la gestion des flux matériels, financiers et informationnels. D'un point de vue historique, le concept de management de la chaîne d'approvisionnement a été introduit en 1982 par Oliver et Webber (1992). Christopher a proposé en 1998 un schéma qui synthétise la gestion d'une chaîne d'approvisionnement sous la même structure que la maison qualité ou la théorie de la production du système Toyota facilitant ainsi le transfert de la connaissance par analogie aux règles de la construction. La figure 1 est une traduction libre de ce schéma.

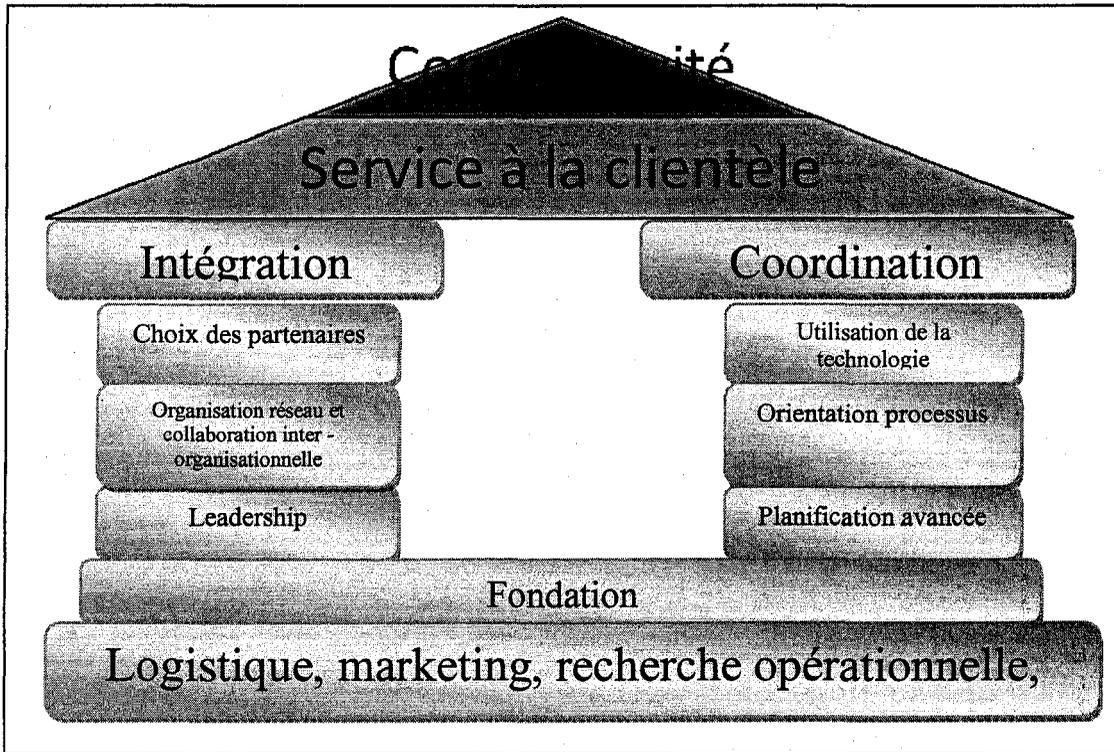


Figure 1 : Schéma de la maison de la chaîne d'approvisionnement (Stadtler, 2005)

Traduit par David Lupien St-Pierre

Le fondement de cette maison dépeint l'objectif de la chaîne d'approvisionnement, soit l'amélioration de la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble par la direction vers une position viable et stratégique de ladite chaîne d'approvisionnement en comparaison avec les compétiteurs.

Les deux piliers de la maison se nomment intégration et coordination sur les flux. Les trois blocs que composent les deux piliers sont respectivement le choix judicieux des partenaires, l'organisation réseau, la collaboration inter-organisationnelle ainsi que le leadership en ce qui a trait à l'intégration alors que la coordination touche l'utilisation de l'information et des technologies de communication, l'orientation processus et la planification avancée.

Le management coopératif des stocks et de l'information entre les différents partenaires est implicitement défini dans toute notion de chaîne d'approvisionnement et ce, dans le but d'atteindre des objectifs qu'il ne serait pas possible d'obtenir en travaillant individuellement (Sucky 2005). L'importance de bien coordonner les échanges entre l'acheteur et le vendeur est reconnue dans la littérature et ce principe, dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, est d'intérêt particulier (Landeros et Lyth, 1989).

### 1.1.1 Gestion de l'inventaire

Dans cet ensemble que compose la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la gestion de l'inventaire dans l'entreprise est l'une des plus importantes par son impact sur les autres fonctions. Que ce soit les MRP (*material requirement planning*), les MRP-II (*manufacturing resources planning*) ou les ERP (*enterprise resources planning*), ces logiciels possèdent tous un module plus ou moins évolué de gestion de l'inventaire. Elle permet une meilleure coordination des ressources et l'accroissement de l'efficacité organisationnelle. En effet, l'évolution des besoins en termes d'information pour la gestion et la synchronisation de plusieurs usines amènent de nouvelles contraintes de gestion et rendent nécessaire l'utilisation de certaines formes de ces systèmes. De plus, lorsqu'on envisage de modifier les politiques d'approvisionnement dans un réseau, ces fonctions se doivent d'être présentes et comprises par l'ensemble des membres de ce réseau. Il est d'intérêt général de savoir que beaucoup de problèmes restent à régler avant que ces logiciels ne s'adaptent parfaitement à la réalité de l'entreprise. Il suffit d'envisager l'ampleur des coûts indirects lorsque l'implantation n'est pas suffisamment planifiée et les risques liés à l'utilisation d'un tel logiciel (Trimi et al., 2005).

Depuis quelques années, la gestion par bloc ou ASP (*application service provider*) apporte une nouvelle dimension à la gestion classique par ERP. Elle permet entre autres de n'adopter que les segments de l'ERP que l'entreprise souhaite utiliser. Les avantages se résument à un temps d'implantation diminué, à la possibilité de développement de software, au partage des risques (retard, désuétude...), à une

diminution moyenne de 30 % des coûts d'implantation et à une plus grande facilité de maintenance (Trimi et al., 2005). Grâce à l'approche ASP, il devient abordable pour une petite entreprise de se doter des outils nécessaires pour répondre aux exigences du marché ou de son réseau. Il ne faut cependant pas confondre la gestion de la chaîne d'approvisionnement avec la gestion de l'inventaire réseau. L'inventaire réseau est à la gestion de la chaîne d'approvisionnement ce que l'organe est à l'organisme, c'est-à-dire une sous-fonction du terme plus général. Cependant, certaines contraintes de type flux réseau peuvent y être intégrées pour en améliorer la gestion (Yenisey, 2005).

Giannoccaro et al. (2003) se sont interrogés sur les facteurs favorisant une gestion efficace de l'inventaire dans une chaîne d'approvisionnement. Leur étude a mené à la conclusion qu'il existe cinq fonctions à prendre en compte pour bien articuler la gestion de l'inventaire dans une chaîne d'approvisionnement. La première est l'optimisation globale, qui décrit le choix entre une gestion intégrée ou indépendante de l'inventaire. La seconde est le type de contrôle : il peut être soit centralisé ou décentralisé. La troisième est la fréquence de contrôle de l'inventaire qui peut être continue, périodique ou hybride. La quatrième est le besoin temporel d'information qui se résume par l'adoption d'une attitude proactive par prévision ou réactive. La cinquième et dernière fonction concerne le besoin spatial d'information qui se définit par l'état de l'inventaire physique.

### 1.1.2 Gestion réseau

La gestion d'un réseau représente un domaine d'étude en plein développement. Il existe plusieurs facteurs influençant ce sujet. La gestion des stocks, le partage des profits et le partage des risques ne sont que quelques exemples d'éléments dont il faut tenir compte dans la gestion réseau. Chacun de ceux-ci fera l'objet de commentaires succincts au cours des paragraphes suivants et quelques références à un ou des auteurs ayant écrit à leur propos apparaîtront également.

La gestion des stocks est pratiquement toujours au cœur des principes de gestion réseau. Dudek et Stadlter (2005) étudient plus généralement la planification de l'utilisation de la capacité, qui implique une planification des stocks. Ils comparent une planification hiérarchique des stocks centralisée par rapport à une gestion basée sur la coopération et la négociation. Leur conclusion veut que la gestion collaborative donne de meilleurs résultats que la stricte gestion hiérarchique centralisée.

Cachon et Larivière (2005) ont étudié le partage des revenus et ses effets sur la performance d'une chaîne d'approvisionnement. Ils ont supposé (et conclu) que le partage pouvait être très avantageux pour toutes les parties en cause. Leurs recherches et déductions montrent cependant trois limitations à leur modèle, la première voulant que le partage de revenus ne fonctionne pas dans une situation de compétition entre détaillants où la quantité et le prix dépendent de l'action des autres. La seconde limitation est primordiale, il s'agit du surplus de gestion imposé aux administrateurs. En effet, si la charge de travail additionnel est trop importante, que les règles de répartition ne sont pas clairement définies ou que les délais administratifs deviennent trop élevés, le partage de revenus risque fort d'être compromis. Finalement, le modèle ne fonctionne pas lorsque le détaillant peut, au prix de peu d'efforts, faire varier la demande.

Tomlin (2003) constate quant à lui que le partage de profit devrait se faire sur les items à demande élevée plutôt que sur des items dont la demande est minime. Il démontre l'existence d'une classe de produits basée sur le prix où la coordination par le partage des bénéfices est avantageuse et il fixe des paramètres en fonction du profit où l'adoption par le manufacturier d'une politique de partage est optimale.

Une autre donnée concernant la gestion collaborative résulte d'une étude effectuée par Cachon en 2004 où l'analyse d'un modèle composé de stratégie en flux poussé et en flux tiré lui permet de conclure que le risque influence l'efficacité d'une chaîne d'approvisionnement. Il existe plusieurs notions de risque. Principalement, on peut les regrouper en trois catégories soit le risque d'approvisionnement, le risque associé à la demande et le risque sur les contrats de change (Goh et al., 2007). Seule la notion de

risque d'approvisionnement sera exploitée. La définition retenue dans le cadre de cette recherche est celle proposée par Zsidisin (2002). Il définit ce risque par l'occurrence potentielle d'un incident en relation avec l'approvisionnement provenant d'un manque (rupture de stock, perte de la commande, etc.) d'un des intervenants le long de la chaîne résultant en l'incapacité pour la firme de rencontrer la demande ou à mettre en danger le bien-être et la sécurité du client. Ainsi, pour le modèle de Cachon (2004), si les intervenants sont prêts à partager le risque d'inventaire, il conclut qu'une coordination est possible avec n'importe quelle section de la chaîne d'approvisionnement. Une extension de son modèle tend à démontrer que le choix entre un système poussé ou tiré ne dépend plus du prix de vente mais bien de la différence de prix entre une commande faite d'avance et une commande de type immédiat.

Dans le cas d'une chaîne d'approvisionnement dont les participants acceptent de passer de la confrontation à la coopération il faut référer à Munson et Rosenblatt (1999). Leurs travaux mènent à la conclusion qu'un réseau possédant des éléments de confrontation peut être transformé en réseau d'alliés grâce à des mesures de coopération qui doivent être bénéfiques pour l'ensemble des membres. Pour transformer un réseau de compétition en réseau de partenaires, il existe des mécanismes divers de coordination et de coopération utilisés dans les chaînes d'approvisionnement, tels les rabais de quantité, les options de crédit, les politiques d'achats/retour, la flexibilité de la quantité, des engagements d'achat sur la quantité, etc. (Sarmah et al, 2005). En réalité cependant, le prix est souvent directement négocié entre les compagnies et dans plusieurs cas, l'acheteur voudra un rabais en fonction de la quantité (Munson et Rosenblatt, 1998). Li et al.(1996) en arrivent à la même conclusion en prouvant l'efficacité théorique d'un tel mécanisme. Faire varier le coût d'acquisition est l'un des mécanismes les plus simples et facilement modelables si l'on veut créer un réseau de coopération dans une chaîne d'approvisionnement.

À la lumière des auteurs cités dans cette section, dans le cas d'une variation dans le lotissement de transfert, il semble que la variation du coût d'acquisition soit le mécanisme le mieux indiqué.

## 1.2 Lot économique

Un des objectifs de cette recherche étant d'évaluer un lot de transfert avantageux, il convient d'étudier d'abord ce qu'est un lot économique. Il s'agit d'un concept historiquement utilisé par le département des achats dans une entreprise même si le département de production peut en bénéficier aussi. On le met souvent en opposition avec la philosophie du «juste-à-temps», probablement par manque de connaissance de ce qu'est réellement le lot économique. Dans les paragraphes qui suivent, un bref historique de ce concept de lot économique sera présenté, certaines formes de calcul de lotissement seront par la suite expliquées un peu plus en détail et une comparaison avec le phénomène du juste-à-temps complètera cette partie.

Pour effectuer une revue de la littérature concernant le lot économique, il faut procéder avec ordre et méthode, compte tenu qu'il s'agit d'un domaine très vaste et documenté où il est facile de s'égarer. Sera utilisée pour les besoins de la présente recherche une classification simple et efficace proposée au tableau 1. Pour donner un aperçu de l'étendue de l'application du concept du lot économique, il suffit de mentionner que celui-ci sert à la synchronisation entre deux entreprises qui effectuent des échanges. Utilisé dans un concept de réseau ou de chaîne d'approvisionnement, il s'étend sur toute la chaîne et si on y ajoute le concept de coopération, la situation se complexifie encore plus. Il existe aussi des méthodes pour synchroniser les calculs de lots tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Dans le cas où l'échange se fait avec plusieurs items au lieu d'un seul, le calcul du lotissement se fait différemment. Il peut s'agir aussi d'un problème de cédule où la taille du lot de production est fonction de la demande et de la capacité machine. Il ne s'agit là que de quelques exemples donnant un aperçu de l'ampleur de l'utilisation de la théorie du lotissement. Cependant, pour s'y retrouver, le tableau 1 ci-après présente quelques balises. La raison d'être d'un lot économique étant de minimiser les coûts, tout calcul sera orienté en ce sens, la complexité naissant du nombre de variables et d'hypothèses envisagées. Le même tableau présente une méthode de segmentation des diverses possibilités de lotissement.

Tableau 1

## Catégorisation des méthodes de calcul du lotissement

	Échelon unique	Multiples échelons
Item unique	Item unique – échelon unique	Item unique – Multiples échelons
Multiples items	Multiples items – échelon unique	Multiples items – Multiples échelons

En étudiant les regroupements faits par colonne, on constate qu'il existe deux séparations, soit l'échelon unique et les échelons multiples, chaque échelon représentant une entreprise. Ainsi, on sépare par colonne en fonction du nombre d'entreprises à l'étude. Dans la première colonne, concernant une entreprise unique, l'étude sur la quantité économique calculée ne considère que des informations provenant de l'intérieur d'une même entreprise ; la solution calculée ne cherche pas le consensus puisqu'il n'y a qu'un seul intervenant. Dans la seconde colonne, concernant de multiples entreprises, le problème est tout autre. Il faut tenir compte de plusieurs facteurs externes tels que les contraintes de commandes ou de production des autres intervenants de l'ensemble du système. Généralement, dans ce genre de situation, il faut chercher un consensus que l'on définira par l'équilibre dans un système. Même si le concept a été expliqué en utilisant le terme «entreprise» en remplacement d'«échelon», il est aussi possible de remplacer ce dernier par «département» et obtenir des résultats similaires.

Ceci étant dit, en abordant l'étude du tableau 1 selon les lignes, on constate que la variable est le nombre d'items. En effet, le lotissement peut être abordé en fonction d'une étude sur un item ou sur celle d'un regroupement de produits. Le problème en sera profondément modifié en ce que le type de contraintes rencontrées sera différent. Le nombre d'items complexifie le calcul. Par exemple, il faudra parfois envisager l'achat

de certaines matières sous forme de regroupement plutôt que de façon unitaire. La demande en termes d'achat est donc variable selon le regroupement déterminé. De plus, dans le cas de multiples items, la capacité machine devient une variable à prendre en considération lorsque le temps de mise en course est non nul. En résumé, il existe deux grandes variables : le nombre d'entreprises et le nombre d'items que ces entreprises s'échangent. C'est le paradigme principal de ce concept autour duquel quelques problèmes plus spécifiques se présentent.

Une petite précision s'impose concernant la case « multiples items – multiples échelons ». On ne retrouve à son égard qu'une littérature très peu étoffée même si elle est la plus réaliste et la plus près des contraintes de l'industrie.

En règle générale, lorsque le problème se situe sur le long de la première ligne du tableau ou de la matrice, on observe que les conclusions qui en sont tirées sont plus souvent des politiques de lotissement, alors que dans le cas de la deuxième ligne, l'approche retenue est plutôt de type planification. En effet, le temps de disponibilité des machines, lorsqu'il devient une contrainte, doit être considéré dans le modèle, car cela a un impact sur le lotissement. Dans le même ordre d'idée, en ce qui concerne les colonnes, c'est le nombre de contraintes considérées qui varie en fonction de la position matricielle.

Les sous-sections qui suivent détailleront de manière plus exhaustive ce que représente le lot économique à ce niveau, ainsi que les contraintes et les hypothèses de chacune des cases du tableau.

### 1.2.1 Segment échelon unique – item unique

Tel que mentionné précédemment, le but de l'étude est de faciliter l'échange entre les divers joueurs du réseau. La méthode préconisée par cette étude est l'analyse de la notion de lot économique qui tire ses racines de la formule de Wilson (1934), même si

on peut en retracer l'introduction, dès 1915, faite par Harris. La définition se résume à la taille du lot optimisé d'un point de vue économique.

Il existe deux formes de lotissement économique pour ce segment, soit : EOQ (*economic order quantity*) et EMQ (*economic manufacturing quantity*), qui seront étudiées ci-après.

### 1.2.1.1 Quantité économique à commander (EOQ)

Lorsque l'on veut calculer le lotissement économique à commander, il convient de considérer certaines variables, dont la demande annuelle, le coût d'inventaire, le coût de passation de commande ou encore le taux de roulement désiré ne sont que quelques exemples. Dans les coûts d'inventaire, il faut prendre en compte les coûts d'une pénurie, de maintien en inventaire, de l'expédition, de l'espace d'entreposage et de la désuétude. Il est très difficile de bien évaluer ces coûts pour les attribuer équitablement sur chaque unité du produit. Généralement, on impute un pourcentage de la valeur du produit comme coût d'inventaire.

Les hypothèses permettant l'utilisation du concept de lot économique sont les suivantes :

- ✓ La demande est uniforme
- ✓ La demande est déterministe
- ✓ La durée de vie du produit est infini
- ✓ Il n'y a aucune contrainte sur la quantité à commander
- ✓ Le coût du produit ne dépend aucunement de la quantité à commander
- ✓ La dépréciation du produit est négligeable
- ✓ Le délai d'approvisionnement est négligeable
- ✓ On ignore les bénéfices potentiels de commandes simultanées
- ✓ Les pénuries ne sont pas permises
- ✓ La commande est livrée en entier

Bien évidemment, ces hypothèses sont réductrices, mais n'empêchent pas la mise en place du lot économique en situation réelle. Par exemple, en ce qui a trait au prix de vente, il existe quelques modèles qui assument l'élasticité du prix de vente dont celui de Burwell et al.(1997). Chacune de ces hypothèses peut être étudiée séparément pour en déterminer l'impact et valider si l'inclusion dans un modèle mathématique est nécessaire.

On attribue l'utilisation de cette forme de lotissement à l'acheteur, car la formule ne prend en considération que les contraintes d'achats et de maintien en inventaire de l'acheteur. C'est d'ailleurs explicitement cette notion qui y est traitée, soit la quantité économique d'achat.

#### 1.2.1.2 Quantité économique à produire (EMQ)

Le modèle classique de ce lotissement cherche à déterminer le lot de production optimal. Généralement, on considère les coûts d'inventaire et de mise en course. Cependant, certains tentent d'aller plus loin dans la représentation des contraintes. Chang et Hong (1994) ont développé un modèle qui prend en considération les arrêts machines. Abboud et al. (2000) considèrent aussi le temps de disponibilité des machines et permettent la pénurie dans le calcul du lotissement. Cao et Schniederjans (2004) et Schniederjans et Cao (2000,2001), quant à eux, comparent la philosophie du juste-à-temps et celle du lotissement économique. La comparaison est cependant difficile car l'estimation de certains paramètres comme les gains par rapport à la réduction de l'espace utilisé pour le juste-à-temps et le coût de maintien en inventaire pour le lotissement insère une imprécision. Toelle (1996) suggère que l'estimation des coûts rend inappropriée l'évaluation d'un lot économique si l'on ne peut les calculer précisément. D'un autre côté, l'outil kanban prôné par le juste-à-temps peut être comparé au lot économique. En effet, le lot économique est une quantité d'échanges alors que l'outil kanban renvoie à la quantité optimale de matières à maintenir entre deux postes. Fondièrement, il s'agit de la même théorie, mais appliquée différemment.

Ainsi, ces deux idéologies peuvent en fait être complémentaires plutôt qu'en opposition l'une par rapport à l'autre. Selon les chiffres avancés par Cao et Schniederjans (2004), on peut conclure que l'approche JIT (*just-in-time*) est presque toujours préférable sauf lorsque la demande annuelle est très élevée dans cette circonstance, l'utilisation classique du lotissement pourrait être avantageuse. De plus, considérés dans un contexte d'évaluation de lot de transfert, comme c'est le cas dans la présente étude, le juste-à-temps et le calcul du lot économique renvoient à la même notion.

Hong et al. (1992) et Corbey et Jansen (1993), par leurs études sur la quantité économique de production, en sont venus à la conclusion que les règles de décision étaient biaisées, car elles ne tenaient pas compte des coûts d'opportunités. Dave et al. (1996) ont ajouté au modèle de calcul du lot économique de production un facteur de marketing, la publicité, et ont prouvé que celui-ci pouvait avoir un impact significatif sur la taille des lots de production.

D'autres auteurs, comme Jaber et Bonney (1996a, 1996b, 1999, 2001, 2003) ont tenté d'intégrer un facteur d'apprentissage dans le lotissement. En effet, une hypothèse intéressante veut que les variations dans le savoir technique sont significatives dans le temps. Par exemple, pour un item qui est produit quotidiennement, les employés risquent fort de développer des méthodes qui minimisent leur travail tout en augmentant leur vitesse de production, alors que pour un item qui n'est produit qu'une fois par année, ils doivent parfois se référer à des plans, chercher la matrice de production, etc. ce qui diminue leur productivité. C'est en ce sens que les notions d'apprentissage et d'oubli sont considérées ; il faut les inclure dans le lotissement. On peut retracer l'intérêt d'inclure la notion d'apprentissage jusque dans les travaux précurseurs de Keachie et Fontana (1966) qui avaient évalué les diverses formes de transfert de savoir technique et leur impact sur le lotissement. Salameh et al. (1993) ont inclus l'équation de la courbe d'apprentissage dans le calcul du coût total du système d'inventaire en assumant l'indépendance entre les cycles de production. Leur étude a démontré une baisse successive des lots due au décroissement des coûts de production par la courbe d'apprentissage qui avait pour effet d'augmenter la productivité. Jaber et Bonney

(1996a) ont complété ces travaux en ajoutant la courbe d'oubli dans le calcul du coût total. En effet, la courbe d'apprentissage cesserait d'être significative lorsque projetée à l'infini. L'introduction de la courbe d'oubli a pallié à ce problème (Jaber et Bonney 1996b) en limitant la capacité d'apprentissage. Meyr (2002), quant à lui, propose un lotissement et une cédule de production optimisés en fonction de la capacité finie des machines réoptimisées par un dual.

Pour donner un exemple de ce que peut être un calcul de lotissement du manufacturier(EMQ), on peut s'attarder sur la fonction objective, les variables et les autres paramètres retenus par Jaber et Bonney (1999). La fonction objective représente l'intérêt qu'il y a à minimiser les coûts de production. En recherche opérationnelle, maximiser les gains et minimiser les coûts sont de la même essence. Le premier volet constitue une étude du primal et le second est l'optimisation par le dual. L'objectif reste le même, seulement les contraintes ne sont pas formulées de la même manière. Les informations demandées par ce modèle sont le coût unitaire, le coût de mise en course, le coût de transport et le coût de qualité et de remanutention, auxquels s'ajoute la quantification de la notion d'apprentissage et d'oubli.

Le calcul du lot de production est donc basé sur les mêmes variables que le lot de commande sauf en ce qui a trait au coût de passation de commande qui devient le coût de mise en course.

## 1.2.2 Segment multiple échelons

### 1.2.2.1 Lotissement économique conjoint (JELS)

Lorsque l'on traite d'une chaîne d'approvisionnement, on la sépare généralement en trois systèmes : l'approvisionnement, la production et la distribution (Thomas et Griffin, 1996). Dans le passé, et encore trop souvent aujourd'hui, ces trois parties étaient traitées et gérées séparément, c'est-à-dire que l'on considérait ces fonctions comme des entités distinctes et des ressources différentes leur étaient attribuées. On palliait aux

problèmes par de larges inventaires ce qui avait pour effet de cacher les contraintes d'interrelation entre ces trois segments de la gestion de la chaîne d'approvisionnement (Thomas et Griffin 1996).

Pour l'optimisation des coûts dans un système, il ne faut pas considérer seulement l'acheteur, mais aussi les sous-traitants et les fournisseurs de matière qui font aussi partie de l'équation à optimiser. Dans cette conceptualisation, il ne s'agit plus de gérer les niveaux d'inventaire d'une seule entreprise qui sont situés en plusieurs endroits différents, mais de gérer ces niveaux à travers plusieurs firmes (Johnson et Pyke, 2001).

Selon Lee et Billington (1993), l'objectif principal poursuivi par la gestion de la chaîne d'approvisionnement est de minimiser les coûts tout en satisfaisant le maintien d'un niveau de service adéquat. La complexité dans la coordination des processus de la chaîne d'approvisionnement est d'abord fonction de la structure organisationnelle à l'intérieur même du réseau. Lorsque l'acheteur et le manufacturier traitent le problème d'inventaire simplement sous des conditions déterministes, il est bien connu que la quantité économique de commande et la quantité économique de production sont les solutions optimales individuelles de l'acheteur et du manufacturier respectivement. Cependant, cette solution individuelle optimale est souvent nuisible pour l'autre partie. Ce problème de synchronisme, tel que mentionné précédemment, a généré une abondante littérature sur les méthodes de coordination. Il est à noter qu'en plus de la notion de coordination, celle de coopération doit entrer en ligne de compte (Sucky, 2006). En situation réelle, la pure coopération n'existe pas, il s'agit plutôt d'une définition à mi-chemin entre la compétition et la coopération que l'on nomme co-compétition.

Il est possible d'évaluer un lotissement avantageux en fonction de la situation désirée et de la position que l'on occupe dans la chaîne d'approvisionnement ; il s'agit du JELS qui signifie *joint economic lot streaming*. Ce calcul consiste à évaluer les contraintes de tous les intervenants et d'en déterminer la situation optimale globale au lieu de se confiner dans un optimum local. Une fois ce lotissement économique conjoint déterminé, il faut essayer d'en tirer les règles régissant cet échange ou la façon de coordonner le tout.

Grossièrement, il convient de considérer les contraintes de production du fournisseur afin de lui faciliter la tâche, mais, en contrepartie, celui-ci doit assumer les frais additionnels de stockage en inventaire chez l'acheteur. Sucky (2005) a démontré et prouvé qu'il existait une façon de gérer le tout pour que le donneur d'ordres effectue un contrôle de son inventaire selon le lot économique de commande tout en permettant la passation de commande par le biais d'un lotissement économique conjoint.

En 1996, Thomas et Griffin, tout comme Bhatnagar et al. (1993), ont séparé les efforts de coordination en trois catégories, soit : la coordination entre la production et la distribution, la coordination entre l'inventaire et la distribution et, finalement, la coordination entre l'acheteur et le vendeur. Ces auteurs ont répertorié, d'un point de vue positionnel d'une chaîne d'approvisionnement, la taille des lots, le mode de transport et la quantité à produire. Le tableau 2 montre le résumé de Thomas et Griffin(1996).

Tableau 2  
Catégories et auteurs selon Thomas et Griffin(1996)

Catégorie	Coordination	Coordination	Coordination
	inventaire- distribution	acheteur- vendeur	production-distribution
Auteurs	Clark & Scarf (1960)	Monahan(1984)	Williams (1981)
	Muckanstadt & Thomas (1980)	Lee et Rosenblatt (1986)	Ishii, Takahashi & Muramatsu (1988)
	Erkip, Haussman & Nahmias (1990)	Banerjee (1986)	Haq, Vrat & Kanda (1991)
	Svornos & Zipkin	Goyal (1988)	Pyke & Cohen (1993, 1994)
	Rogers & Tsubakitani (1991)	Anupindi et Akella (1993)	Chien (1993)
	Ernst & Pyke (1993)	Kohli et Park (1994)	Chandra & Fisher (1994)
	Muckstadt & Roundy (1993)	Lau et Lau (1994)	
	Van Eijs (1994)		

Le tableau 2 synthétise trois formes d'effort de coordination. La première colonne se concentre principalement sur les niveaux d'inventaire à tenir en fonction de la position dans la chaîne d'approvisionnement. La seconde colonne traite de la relation entre l'acheteur et le vendeur, l'un comme l'autre pouvant être multiple et l'introduction de la théorie de jeux se situant dans cette colonne. La troisième colonne concernant la coordination production-distribution traite davantage de la planification des divers organes d'une chaîne d'approvisionnement.

Pour classer le présent sujet à l'étude, il aborde définitivement la coordination d'une chaîne d'approvisionnement. Cependant, il ne cadre précisément dans aucune des trois

colonnes. Par déduction, il ne peut pas être dans la troisième catégorie puisqu'il n'y est pas question de planification. Cependant, le taux d'utilisation des ressources étant un indicateur de performance cela rend sa classification ambiguë. Il s'agit en même temps d'une problématique qui englobe la notion d'acheteur et de vendeur, ce qui le ferait cadrer dans la seconde colonne ; pourtant, bien que traitant de cette problématique, il n'appartient pas explicitement à cette catégorie. Afin de mieux discerner les objectifs, le tableau 1 est plus en mesure de définir les visées du projet. Dans le tableau 1, il se classe dans la catégorie de multiples échelons – multiples items.

Pour fin de démonstration, voici un exemple de paramètres considérés lors du calcul du lotissement économique conjoint. La fonction objective consiste à minimiser le coût global du système. En faisant varier la taille des lots, on doit considérer les coûts de livraison, les coûts de mise en course chez le fournisseur, les coûts de passation de commande chez l'acheteur. Le tableau 3 résume les différentes variables et celui qui doit assumer ces coûts.

Tableau 3

Variables basées sur le modèle de Sucky (2005)

	Sucky (approche globale)	Coût assumé par...
Fonction Objective	Minimiser le coût global (mise en course, inventaire, transport)	Acheteur / Fournisseur
Variable	Taille du lot	Acheteur / Fournisseur
Informations demandées par le modèle	Coût de la livraison	Fournisseur
	Coût de mise en course	Fournisseur
	Coût de passation de commande	Acheteur
	Demande annuelle	Acheteur / Fournisseur
	Coût de maintien en inventaire	Acheteur / Fournisseur
	Nombre de livraisons par production	Fournisseur

Hill (1997) a introduit la notion de variation de la quantité d'expédition en supposant une augmentation de la quantité à expédier dans le temps. Il existe plusieurs améliorations possibles dépendamment de la contrainte à traiter.

### 1.2.3 Segment item unique / multiple échelons (manufacturier unique – acheteur unique)

Pour résumer le travail effectué depuis quelques années dans ce domaine, le tableau 4 présente certains auteurs avec l'approche qu'ils préconisent dans leur étude.

Tableau 4

Résumé des auteurs dans le segment item unique / manufacturier unique – acheteur unique

Auteur	Année	Proposition/Hypothèse
Goyal	1976	Lotissement économique
Lu	1995	Règle d'échange Le lot est un multiple entier du lot de livraison
Hill	1997	Règle d'échange Le lot n'est pas un multiple entier du lot de livraison
Kim et Ha	2003	Étude par les coûts totaux
Kelle et al.	2003	JàT et solution par négociation
Lee	2005	Lotissement économique conjoint
Hoque et Goyal	2000	Lotissement inégal
Hoque et Goyal	2006	Lotissement égal et inégal Minimisation des coûts totaux
Affisco et al.	2002	Lotissement Tenir compte de la qualité
Bylka	2003	Comparaison de l'approche compétitive versus coopérative
David et Eben-Chaime	2003	Négociation Lotissement

Tous ces articles traitent d'un produit qui circule entre un acheteur et un vendeur. Un des points communs que l'on pourrait en tirer serait que la majorité de ces articles conclue à une politique de lotissement. Bylka(2003) compare justement la politique de coopération versus la politique de compétition. Pour la majorité des autres, il s'agit d'inclure une variable supplémentaire dans le but de mieux représenter la réalité. Sans qu'il s'agisse d'une conclusion, on observe et constate que ces articles sont orientés sur l'élaboration d'un nouveau modèle mathématique. Ce sont donc des articles qui présentent une revue de littérature plus brève, mais possédant une description détaillée du modèle proposé. Hoque et Goyal (2005) quant à eux, ont fait le même exercice, mais sur plusieurs échelons.

#### 1.2.4 Segment item unique / Manufacturier unique – multiple acheteurs

Pour résumer le travail effectué depuis quelques années dans ce domaine, le tableau 5 présente certains auteurs avec la proposition qu'ils préconisent.

Tableau 5

Résumé des auteurs dans le segment item unique / manufacturier unique – acheteurs multiples

Auteur	Année	Proposition/Hypothèse
Banerjee et Burton	1994	Coordonner en fonction de cycles de livraison fixe
Siajadi et al.	2006	Lotissement économique conjoint dans un système de distribution

Ces auteurs se sont attardés aux problèmes que peuvent rencontrer les manufacturiers qui cherchent les conditions avantageuses de production et de stockage étant donné qu'un même produit peut être vendu à plusieurs personnes en quantités variables.

### 1.2.5 Problématique de lot économique dans une cédule de production (ELSP ; economic lot scheduling problem)

Dans la perspective de plusieurs produits à la fois, le problème résulte souvent de la planification des tâches en fonction d'un lot à produire ; il s'agit d'une extension du problème de lotissement. Celui-ci est connu dans la littérature sous la forme terminologique suivante : le MLCLSP ou *multi-level capacitated lotsizing problem*.

Pour résumer le travail effectué depuis quelques années dans ce domaine, le tableau 6 présente certains auteurs avec la proposition qu'ils préconisent.

Tableau 6

Résumé des auteurs sur la problématique du lot économique dans une cédule de production

Auteur	Année	Proposition / hypothèse
Hoque et Kingsman	2006	Coordination Solution par heuristique
Stadtler	1996	Synchroniser le réseau pour en diminuer les coûts
Kim et al.	2005	Minimiser les coûts du réseau N'accepte pas les pénuries

Le point important à retenir dans ce segment est que la taille du lot varie en fonction de la demande et de la capacité machine et qu'il est possible de planifier plusieurs produits sur plusieurs niveaux.

### **1.3 Simulation**

Dans un autre ordre d'idée, un choix doit être fait entre un modèle déterministe et stochastique. Souvent, par la programmation linéaire, il n'est pas possible d'exprimer une variation probabiliste dans la demande et dans les bris machine. Comme le projet est d'évaluer l'impact opérationnel d'un changement dans le lotissement, ces facteurs doivent être inclus dans le modèle. L'une des façons de bien rendre compte de ces phénomènes est d'élaborer un modèle en mode simulation.

La simulation possède l'avantage de fournir un modèle probabiliste de la gestion des stocks, ce qui permet, entre autres, de refléter la variation dans le temps des commandes ou des décisions. Par exemple, si on examine les tests de Banerjee et al. (2001), ceux-ci introduisent des critères décisionnels en fonction du niveau de stock dans un modèle à révision périodique. Selon eux, il existe deux approches possibles concernant la gestion des stocks multi-échelons dans le but de tenir compte de la variabilité dans le temps. La première consiste à stocker de grandes quantités de produit en amont de la chaîne et d'en expédier successivement de petites quantités. La seconde est de fournir un niveau variable de commande en fonction du niveau de stock. En effet, en fonction de la demande, on fixe une quantité critique. Si le niveau de stock descend sous cette barre, on commande une quantité plus grande, alors que si le niveau est dans un état stable et prévisible, la commande habituelle est passée.

Selon l'étude de D. Petrovic (2001), il faut travailler à développer des outils de gestion de l'inventaire dans une chaîne d'approvisionnement en situation d'incertitude et la simulation se prête bien à cette particularité.

Par la simulation, il est possible d'inclure de façon intrinsèque la notion de délai de livraison, les contraintes d'expédition, d'accepter les pénuries, d'expédier selon plusieurs critères de livraison, de considérer la demande non pas uniforme mais variable et non déterministe et même de faire varier la valeur du produit en fonction du temps. Le *Supply Chain Council (2003)* recommande l'utilisation de modèles de simulation pour l'étude de réseaux complexes d'approvisionnement. Reiner(2005) soutient que cette méthodologie permet, entre autres, l'analyse rapide de plusieurs scénarios en plus d'offrir des possibilités de visualisation facilitant la compréhension.

Il faut cependant noter que l'outil qu'est la simulation n'optimise pas le management de la chaîne d'approvisionnement, selon Simchi-Levi et al. (2000), il permet aux analystes de déterminer la performance d'une configuration donnée.

La simulation est un bon outil, mais elle peut s'avérer lourde et demande un temps de traitement informatique important. Selon le sondage mené par Terzi et Cavaliere(2004), le prochain défi sera de simuler non pas sur un ordinateur centralisé, mais bien à l'aide de plusieurs ordinateurs coopérants qui échangeront des données critiques dans le secteur de l'industrie. Cette façon de procéder aura comme principaux avantages de réduire le temps d'exécution, de reproduire la distribution géographique d'un système, d'intégrer plusieurs langages de simulation dans un même environnement et d'augmenter la robustesse du simulateur.

Dans le cas de la recherche actuelle, la simulation sera utilisée pour développer un modèle qui tienne compte des variations probabilistes d'un réseau de production. Il servira à tester diverses configurations possibles de lotissement et leur impact sur les indicateurs de performance.

### 1.3.1 Indicateur de performance

Cette section a comme objectif de faire une revue sur les indicateurs de performance utilisés en simulation et d'en déterminer les plus intéressants afin de les intégrer dans le modèle de simulation.

Il existe deux formes d'indicateurs de performance pour un réseau de simulation, soit les mesures qualitatives et les mesures quantitatives. Les mesures qualitatives ne seront pas abordés dans cette recherche. On peut séparer les mesures quantitatives en deux familles que l'on distingue par la présence ou l'absence du facteur monétaire. Les mesures quantitatives qui sont basées sur l'approche monétaire se définissent par la mesure des coûts, les ventes, le profit, l'investissement en inventaire et le retour sur investissement. Les mesures quantitatives autres que monétaire sont le taux de remplissage, le temps de réponse aux clients et le temps de passage (Beamon, 1998).

Fleish et Tellkamp (2005) ont retenu deux mesures monétaires et deux mesures non-monétaires. Les non-monétaires sont la fraction de temps pendant lequel les items sont en pénurie et l'imprécision de l'inventaire. Comme première mesure monétaire, ils considèrent le coût d'inacuité de l'inventaire, excluant la valeur d'inventaire volée ou invendable, mais incluant en retour, le coût de pénurie, le coût de maintien en inventaire, le coût de recherche des items égarés et le coût de manutention pour la non qualité. La seconde mesure monétaire est constituée de la valeur de l'inventaire volée et l'inventaire invendable. De leur côté, Petrovic et al. (1998) ont fixé comme indicateurs de performance pour chaque intervenant d'un réseau :

- ✓ le coût de maintien en inventaire
- ✓ le coût de pénurie
- ✓ le taux de remplissage
- ✓ la quantité totale de commande pour inventaire

Alors que pour évaluer la performance de la chaîne d'approvisionnement d'un point de vue global, ils se sont basés sur :

- ✓ le coût total de l'item dans la chaîne d'approvisionnement
- ✓ le coût de maintien en inventaire total (comprenant tous les intervenants)
- ✓ le taux de remplissage d'un item dans la chaîne d'approvisionnement

Persson et Olhager (2002) eux, ont divisé leurs indicateurs en trois familles distinctes soit : la mesure des ressources, la mesure des extrants et la mesure de flexibilité. La mesure des ressources inclut les coûts et l'inventaire. Celle des extrants consiste dans la qualité, le temps de passage et la variabilité sur le temps de passage. Enfin pour la mesure de flexibilité, ils réutilisent le temps de passage et la variabilité sur le temps de passage en interprétant cette double utilisation comme la stabilité et la capacité à maintenir stable une demande variable.

Les indicateurs de performance pour le modèle seront, dans le cas de la mesure monétaire, le coût d'inventaire global. Pour la mesure quantitative non monétaire ce sera le taux d'utilisation de la machine goulot. Un troisième indicateur de performance sera calculé, soit l'effet coup de fouet.

### **1.3.2 L'effet coup de fouet**

L'effet coup de fouet est un phénomène de plus en plus étudié dans la littérature. Il se présente dans un scénario où les commandes chez le fournisseur tendent à avoir une plus grande fluctuation que les ventes chez l'acheteur résultant en une distorsion qui s'amplifie ou s'accroît dans la chaîne d'approvisionnement (Disney et Towill, 2003). Il y aurait cinq causes à cet effet :

- ✓ le temps de passage non nul (Forrester effect)
- ✓ le processus de passation de commande
- ✓ la variation des prix

- ✓ le lotissement
- ✓ la non qualité et les erreurs (manutention, production, commandes, etc.)

Fait intéressant à noter en ce qui concerne le lotissement, aussi appelé *Burbridge effect*, est cette tendance à augmenter la grosseur des lots au fur et à mesure du déplacement vers la matière première dans la chaîne d'approvisionnement. L'effet Forrester, quant à lui, représente l'impact des imperfections dans la planification de la chaîne d'approvisionnement. La variation des prix peut venir d'une promotion et bousculer la demande quelque peu.

Il existe plusieurs façons de mesurer l'effet coup de fouet. L'objectif n'étant pas de quantifier parfaitement l'impact de l'effet coup de fouet mais d'utiliser cet indicateur pour bien évaluer un lot de transfert avantageux, il suffit de dire que ces mesures s'apparentent à l'analyse de sensibilité. Une petite comparaison entre l'approche de Potter et Disney (2006) et Cachon (1999) permet de constater que le premier considère la mesure de performance comme le quotient de la variance des commandes placées et de la variance des commandes reçues alors que le second se base sur le coefficient de variation. La différence entre les deux est que la méthode de calcul de Cachon (1999) mène à une singulière conclusion. En effet, selon cet auteur, pour diminuer l'effet coup de fouet, il faut espacer le temps entre les commandes. Pourtant, la philosophie juste-à-temps indique le contraire. La formule de Potter et Disney (2006) permet de conclure dans le sens de la philosophie juste-à-temps.

#### **1.4 Théorie des jeux**

La théorie des jeux est fortement liée à la théorie des probabilités. Elle origine du désir de prédire la conclusion des jeux de hasard. Selon Norfleet W. Rives (1975), il faut remonter au physicien et philosophe espagnol Girolamo Cardano pour trouver les bases de la théorie des probabilités. En 1654, Antoine Gombauld présenta une énigme à Blaise Pascal : elle consistait à tenter de déterminer comment répartir entre deux joueurs l'enjeu d'un jeu de hasard, lorsque celui-ci est inachevé et que l'un des joueurs

a l'avantage sur l'autre. De cette question est née la théorie moderne des probabilités. Dans cette théorie se camoufle l'idée d'équilibre.

Le premier équilibre que l'on peut décrire est celui de Cournot. Il cherchait l'optimum dans un marché oligopole et il l'a défini comme étant à l'intersection des courbes de réaction des entreprises. En d'autres mots, l'équilibre de Cournot en est un de type non coopératif en situation oligopolistique où la variable de contrôle est la quantité que l'entreprise décide de vendre. Basée sur ces travaux, l'analyse de Stackelberg permet la conclusion suivante : le point d'équilibre se situe au point de tangence entre la courbe d'isoprofits d'une firme et la courbe de réaction d'une autre firme. Il a donc créé un modèle à deux temps dans lequel l'une des firmes agit en premier. Cette conclusion dépeint une situation dans laquelle il y a une firme dominante par rapport à une firme satellite, ce qui revient à dire qu'une firme prend des décisions optimales en fonction de ses propres contraintes et la firme dominée doit s'adapter.

L'apport fondamental de Nash est un concept d'équilibre qui désigne toutes combinaisons de stratégies susceptibles de faire en sorte qu'aucun des joueurs ne regrette son choix après avoir constaté celui des autres joueurs. Le résultat de cet équilibre est qu'une firme vend une quantité moindre qu'en situation de concurrence parfaite, mais que le prix qu'elle exige est plus élevé que celui qu'elle pourrait demander en situation concurrentielle. Cela permet de concevoir qu'il est possible d'améliorer la situation d'un joueur sans détériorer nécessairement celle d'un autre joueur.

Pour considérer l'implantation d'un lotissement dans un environnement réel, il faut analyser et comprendre la relation qui unit les différents intervenants d'un système. Par exemple, si on considère l'équilibre de Stackelberg comme point de comparaison, cela a un impact sur le lotissement qui sera retenu puisque chacun des intervenants est présent pour tenter de maximiser son profit. Ainsi le dominant forcera toujours sur la quantité qui est la plus économiquement intéressante pour lui-même. Par contre en recherche d'équilibre selon Nash, on doit trouver une situation où le dominant ne détériore pas sa situation, tout en permettant l'amélioration de celle du dominé.

Les travaux de Braun et Gautshi (2006) sur le réseau en termes de négociation ont défini un modèle de prédiction du partage de profit en ajoutant à l'équilibre de Nash la caractérisation des relations entre les divers intervenants et de leur position relative dans le réseau comme facteurs influençant la distribution du profit.

En se basant sur la théorie des jeux, en permettant l'échange d'information entre les diverses parties et en assignant une relation de dominant au donneur d'ordres de type acheteur, il apparaît clairement que l'optimum donné par le lot économique de commande est local. Cependant, comme le donneur d'ordres est le plus fort au point de vue de la négociation, et en tenant compte de son but qui est de maximiser ses profits, on constate que la situation en restera à cet optimum local. Le but de cette recherche est d'utiliser le concept de l'équilibre de Nash pour déterminer un lotissement adéquat et bénéfique pour toute la chaîne d'approvisionnement, d'en déterminer les impacts potentiels au niveau des coûts du réseau et de valider les variations opérationnelles, de simuler l'adoption d'un tel lot et, en dernier lieu, de le mettre en place.

#### 1.4.1 Négociation

A l'occasion d'une négociation, il est possible de quantifier le poids relationnel des divers joueurs dans le réseau. Connaissant ce poids, il est plus facile de prévoir le développement à court, à moyen et à long termes du réseau basé, en plus des données actuelles et quantifiables, sur les interrelations entre les compagnies et leurs dirigeants.

En se basant sur la théorie des jeux, l'hypothèse veut que chaque joueur du réseau cherche à maximiser son profit, sans oublier la possibilité d'échange d'information entre les divers joueurs. Il s'agit d'un modèle de type *n-joueurs* à somme non-nulle. La différence entre une somme nulle et une non-nulle réside dans le fait que dans le cas d'une somme nulle, il s'agit d'une quantité de profit prédéterminée que les joueurs doivent partager. Dans le cas d'une somme non-nulle, il n'existe pas de solution universelle et la quantité de profits demeure variable. Viswanathan et Wang (2003) ont

évalué l'efficacité du rabais quantité et du rabais volume comme mécanismes de coordination dans des canaux de distribution considérant une demande influencée par le prix. Le rabais volume est un rabais en fonction d'un volume garanti en général annuellement alors que le rabais quantité est un rabais sur une commande ponctuelle. Ils en tirent la conclusion que le rabais volume est un bon mécanisme de coordination lorsque la sensibilité de la demande sur le prix est grande alors que le rabais quantité est plus efficace lorsque la sensibilité est moindre.

## 1.5 Conclusion

À la lumière de ce qui a été souligné tout au long des dernières lignes, il apparaît clairement que seule une approche globale comprenant une juste évaluation de tous les facteurs mis dans la balance peut mener à une modification efficace et viable des paradigmes actuels des politiques du réseau. Après avoir élaboré sur le concept de gestion de la chaîne d'approvisionnement, du lotissement économique, de la simulation et de la théorie des jeux, il semble intéressant d'inclure la relation de pouvoir dans le calcul du lotissement du fait qu'elle tient compte de l'intérêt de chacun des joueurs.

# CHAPITRE II : PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE

---

## 2.0 Introduction

Les chaînes d'approvisionnement des grandes et moyennes entreprises comprennent souvent une multitude d'entités réparties sur plusieurs niveaux. Cette répartition crée un besoin de coordination et de synchronisation prononcé pour conserver un réseau compétitif. Dans cette perspective, il devient nécessaire de poser des règles facilitant les échanges entre les divers intervenants et ce, dans le but de diminuer les encours du réseau dans son ensemble.

La question de recherche se définit comme suit : Comment maximiser les gains des membres d'un réseau d'entreprise par la modification des règles de lotissement ?

L'hypothèse de base veut que commander selon la quantité économique conjointe(JELS) est préférable à la quantité économique de commande (EOQ) ou à la quantité économique de production(EMQ). Les hypothèses et les faits relatifs à la question sont les suivants :

- ✓ Politique de ne pas maintenir d'inventaire dans la chaîne d'approvisionnement autre que celui du donneur d'ordres
- ✓ Le réapprovisionnement fonctionne actuellement basé sur la quantité économique d'achat
- ✓ La demande annuelle par produit est la même chez le donneur d'ordres, chez les sous-traitants et chez le fournisseur de matières premières
- ✓ Le taux de rejet est nul pour chacune des entreprises
- ✓ Tout ce qui est produit à un niveau est envoyé au niveau suivant

L'unité d'observation utilisée pour le présent travail est la chaîne d'approvisionnement de tables composée d'un donneur d'ordres en tant qu'usine d'assemblage et de trois usines de machinage comme les sous-traitants. L'usine fournissant les matières premières est le dernier maillon de cette chaîne. Actuellement, chacun des intervenants tente de faire valoir son point de vue et ses contraintes pour optimiser sa rentabilité localement afin que l'ensemble du réseau s'y adapte, ce qui rend les changements longs et ardu. Selon le point de vue du donneur d'ordres, basé sur la philosophie du juste-à-temps, il ne faut acheter que la quantité correspondante au besoin réel des clients, alors que pour les sous-traitants et le fournisseur de matières premières, il faut livrer une quantité qui permette une certaine rentabilité. Il existe pourtant une solution qui représente un compromis acceptable entre ces divers intervenants. La figure 2 schématise la situation du réseau.

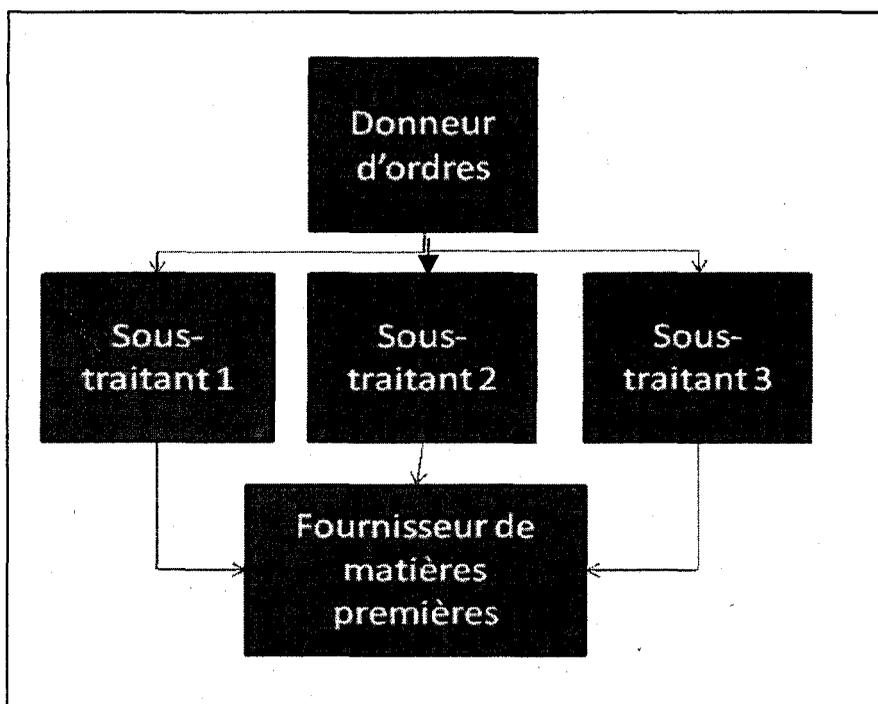


Figure 2 : Schéma du réseau d'entreprises

Les tables étant le produit déterminé comme élément d'analyse, il faut comprendre la manière dont elles sont produites. Lorsque le donneur d'ordres reçoit une commande d'un client, celle-ci est insérée dans une cédule hebdomadaire de production à l'usine

d'assemblage. Le système manufacturier à simuler fonctionne selon le modèle ATO (assemble to order). Les produits nécessaires sont assemblés, teints et emballés avant d'être expédiés. Aucune fabrication n'est faite dans l'usine d'assemblage. Les composants nécessaires pour assembler les tables sont simplement déduites de l'inventaire. Ce n'est que lorsque le point de passation de commande est atteint qu'un bon de fabrication est émis dans le réseau de sous-traitance. La taille de tous les bons de fabrication est fixe pour chaque produit et elle a été déterminée de manière à minimiser l'inventaire.

Une fois ce bon de fabrication acheminé au sous-traitant, celui-ci le retransmet à l'usine de matières premières pour que celle-ci lui fournisse la bonne quantité de matière pour réaliser ce travail. Le lot de transfert entre le sous-traitant et l'usine de matières premières est donc directement déterminé par le calcul du lot économique du donneur d'ordres. Cette manière de fonctionner provient de la politique d'inventaire zéro chez les sous-traitants du réseau, sous réserve qu'il est cependant possible de regrouper pour une production donnée certaines tables en fonction de leur dimension. En effet, peu importe le chant(*edge*) qui sera machiné sur la table, la dimension brute du panneau est la même pour une catégorie de tables, ce qui permet de regrouper les achats de matières premières.

L'usine de panneaux fonctionne en mode production sur commande avec un délai de livraison moyen de deux à trois semaines. La production est ordonnancée en fonction des commandes clients et optimisée pour limiter le nombre de points de chute.

## 2.1 Calcul du lotissement

Les équations présentées dans la section suivante proviennent de l'article de Sucky (2005). L'objectif est de simplifier les équations en fonction des hypothèses que l'on peut émettre en fonction du réseau à l'étude. Une fois ces équations réduites, elles pourront être introduites dans le modèle de simulation et, selon des indicateurs de

performance qui seront abordés au chapitre suivant, des conclusions pourront être tirées.

Trois formes de lotissement seront comparées. Le premier est le lot économique de commande utilisé par le donneur d'ordres(EOQ). Celui-ci est le lotissement utilisé actuellement dans le réseau. La seconde forme testée sera la politique du lotissement économique du manufacturier(EMQ). Celui-ci est basé sur les contraintes de production du sous-traitant au lieu du donneur d'ordres. Le troisième et dernier lot testé sera le lotissement économique conjoint(JELS). Celui-ci inclut les contraintes de production du sous-traitant et les contraintes d'achat du donneur d'ordres. La difficulté principale ne réside pas dans le degré de précision des formules, mais dans le juste choix du lotissement tout au long du réseau. Pour déterminer la stratégie de lotissement à laquelle il faut accorder priorité, certains indicateurs de performances valideront l'impact de la variation des lots.

### 2.1.1 EOQ (Economic order quantity)

Pour le lot du donneur d'ordres, les variables des formules qui suivent sont définies dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Description des variables utilisées pour le calcul du EOQ

Nom de la variable	Description de la variable	Provenance de l'information
A	Coût de passation de commande	Donneur d'ordres
B	Demande annuelle	Donneur d'ordres
$h_a$	Coût de maintien en inventaire	Donneur d'ordres
Q	Quantité	Donneur d'ordres

Le coût total annuel (CTA) est donné par :

$$\text{éq.1: } CTA(Q) = \frac{Qh_a}{2} + \frac{AB}{Q}$$

En dérivant l'équation, cela donne le EOQ

$$\text{éq.2: } Q(\text{EOQ}) = \sqrt{\frac{2AB}{h_a}}$$

Par exemple, pour un produit(P1) dont la valeur serait de 100 \$, la demande annuelle (B) est de 10 000 unités, le coût de passation de commande(A) est de 20 \$ et que le coût de maintien en inventaire( $h_a$ ) est de 30 % de la valeur du produit. L'équation 2 donne un résultat de 116 unités. La quantité économique de commande(Q) est de 116 unités. Ce nombre s'insère dans l'équation 1 sur le calcul du coût annuel et donne 3465 \$ ( $116 \cdot 0,3 \cdot 100 / 2 + 20 \cdot 10000 / 116$ )

### 2.1.2 EMQ (Economic manufacturing quantity)

Pour les variables du lot du sous-traitant, elles sont définies dans le tableau 8.

Tableau 8 : Description des variables utilisées pour le calcul du EMQ

Nom de la variable	Description de la variable	Provenance de l'information
R1	Coût de mise en course	Sous-traitant
b	Demande par période	Donneur d'ordres
hp	Coût de maintien en inventaire	Sous-traitant
I	Nombre de livraison	Sous-traitant
R2	Coût associé à la livraison	Sous-traitant
d	Demande par période	Sous-traitant
D	Demande annuelle	Sous-traitant
q	Quantité par période	Sous-traitant
Q	Quantité	Sous-traitant

Le EMQ est donc donné par :

$$\text{éq.3 : } CTA(I, q) = R_1 \frac{b}{Iq} + R_2 \frac{b}{q} + \frac{q}{2} \left( I \left( 1 + \frac{b}{d} \right) - 1 \right) h_p$$

Le premier segment donne le coût rattaché à la mise en course. La fraction représente le nombre de fois que l'on devra effectuer la production; multiplié par les coûts. Le deuxième segment représente le nombre de livraisons. Il correspond au coût provenant du nombre de fois que l'on devra procéder à une expédition. Le troisième segment est le coût de maintien en inventaire. Les éléments entre parenthèses

permettent de considérer qu'une partie de la production a été expédiée, mais qu'il en reste encore qu'il faille soutenir en inventaire.

En posant comme hypothèse que tout ce qui est produit sur un niveau est envoyé au suivant, cela permet de supposer que le nombre de livraisons est égal à 1 ( $l = 1$ ). Sachant que la demande annuelle pour un produit est la même chez le sous-traitant que chez le donneur d'ordres, cela implique que  $b = d$ . Si la période représente un an,  $q=Q$ . Ainsi la formule devient :

$$\text{éq.4: } CTA(Q) = \frac{Qh_p}{2} + \frac{D(R_1 + R_2)}{Q}$$

En dérivant, la quantité économique de production devient :

$$\text{éq.5: } Q(EMQ) = \sqrt{\frac{2D(R_1 + R_2)}{h_p}}$$

Par exemple, pour un produit(P1) dont la valeur est de 100 \$, la demande annuelle chez le donneur d'ordres(B) est de 10 000 unités, la demande annuelle chez le sous-traitant(D) est de 10 000 unités, le coût de mise en course( $R_1$ ) est de 350 \$, le coût de livraison est de 100 \$ et que le coût de maintien en inventaire( $h_p$ ) est de 30 % de la valeur du produit. L'équation 5 donne un résultat de 548 unités. La quantité économique de production(Q) est de 548 unités. Ce nombre s'insère dans l'équation 4 sur le calcul du coût annuel et donne 16 430 \$ ( $548 \cdot 0,3 \cdot 100 / 2 + 10000(350 + 100) / 548$ ).

### 2.1.3 JELS (Joint economic lot streaming)

Dans l'approche du lotissement économique conjoint, l'objectif est de minimiser les coûts totaux.

Les indices étant décrits dans le tableau 9.

Tableau 9 : Description des indices utilisés pour le calcul du JELS

Indices	Description
G	Global (Donneur d'ordres et sous-traitant)
P	Sous-traitant
A	Donneur d'ordres

Les variables étant définies par le tableau 10.

Tableau 10 : Description des variables utilisées pour le calcul du JELS

Nom de la variable	Description de la variable	Provenance de l'information
A	Coût de passation de commande	Donneur d'ordres
B	Demande annuelle	Donneur d'ordres
$h_a$	Coût de maintien en inventaire	Donneur d'ordres
$R_1$	Coût de mise en course	Sous-traitant
$h_p$	Coût de maintien en inventaire	Sous-traitant
$l$	Nombre de livraison	Sous-traitant
$R_2$	Coût associé à la livraison	Sous-traitant
$d$	Demande par période	Sous-traitant
D	Demande annuelle	Sous-traitant
$d$	Demande par période	Sous-traitant
x	Sub-batches	Donneur d'ordres et sous-traitant

Il faut considérer les deux parties pour essayer d'en tirer le maximum de bénéfices pour tous les joueurs. La formule du coût total global annuel est donnée par l'équation 6 (Goyal, 1988 p. 237 ; Landeros et Lyth, 1989, p. 154)

$$\text{éq.6: } CTA(I_G, x_G) = \frac{b}{x_G} \left( A + \frac{R_1}{I_G} + R_2 \right) + \frac{x_G}{2} \left( I_G h_p \left( 1 + \frac{b}{d} \right) - h_p + h_a \right)$$

Le premier segment représente tous les coûts qui varient de façon linéaire à savoir le coût de passation de commande, le coût de mise en course et le coût associé à la livraison, respectivement. La deuxième section considère les coûts de maintien global en inventaire, tant du point de vue du sous-traitant que de celui du donneur d'ordres. En posant comme hypothèse que tout ce qui est produit sur un niveau est envoyé au suivant, cela permet de supposer que la quantité livrée est égale à la quantité produite. En d'autres mots, il y a une livraison par lot de production ( $I = 1$ ). Sachant que la demande annuelle pour un produit est la même chez le sous-traitant que chez le donneur d'ordres, cela implique que  $b = d$ . Si la période représente un an,  $d=D$  et  $b=B$ . Ainsi la formule devient :

$$\text{éq.7: } CTA(I_G, x_G) = \frac{b}{x_G} (A + R_1 + R_2) + \frac{x_G}{2} (h_p + h_a)$$

où la quantité  $x_G$  à transiter est donnée par :

$$\text{éq.8 : } Q(JELS) = \sqrt{\frac{2b(A + R_1/I_G^* + R_2)}{(I_G^* - 1 - I_G^* b/d + 2b/d) h_p + h_a}}$$

En réappliquant les mêmes hypothèses, l'équation donne :

$$\text{éq.9 : } Q(JELS) = \sqrt{\frac{2b(A + R_1 + R_2)}{h_p + h_a}}$$

Le coût global total annuel peut donc s'exprimer ainsi :

$$\text{éq.10: } CTA^G = \sqrt{2b(A + R_1/I + R_2)(I h_p (1 + b/d) - h_p + h_a)}$$

Encore une fois, si l'on réutilise les mêmes hypothèses sur le transport et la demande, certaines simplifications sont possibles.

$$\text{éq.11: } CTA^G = \sqrt{2b(A + R_1 + R_2)(h_p + h_a)}$$

Par exemple, pour un produit(P1) dont la valeur est de 100 \$, la demande annuelle chez le donneur d'ordres(B) est de 10 000 unités, la demande annuelle chez le sous-traitant(D) est de 10 000 unités, le coût de passation de commande est de 20 \$, le coût de mise en course(R1) est de 350 \$, le coût de livraison est de 100 \$ et que le coût de maintien en inventaire(h<sub>p</sub> et h<sub>a</sub>) est de 30 % de la valeur du produit. L'équation 9 donne un résultat de 396 unités. La quantité économique conjointe(Q) est de 396 unités. Ce nombre s'insère dans l'équation 11 sur le calcul du coût global annuel et donne 23 749 \$ (396\*(0,3+0,3)\*100/2+10000(350+100+20)/396).

Pour résumer, le tableau 11 présente trois formules qui seront mises en comparaison pour l'analyse des coûts :

Tableau 11 : Comparaison des trois formes de lotissement retenues

Auteurs	Équation du coût	Équation du lotissement
Général (approche acheteur)	$CTA(Q) = \frac{Qvr}{2} + \frac{AD}{Q}$	$Q(EQQ) = \sqrt{\frac{2AB}{vh_a}}$
Sucky (approche fournisseur)	$CTA(I, x) = R_1 \frac{b}{Ix} + R_2 \frac{b}{x} + \frac{x}{2} \left( I \left( 1 + \frac{b}{d} \right) - 1 \right) h_p$	$Q(EMQ) = \sqrt{\frac{2b \left( \frac{R_1}{I} + R_2 \right)}{I \left( 1 + \frac{b}{d} \right) - 1} h_p}$
Sucky (approche global)	$CTA(I_G, x_G) = \frac{b}{x_G} \left( A + \frac{R_1}{I_G} + R_2 \right) + \frac{x_G}{2} \left( I_G h_p \left( 1 + \frac{b}{d} \right) - h_p + h_a \right)$	$Q(JELS) = \sqrt{\frac{2b \left( A + \frac{R_1}{I_G} + R_2 \right)}{I_G - 1 - I_G \frac{b}{d} + 2 \frac{b}{d}} h_p + h_a}$

## 2.2 Application de la théorie des jeux

En gardant à l'esprit la théorie des jeux et l'équilibre de Nash qui veulent que tous les joueurs, lorsque le jeu se termine, ne soient pas déçus du résultat, voici les hypothèses du jeu de la négociation applicable selon les contraintes du réseau à l'étude pour le calcul du premier lotissement. Il est à noter que l'on considère un jeu à deux joueurs à somme non nulle dans lequel les deux joueurs tentent de maximiser les gains individuels.

- ✓ Le donneur d'ordres a le pouvoir d'imposer sa quantité économique de commande en cas de bris de négociation (si aucune solution avantageuse ne lui a été proposée).
- ✓ Le sous-traitant offre une politique conjointe de lotissement associée à un paiement de compensation ( $z$ ).
- ✓ Le sous-traitant a pleinement accès à l'information sur les divers coûts du donneur d'ordres.

La compensation mentionnée précédemment vient justement de l'équilibre de Nash. En effet, ce théorème stipule que pour qu'il y ait un équilibre, aucun participant ne doit être déçu de la nouvelle solution. Ainsi, pour que le donneur d'ordres ne soit pas déçu de la solution, il doit être à son optimum puisqu'il a le pouvoir d'imposer sa solution. Cette situation est caractérisée par l'équilibre de Stackelberg, tel qu'expliqué, où Nash est une généralisation de ce phénomène. Ayant le pouvoir d'imposer son choix, toute solution déviant de sa situation optimale sera refusée, car tous les joueurs cherchent à maximiser leur profit. L'une des stratégies envisageables pour le sous-traitant est d'aller chercher une solution qui s'approche plus de son optimum local et de compenser les pertes de profits du donneur d'ordres. Il faut donc que sa situation lui libère plus de profit qu'il ne lui en coûtera en compensation. Cette compensation sera appelée  $z$ . Le  $z$  se calcule aisément. En effet, la compensation que le fournisseur doit proposer à l'acheteur pour que son gain reste à son point optimal est exactement la perte que celui-ci subira par la modification dans le lotissement.

Ce coût est donc de :

$$\text{éq.12: } z = CTA^p(JELS) - CTA^p(EOQ_a)$$

En d'autres termes, il faut soustraire l'équation 1 de l'équation 11 :

$$\text{éq.13: } z = \sqrt{2b(A + R_1 + R_2)(h_p + h_a)} - \left(\frac{Qh_a}{2} + \frac{AB}{Q}\right)$$

Dans le cas d'une chaîne d'approvisionnement à trois niveaux (donneur d'ordres – sous-traitants – fournisseur de matières premières) dont le donneur d'ordres est l'acheteur. Pour ce qui est du calcul du lotissement entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières, il y a deux opérations à effectuer. En effet, le premier calcul serait fait de la même manière que le premier lotissement, selon les mêmes hypothèses, à la différence toutefois que le pouvoir n'est imparti à aucun des joueurs. Cependant, il faut aussi tenir compte d'une politique réseau qui veut que le sous-traitant doit se garder un inventaire à zéro. Cela se traduit techniquement par le fait que l'on force la quantité retenue dans le premier échange sur le deuxième. Les tests par simulation seront donc orientés en ce sens.

## 2.3 Conclusion

Dans ce chapitre ont été définis la question de recherche, les hypothèses et les faits relatifs au réseau à l'étude. Les équations utilisées pour le calcul des divers lotissements ainsi qu'un exemple de chacun ont été donnés. En fonction des hypothèses il a été possible de simplifier certaines équations. Pour l'équation sur le calcul du coût total du lotissement conjoint, il faut prévoir une redistribution des profits s'il s'avère que ce type de lotissement soit le plus avantageux, comme le suppose l'application de la théorie des jeux.

Il est à noter aussi que ces calculs n'ont été effectués que pour un seul niveau de la chaîne d'approvisionnement. Il faut apporter une nuance lorsque les calculs concernent

l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. La valeur du produit changera selon le niveau où sera fait le calcul.

# CHAPITRE III : ANALYSE MONÉTAIRE

---

## 3.0 Introduction

Ce chapitre a comme objectif d'effectuer un résumé des calculs de lotissements présentés au chapitre II. Dans un premier temps, une explication des données de base sera fournie. Ensuite, un calcul des coûts d'un point de vue de la chaîne d'approvisionnement sera effectué. Puis viendront les tableaux résumant ce même calcul réalisé pour les 60 modèles de tables à l'étude. Il est à noter que les chiffres sont présentés avec ce degré de précision simplement pour permettre la vérification de la véracité des résultats.

## 3.1 Analyse des coûts

Le premier tableau présenté est celui montrant les coûts engendrés chez le donneur d'ordres et le sous-traitant, coûts basés sur la quantité économique de commande, la quantité économique de production et celle du lotissement économique conjoint, respectivement. Un compte rendu plus détaillé des spécifications de produits apparaissent aux annexes A et B. Pour le résumé des calculs de lotissement, il faut se référer aux annexes C, D, E, F, G et H.

Le coût de maintien en inventaire a été fourni par l'entreprise donneur d'ordres à un ratio de 20 %. Elle soutient que considérant les coûts de stockage en région, moindres que ceux rencontrés dans de grandes agglomérations urbaines, que la désuétude est faible sur le type de produit à l'étude et que les coûts d'opportunités sont quasiment inexistant; le pourcentage de 20 % est le ratio utilisé pour les négociations dans ce réseau. Pour l'évaluation des coûts de transport, la situation est différente car il est très difficile de bien les évaluer. Normalement on calculerait un coût fixe pour chaque transport, mais la quantité expédiée varie souvent et il est rare que l'on n'envoie qu'une

seule sorte de produit à la fois. La méthode retenue est la suivante : on prend le coût moyen annuel d'un chargement et on le répartit au pro-rata des items transportés, ce qui a donné une valeur de 100 \$. En ce qui a trait aux coûts de mise en course chez le sous-traitant, comme l'évaluation se fait sur un poste goulot, il faut prendre la marge bénéficiaire brute et la répartir sur le nombre d'heures disponibles de la machine. Le coût d'une mise en course est donc directement proportionnel au temps d'improductivité. Pour les entreprises à l'étude, le coût moyen de mise en course représente 175 \$ par heure. Le coût de passation de commande a été évalué par l'entreprise donneur d'ordres à 20 \$.

L'exemple suivant illustre les résultats obtenus selon les équations de la quantité économique à commander et du lotissement conjoint pour deux produits (P1 et P2) ayant une demande en matière première (PX). La valeur de P1 est de 126,61\$ et sa demande annuelle est de 4710 unités. La valeur de P2 est de 131,96\$ et sa demande annuelle est de 1983 unités. Le coût de passation de commande (A) est de 20\$, le coût de mise en course ( $R_1$ ) est de 350\$, le coût de livraison ( $R_2$ ) est de 100\$ et le coût de maintien en inventaire ( $h_p$  et  $h_a$ ) est de 20% de la valeur du produit. Les produits P1 et P2 demandent la même matière première, PX, dont la valeur est de 101,50 \$. À ces données s'ajoute comme contrainte dans l'optimisation du lot de transfert la politique d'inventaire zéro chez le sous-traitant. L'impact de cette contrainte sur le calcul est que la taille du lot retenu entre le donneur d'ordres et le sous-traitant est la même que celle entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières. Le coût de mise en course chez le fournisseur de matières premières est de 110\$. Pour faire un calcul de coût adéquat entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières, il faut prendre la quantité moyenne commandée pondérée du premier échange.

Les résultats obtenus, présentés au tableau 12 et 13, montrent que le lot économique du donneur d'ordres (EOQ) génère des coûts de 42 679\$ dans le système alors que l'adoption du lotissement conjoint (JELS) permet de prévoir des coûts totaux de l'ordre de 14 406\$. La différence entre ces deux montants est de 28 273 \$. La quantité retenue sur cet échange est remise dans la transaction entre le fournisseur de matières

premières et le sous-traitant et sur cet échange, il est possible d'espérer une réduction des coûts de 32 694 \$, soit la différence entre 52 151 \$ et 19 457 \$. L'ensemble des coûts pour le donneur d'ordres s'élève à 3 500 \$ et s'établit à 38 500 \$ pour le sous-traitant.

L'adoption du lot économique conjoint ( JELS) transforme ces coûts. Ils deviennent de l'ordre de 7 000 \$ pour le donneur d'ordres et de 7 000 \$ pour le sous-traitant. Basé sur l'équilibre de Nash, (Jemal et Karaesmen, 2007) il est possible de croire que cette situation, sous ce format, ne pourra jamais s'implanter car le donneur d'ordres est désavantagé. Bien que les coûts soient diminués, il manque une transformation pour que la solution soit viable. Il faut ramener le donneur d'ordres à la situation qui lui était la plus avantageuse, de cette façon, aucun joueur ne sera désavantagé si l'adoption devient effective. La même déduction doit être fait pour l'échange entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières, à la différence que, n'ayant pas de donneur d'ordres entre ces deux entités, c'est par la négociation que la situation pourra évoluer. Dans le second échange soit entre le sous-traitant et le fournisseur de matière première la répartition de la différence de 32 694 \$ ne se fera pas selon le concept de remise à la situation optimale de l'un des deux joueurs, mais plutôt par une négociation de gré à gré. On ne peut pas ramener l'un des deux intervenants à sa situation optimale, puisqu'aucun des deux n'est dominant. Une solution viable est de séparer moitié-moitié les bénéfices de cette modification. Les résultats sont présentés au tableau 13.

Tableau 12

Résumé des coûts totaux annuels

Donneur d'ordres – sous-traitant

		CTA (EOQ)	CTA(JELS)
P1	Donneur d'ordres	2 184 \$	4 246 \$
P1	Sous-traitant	25 664 \$	4 443 \$
P2	Donneur d'ordres	1 446 \$	2 834 \$
P2	Sous-traitant	13 383 \$	2 880 \$
<b>Total</b>		<b>42 679 \$</b>	<b>14 406 \$</b>

Tableau 13

## Résumé des coûts totaux annuels

## Sous-traitants–fournisseur de matières premières

		CTA(EOQ <sub>lot DO-ST</sub> )	CTA(JELS <sub>DO-ST</sub> )
PX	Sous-traitant	32 407 \$	11 483 \$
PX	Fournisseur MP	19 744 \$	7 974 \$
	<b>Total</b>	<b>52 151 \$</b>	<b>19 457 \$</b>

Cet exemple exprime le fait qu'il pourrait se redistribuer dans le réseau des gains de l'ordre de 60 000\$ simplement pour les produits P1 et P2 soit plus de 64 % de diminution de coûts. Pour ce qui est du calcul pour les 60 produits, la figure 3 résume les coûts entre le donneur d'ordres et le sous-traitant.

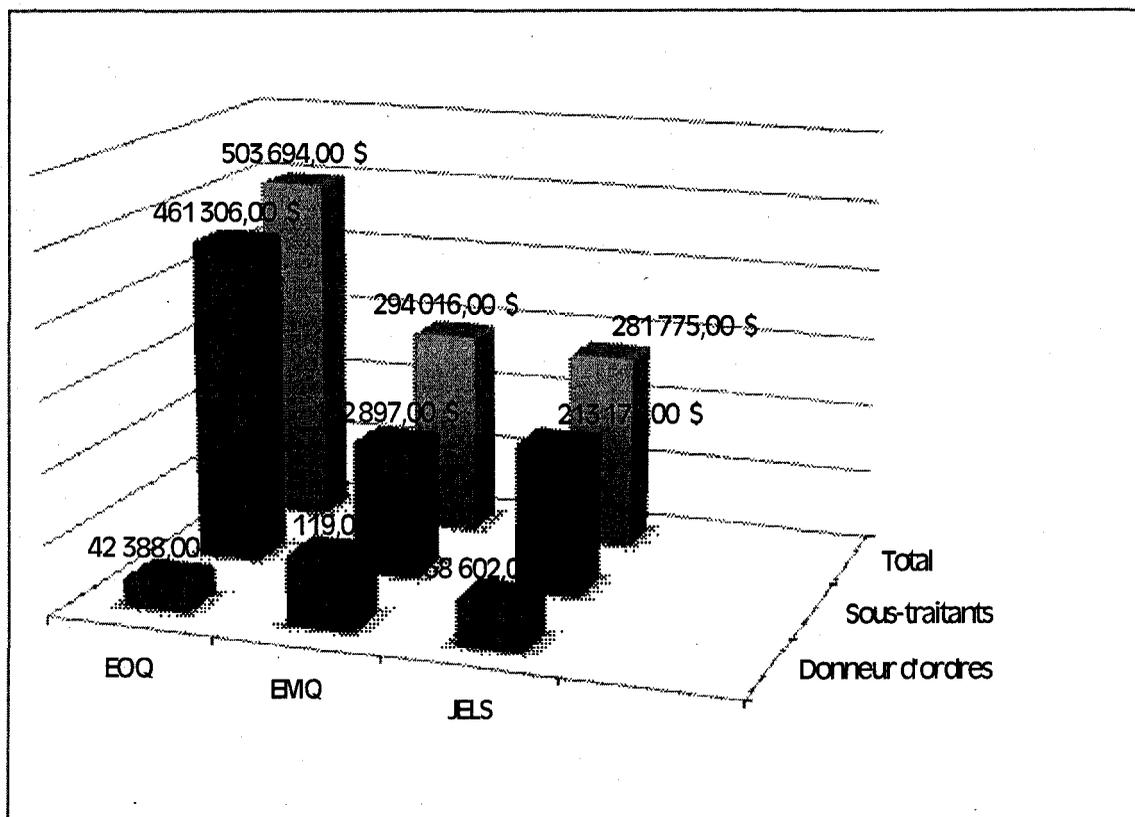


Figure 3 : Résumé des coûts entre le donneur d'ordres et le sous-traitant

On constate que la stratégie favorisant le donneur d'ordres engendre des coûts de 503 694 \$ dans le système. Cette stratégie permet cependant au donneur d'ordres d'arriver à sa position optimale. À l'opposé, soit en prenant la stratégie favorisant le sous-traitant, les coûts totaux dans le système diminuent de 42 %. Cette diminution se traduit par une réduction de 58 % chez le sous-traitant et une augmentation de 138 % chez le donneur d'ordres. La troisième proposition, celle de l'approche coopérative, présente une diminution des coûts totaux par rapport à la situation optimale du donneur d'ordres de 44 % se traduisant par une réduction chez le sous-traitant de 54 % et une augmentation de 62 % chez le donneur d'ordres. Cependant, cette augmentation est relative. Pour une augmentation des coûts de 25 000 \$ chez le donneur d'ordres, on peut observer une diminution de 222 000 \$ dans le réseau. Pour l'ensemble des intervenants, pris globalement, la solution optimale est l'approche coopérative. La raison pour laquelle elle se rapproche aussi près de la situation optimale du sous-traitant vient du fait que celui-ci absorbe la plus grande partie des coûts. Cependant, comme l'hypothèse de départ veut que le donneur d'ordres ait le pouvoir d'imposer la situation qui lui convient ou désirée, une telle solution optimale n'est pas viable et implantable dans cette forme. Par le jeu de la négociation, on pourra conserver la solution optimale globale et ramener le donneur d'ordres à sa situation désirée. Le tableau 14 propose la solution optimale négociée :

Tableau 14 : Solution optimale négociée

	Donneur d'ordre	Sous-traitant	Total
Négociation	\$ 42 388	239 387	\$ 281 775
Diminution	0%	48%	44%

Cette solution sera retenue et testée dans le modèle de simulation pour voir l'impact sur l'effet coup de fouet. La deuxième partie de l'analyse se situe au niveau du sous-traitant et du fournisseur de matières premières. Le calcul des coûts de transport reste le

même sauf que, cette fois, c'est le fournisseur de matières premières qui les absorbe. Le calcul du coût de mise en course demeure aussi le même chez le fournisseur de matières premières et le coût de maintien en inventaire est traité de la même façon. La figure 4 résume le calcul effectué selon diverses stratégies entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières.

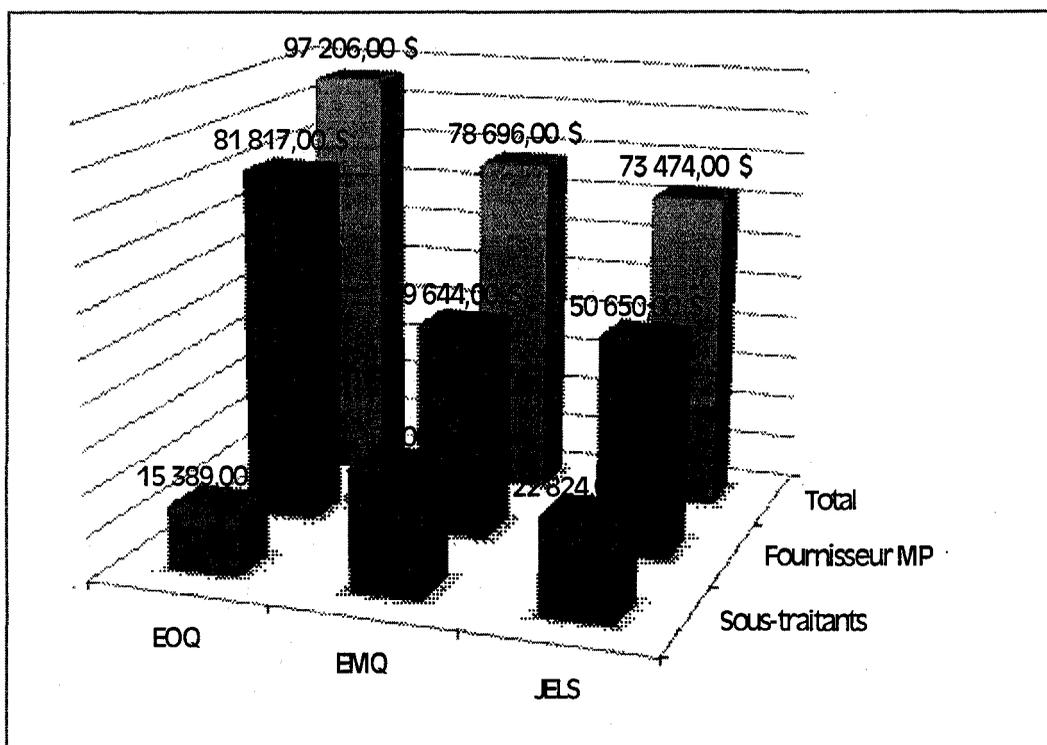


Figure 4 : Résumé des coûts entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières

Dans cette situation, favoriser le lot du fournisseur de matières premières au lieu du lot du sous-traitant diminuerait les coûts totaux de cette section de la chaîne d'approvisionnement de 19 %. Plus précisément, on observerait une diminution de 39 % chez le fournisseur de matières premières combinée à une augmentation de 89 % des coûts par rapport à la situation favorisant le sous-traitant. La solution du lotissement conjoint propose une solution encore plus économique. En effet, par rapport au lot du sous-traitant, on observe une diminution des coûts de 24 % soit une réduction de 38 % chez le fournisseur de matières premières et une augmentation des coûts de 48 % chez le sous-traitant.

Dans ce cas-ci, les coûts passeraient de 97 000 \$ à 73 000 \$, ce qui représente une diminution de 24 000 \$. Comme le pouvoir n'est donné à aucun des joueurs, la somme peut être divisée en deux. Cette solution diffère dépendamment du niveau de confiance dans le réseau. Dans cet exemple, les deux parties sont gagnantes mais à des degrés différents. Considérant que le réseau en est à ses débuts dans ce genre d'échanges de coopération, la solution la plus viable et envisageable est que chacun conserve ses gains par l'adoption de la nouvelle politique.

### **3.2 Conclusion**

En résumé, ces résultats confirment l'idée que le lotissement économique conjoint(JELS) propose une solution plus économique tant dans l'échange entre le donneur d'ordres et le sous-traitant que dans l'échange entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières si on la compare au lotissement économique de commande(EOQ). Cependant, il reste à appliquer la politique de ne pas maintenir d'inventaire dans le réseau. Le prochain chapitre analysera la solution optimale en incluant les contraintes du réseau.

Il faut aussi éclaircir un autre point. Ces calculs ont intégré les coûts du manque d'inventaire dans l'évaluation du coût de maintien en inventaire. Toutefois, si cette variable augmente drastiquement, il se peut qu'elle influence le ratio. Par exemple, si l'adoption du lotissement économique conjoint fait tripler le nombre de pénuries, le ratio du coût de maintien en inventaire pourrait augmenter. De ce point de vue, il faudrait évaluer la quantité économique à commander avec un ratio de 20 % et le comparer avec un lotissement économique conjoint qui a un ratio de maintien en inventaire différent. Ainsi, il est crucial de quantifier le nombre de pénuries comme indicateur de performance. Le chapitre VI évalue cette situation.

De plus, ces calculs semblent indiquer de substantielles économies. Par contre, il est difficile de croire qu'une négociation pour le partage des gains soit simple à réaliser

dans le contexte économique actuel de l'industrie. Il a été supposé, dans cette étude, le plein accès à l'information entre les divers parties alors que souvent, en milieu réel, on assiste plutôt à de l'asymétrie informationnelle.

# CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT

---

## 4.0 Introduction

Dans ce chapitre il sera ajouté à la solution trouvée au précédent chapitre la politique de ne pas maintenir d'inventaire dans le réseau. Cela implique que tout ce qui est produit sur un niveau est envoyé au maillon suivant de la chaîne d'approvisionnement. De plus, un test tentera de déterminer si un lotissement incluant les coûts de mise en course du fournisseur de matières premières et le transport entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières est avantageux. Ce lotissement sera appelé lotissement global.

## 4.1 Analyse des coûts de la chaîne d'approvisionnement

Le tableau 15 résume les coûts présentés aux figures 3 et 4. D'abord il résume les coûts totaux annuels de la chaîne d'approvisionnement. De plus, il propose la remise à la solution optimale du donneur d'ordres. Voici ce que pourrait donner la solution optimale globale négociée :

Tableau 15 : Coût totaux annuels de la solution réseau négociée

	Donneur d'ordres	Sous-traitant	Fournisseur MP	Totaux
EOQ donneur d'ordre	\$ 42 388	\$ 592 084	\$ 238 288	\$ 872 761
JELS	\$ 68 602	\$ 235 997	\$ 50 650	\$ 355 250
<b>Négociation</b>	<b>\$ 42 388</b>	<b>\$ 264 234</b>	<b>\$ 50 650</b>	<b>\$ 355 250</b>

On peut observer que le donneur d'ordres reste à sa situation optimale soit 42 388 \$. Pour ce qui est du sous-traitant, les gains cumulatifs d'une stratégie de lotissement conjoint en aval et en amont de son entreprise réduisent les coûts totaux théoriques de 56 % et, tel que mentionné précédemment, 80 % des coûts totaux théoriques du fournisseur de matières premières pourraient être diminués par l'adoption d'un lotissement conjoint. Globalement, il est possible de diminuer de 60 % les coûts totaux. Une fois ces calculs effectués il faut déterminer la répartition de ces coûts. Le tableau 16 traite des coûts à redistribuer.

Tableau 16 : Valeur monétaire à redistribuer

	Donneur d'ordres	Sous-traitant	Fournisseur MP	Totaux
JELS	\$ 68 602	\$ 235 997	\$ 50 650	\$ 355 250
Négociation	\$ 42 388	\$ 263 218	\$ 49 644	\$ 355 250
Différence	\$ 26 214	\$ (26 214)	\$ -	\$ -

Au point de vue de l'inventaire, l'augmentation physique serait de l'ordre de 1700 panneaux. En ce qui concerne la redistribution des coûts, il faut prioriser une méthode qui soit en temps réel plutôt qu'une remise annuelle, puisqu'aucune entreprise n'accepterait comme mode de transfert de faire un chèque de compensation. Le calcul est simple, une fois que le prix d'échange a été accepté, il faut prendre par item la différence de coût entre la quantité économique de commande et la quantité conjointe de lotissement. Cette différence se divise ensuite par la quantité vendue annuellement. Cela revient à calculer un retour de profit unitaire(escompte). Ensuite, selon une période négociée par les parties, il faut faire une vérification pour voir si les prévisions et la réalité sont semblables et procéder aux ajustements nécessaires, s'il y a lieu. Les calculs par items sont fournis en annexe I.

Maintenant, en considérant la politique d'inventaire zéro chez le sous-traitant, cela revient à émettre comme hypothèse que la quantité commandée par le donneur d'ordres

au sous-traitant est directement retransmise au deuxième niveau de la chaîne d'approvisionnement. Cela a pour effet, au plan opérationnel, qu'on ne peut pas considérer l'optimisation du deuxième niveau de façon indépendante. Ainsi, le tableau suivant montre la solution qui sera envisagée pour l'implantation. En effet, la politique énoncée précédemment doit être considérée dans l'implantation d'un nouveau lotissement. Le tableau 17 montre la situation calculée en fonction de l'ajout de la politique d'inventaire zéro dans le réseau.

Tableau 17 : Ajout des politiques du réseau dans le calcul du lotissement

	Donneur d'ordres	Sous-traitant	Fournisseur MP	Totaux
EOQ donneur d'ordre	\$ 42 388	\$ 592 084	\$ 238 288	\$ 872 761
JELS donneur d'ordre	\$ 68 602	\$ 303 032	\$ 123 012	\$ 494 647
solution négociée	\$ 42 388	\$ 329 246	\$ 123 012	\$ 494 647

En n'effectuant l'optimisation que sur le premier niveau (donneur d'ordres et sous-traitant) et en imposant ce lotissement conjoint au deuxième niveau (sous-traitant et fournisseur de matières premières) pour éliminer l'inventaire chez le sous-traitant, il semble que l'adoption d'un lotissement coopératif soit encore souhaitable. En effet, on observe une diminution des coûts de 44 % chez le sous-traitant et de 48 % chez le fournisseur de matières premières. Les coûts globaux passeraient de 872 761 \$ à 494 647 \$, ce qui représente une réduction de 43 %.

Pour conclure ce chapitre, il semble que la situation optimale soit l'adoption du lotissement économique conjoint, tant sur l'échange entre le donneur d'ordres et le sous-traitant que sur l'échange entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières. De plus, comme le montre l'étude des coûts, en raison de la politique d'inventaire zéro chez le sous-traitant, il faut forcer la commande du lotissement économique conjoint de la relation du donneur d'ordres et du sous-traitant dans la relation entre le fournisseur de matières premières et le sous-traitant. La diminution des

coûts est toutefois moins importante, mais demeure intéressante. Par rapport à la situation actuelle, il en résulte une amélioration notable selon l'étude des coûts. Le tableau 18 montre les résultats de cette amélioration.

Tableau 18 : Résumé des coûts selon les politiques

	Donneur d'ordres	Sous-traitant	Fournisseur MP	Totaux
Situation actuelle	\$ 42 388	\$ 592 084	\$ 238 288	\$ 872 761
Avec la politique d'inventaire zéro dans le réseau	\$ 42 388	\$ 329 246	\$ 123 012	\$ 494 647
Sans la politique d'inventaire zéro dans le réseau	\$ 42 388	\$ 264 234	\$ 50 650	\$ 355 250

La situation la plus souhaitable en ce qui concerne les coûts est l'adoption du lotissement conjoint. Tel que mentionné précédemment, en considérant la politique d'inventaire zéro chez le sous-traitant, on peut envisager une réduction possible de 43 % des coûts. Sans la contrainte que représente cette politique, la réduction serait de l'ordre de 59 %. Cette politique coûte au réseau plus de 139 000 \$ (494 647 \$ - 355 250 \$) pour les tables. Cependant, l'analyse n'est pas aussi simple. La politique d'inventaire zéro s'imbrique dans la philosophie du juste-à-temps. Le fait de ne pas maintenir de l'inventaire inutilement comporte des gains qui ne sont pas calculés dans ces formules. Un simple constat basé sur l'approche monétaire du lotissement et qui ne considère pas les avantages indirects du juste-à-temps (comme le gain d'espace, la réduction des inventaires et du temps de passage) est fait dans cette section.

## 4.2 Lotissement global

Un autre calcul, celui d'un lotissement incluant toutes les contraintes du réseau, nommé «lotissement global», peut être effectué et permet de réaliser une autre comparaison

intéressante. En effet, en plus de considérer les contraintes de production du sous-traitant, il peut s'avérer économiquement intéressant d'inclure dès le départ le coût de mise en course du fournisseur de matières premières et le coût de transport entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières. Les résultats montrent que ce calcul n'est pas optimal. Le tableau 19 résume les résultats obtenus.

Tableau 19 : Comparaison des coûts du lotissement global

	Donneur d'ordre	Sous-traitant	Fournisseur MP	Totaux
EOQ donneur d'ordres	\$ 42 388	\$ 592 084	\$ 238 288	\$ 872 761
Lotissement global	\$ 72 425	\$ 377 108	\$ 120 530	\$ 570 064
Lot conjoint avec politique réseau	\$ 42 388	\$ 329 246	\$ 123 012	\$ 494 647

Il appert que la solution globale offre une solution sous-optimale par la méthode de calcul. La solution obtenue est intéressante avec un coût global de 570 064 \$. Cependant, l'optimisation de chacun des échanges semble plus profitable que la simple optimisation globale. Il faut dire que la formule n'est pas faite pour l'optimisation sur plusieurs niveaux, mais bien pour un seul niveau entre un ou plusieurs partenaires.

### 4.3 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'analyse des coûts de la chaîne d'approvisionnement qui ont été évalués systématiquement. De plus, un autre lotissement qui inclut tous les coûts de la chaîne a été testé. Il apparaît que la solution négociée reste la meilleure solution. Le fait de forcer une politique d'inventaire zéro semble désavantageux selon les formules utilisées. Cependant, il ne faut pas oublier que ces formules n'incluent pas les gains liés à la philosophie du juste-à-temps.

# CHAPITRE V : MODÈLE DE SIMULATION

---

## 5.0 Introduction<sup>1</sup>

Le modèle utilisé a été développé pour la chaire industrielle de recherche sur le meuble (CIRM). Le mandat était de construire un modèle de simulation sur ARENA qui puisse être suffisamment proche de la réalité et flexible pour valider les changements proposés et pour qu'il soit utilisé comme outil d'étude dans des recherches futures. Ainsi, un simple survol des possibilités de l'outil sera décrit dans les prochaines lignes. Dans cette simulation, 60 modèles de tables sont à l'étude, chacun possédant de trois à cinq panneaux. Un panneau est une surface de bois dans lequel on machine un chant(*edge*) pour lui donner la forme d'une table. Ces 60 modèles de tables représentent les tables décrites précédemment et l'information sur la consommation, les niveaux d'inventaire, le temps de traitement et les quantités commandées proviennent de données réelles ; Ils sont d'abord regroupés en 15 familles basées sur leur similitude de longueur. Ce regroupement facilite la gestion de l'information, car lorsque l'on remonte au deuxième niveau de la chaîne d'approvisionnement, soit à l'étape du fournisseur de matières premières, le suivi de la commande se fait en fonction de la longueur commandée et de la qualité requise. Pour cette étude, la qualité requise pour la matière première est la même pour tous les produits alors ce critère n'a pas été retenu pour discriminer les produits.

Dans un premier temps seront définis les divers types de nœuds utilisés dans le modèle. Un nœud est un élément de base servant à la construction d'un graphe de scène, utilisé pour définir la forme et les propriétés des objets(entités). Une entité est un élément représentant un phénomène (personne, concept, événement) qui peut être traité comme une unité indépendante ou un membre d'une catégorie particulière et à

---

<sup>1</sup> Ce chapitre a été écrit en collaboration avec David Nobert, étudiant à la maîtrise de l'Université du Québec à Trois-Rivières et membre de la Chaire industrielle de recherche sur l'industrie du meuble.

propos duquel des données peuvent être stockées. Ensuite, on retrouvera une description des modules qui représentent la gestion de la chaîne d'approvisionnement dans le réseau. Pour terminer, une discussion sera réalisée sur la validation du modèle pour évaluer la faisabilité de l'implantation.

### 5.0.1 Le nœud Create

Le nœud « Create » permet de générer des entités dans le réseau. Les principales variables devant être fixées sont le temps inter-arrivée des entités ainsi que le nombre de ces dernières par arrivée.

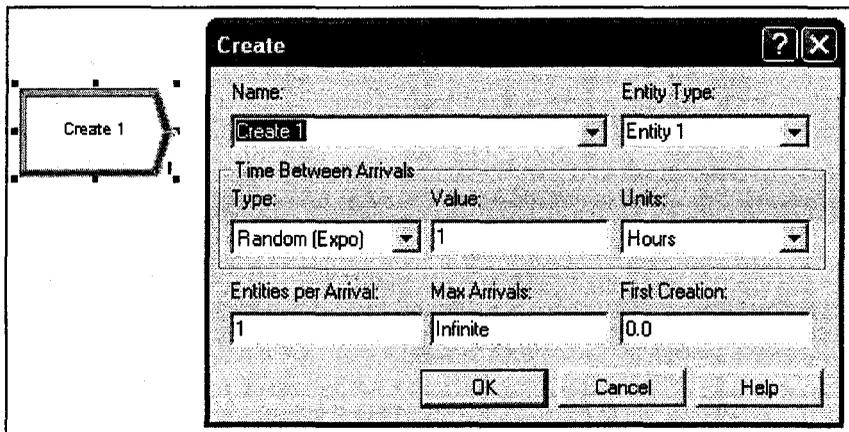


Fig 5 : Arena, nœud CREATE

### 5.0.2 Le nœud Process

Le nœud « Process » sert à créer des délais lors du passage des entités. On peut soit simplement retarder les entités pendant une période de temps, soit attribuer une ressource aux entités. Des délais sont imputés relativement au temps d'attente pour les ressources et au temps nécessaire pour traiter les entités.

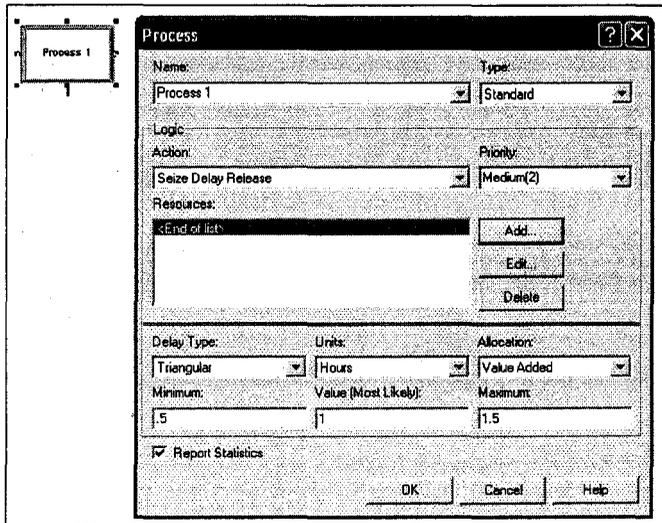


Fig 6 : Arena, nœud PROCESS

### 5.0.3 Le nœud Match

Le nœud « Match » est composé de deux à quatre entrées. Les entités y entrent et y sont retenues jusqu'au passage de l'une ou des trois autres. Ce nœud permet, entre autres, de regrouper les entités possédant les mêmes caractéristiques. Par exemple, il est utilisé pour associer un bon de commande avec de la matière requise.

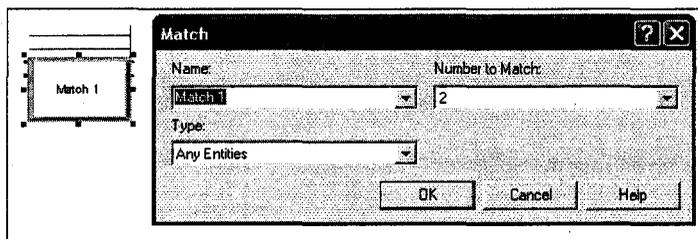


Fig 7 : Arena, nœud MATCH

### 5.0.4 Le nœud Decide

Le nœud « decide » permet de diriger les entités selon deux types de règles, soit la règle probabiliste, soit la règle par condition.

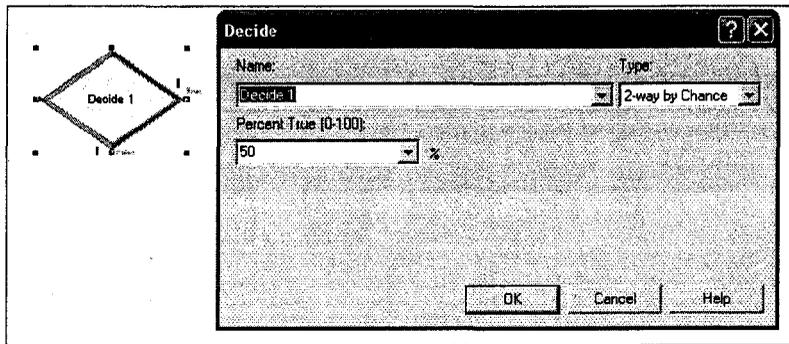


Fig 8 : Arena, noeud DECIDE

### 5.0.5 Le noeud Hold

Le noeud « Hold » retient les entités et relâche ces dernières de deux manières. Soit par le respect de conditions, soit par l'envoi d'un signal. Par exemple, on peut relâcher des entités si le niveau d'inventaire devient trop bas ou si l'utilisation d'équipement devient trop faible.

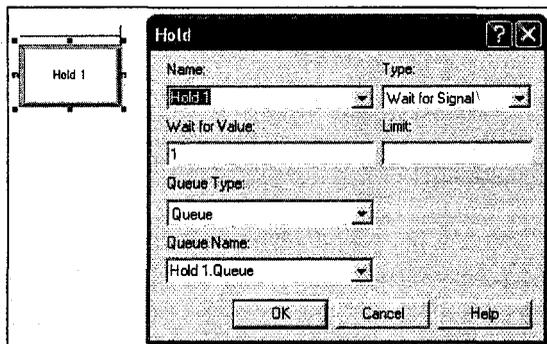


Fig 9 : Arena, noeud HOLD

## 5.1 Le modèle

Le modèle est composé de 5 modules ayant chacun des fonctions distinctes :

1. génération des commandes consommatrices de composants
2. gestion de l'inventaire chez le donneur d'ordres
3. émission des commandes dans le réseau de sous-traitants
4. traitement des commandes chez les sous-traitants
5. gestion de l'inventaire chez le fournisseur des sous-traitants.

### 5.1.1 Génération des commandes

Les commandes générées représentent les besoins en dessus de tables pour une période de temps de 10 000 heures. Une analyse statistique a été réalisée sur l'historique de consommation de composantes prêtes à être assemblées. Un temps inter-arrivée global a été déterminé pour l'ensemble de ces dernières. Dès qu'une entité est générée, elle passe dans un module qui lui attribue statistiquement une caractéristique de grandeur et de type de chant(*edge*).

La simulation vise à étudier le comportement du réseau d'approvisionnement suivant différentes stratégies de lotissement. En ce sens, il n'est pas pertinent de s'attarder sur l'arrivée de commandes clients du donneur d'ordres. Les commandes circulant dans le modèle de simulation représentent les ordres de fabrication lancées par le donneur d'ordres à ses sous-traitants et les ordres de fabrication lancées par les sous-traitants au fournisseur de matières premières.

Pour simuler la consommation des dessus de tables chez le donneur d'ordres, des entités sont créées à l'aide d'un nœud « Create ». Le temps inter-arrivée de ces dernières a été déterminé à l'aide de l'historique de consommation. Le temps inter-arrivée n'est pas fixe, il correspond à une loi normale de 9 minutes de moyenne avec un écart type de 2 minutes. La loi normale est utilisée étant donné que le nombre de commandes générées est beaucoup plus grand que mille.

### 5.1.2 La gestion de l'inventaire

Les inventaires sont représentés par les entités présentes dans les files d'attente des nœuds « Match ». Ces derniers disposent de deux entrées, donc de deux files d'attente, l'une pour les bons de commandes et l'autre, pour les composantes physiques. Chaque entité est emmagasinée dans sa file d'attente et ne peut être

relâchée que si une autre, correspondant aux mêmes caractéristiques (code de produit, famille, numéro de commande), est présente dans l'autre file d'attente du même nœud. Les deux entités sont alors relâchées simultanément, mais selon un parcours distinct pour chacune. Ce processus est le même que dans la réalité; en effet, on réserve de l'inventaire en fonction d'une commande client.

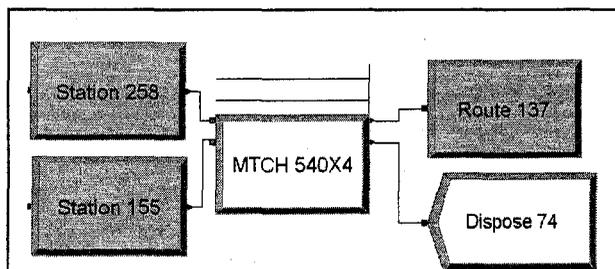


Fig 10 : Module d'inventaire pour les dessus de table 540X4

Dans l'exemple présenté à la figure 10, les besoins en panneaux (demandes clients) arriveront de la station 258 et seront dirigés vers la route 137. Les dessus de tables proviendront de la station 155 et seront acheminés vers la file d'attente numéro 2. Dans un système fonctionnant en assemblage sur commande, les dessus de table physiques sont entreposés dans la file d'attente numéro 2, en attendant les commandes pour être relâchés. Si aucun panneau n'est disponible pour une commande, cette dernière attendra dans la file d'attente numéro 1 et sera considérée comme une pénurie. Les files d'attentes sont représentées par les deux lignes au-dessus du nœud « MTCH 540X4 ».

Après avoir été réunis, le panneau et la commande quittent le nœud « match » en suivant deux chemins distincts. Le panneau est directement acheminé dans un nœud « dispose » pour y être détruit et la commande est envoyée au donneur d'ordres pour que le produit y soit assemblé, teint, emballé, entreposé et expédié chez le client. Il n'est pas nécessaire de conserver l'entité « panneau » pour la simulation. En effet, son temps de passage est colligé dans l'étape précédant le module d'inventaire, qui correspond au moment où la commande arrive chez le donneur d'ordres.

### 5.1.3 Émission des commandes fournisseurs dans le réseau

Les commandes fournisseurs sont gérées selon la stratégie de fabrication pour stock et sont générées en fonction de l'atteinte d'un certain niveau. Le mot commande fournisseur est utilisé pour décrire une commande qui part du donneur d'ordres et qui remonte dans la chaîne d'approvisionnement. Le niveau est propre à chaque item et dépend de la consommation anticipée et du délai de réapprovisionnement des produits. La taille des lots des commandes est déterminée en fonction du niveau d'inventaire moyen désiré. Cette variable influence grandement les coûts globaux à l'intérieur du réseau.

L'émission des commandes fournisseurs est faite en deux étapes. La première est le déclenchement du besoin chez le donneur d'ordres. Un signal de besoin de panneaux est généré. La deuxième étape consiste à regrouper, une fois par semaine, les besoins sous forme de commandes. À cette étape, on réunit les produits ayant des chants(*edge*) de types 1 et 2 ensemble de même que les produits ayant un chant(*edge*) de types 3 ou 4. Cette opération a pour but de tenir compte des mises en courses. En effet, chez le sous-traitant, ces dernières ne sont effectuées qu'une seule fois par famille. La figure 11 illustre le module de génération des commandes pour les items traités en assemblage sur commande.

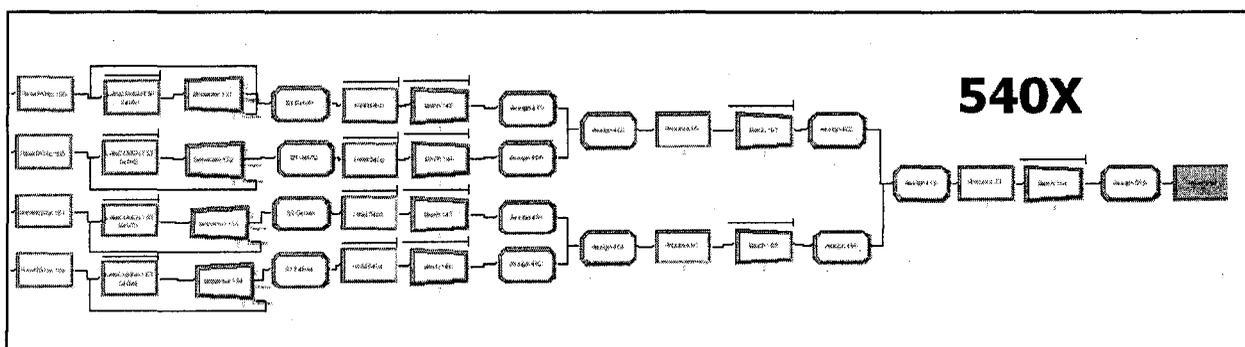


Fig. 11 : Module d'émission des bons de fabrication pour les items gérés en MTS

L'atteinte d'un certain niveau de commande peut ne pas suffire pour le déclenchement des commandes de panneaux. Ainsi, le nombre d'items en commande et le nombre de pénuries doivent aussi être pris en compte.

Le lancement des commandes se fait à l'aide d'un nœud « hold » dont la condition de relâchement de l'entité est représentée par l'équation suivante :

$$\text{éq.14 : } \mathbf{NQ(MTCH\ 400X1.Queue2)+CMD\ ST\ (37,1) - NQ(MTCH\ 400X1.Queue1) \leq PTCOM(37,1) \ \&\&\ MTS\ O(REF,1)=1}$$

$NQ(MTCH\ 400X1.Queue2)$  représente l'inventaire de composante.  $CMD\ ST\ (37,1)$  est le nombre de commande en cours de fabrication dans le réseau.  $NQ(MTCH\ 400X1.Queue1)$  est le nombre d'items en souffrance.  $PTCOM(37,1)$  est le point de commande et  $MTS\ O(REF,1)$  est le type de production propre au produit. Ce dernier sert à déterminer si le produit est en production pour inventaire ou sur commande. Cette équation se lit donc comme suit : L'inventaire de composantes plus les commandes en cours de fabrication dans le réseau moins le nombre d'items en souffrance peut être inférieur ou égale au point de commande. Si cette condition est satisfaite, la commande est déclenchée.

#### 5.1.4 Traitement des commandes chez les sous-traitants

Les sous-traitants du réseau étudié ne disposent pas tous de ressources spécialisées en gestion. Les commandes sont reçues par fax et simplement empilées pour n'être ensuite étudiées qu'une fois par semaine. La quantité de matières premières à commander pour honorer ces commandes fait alors l'objet d'un calcul et une planification sommaire de la production s'ensuit.

Le réseau étudié a récemment été l'objet d'une cartographie de la chaîne de valeur<sup>2</sup>. Les délais administratifs ont été observés et colligés. Le temps d'attente des commandes entre leur arrivée dans le fax jusqu'à leur mise en production a été établi en relation avec ces informations. Les résultats sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Résultats de la cartographie

STRATÉGIE		TEMPS (JOURS)		
		MIN	MED	MAX
Fabrication	sur	1	3	9
commande				

La cartographie a permis d'identifier les principaux points d'amélioration possibles afin de réduire au minimum l'attente des commandes dans le fax.

Une fois la commande prise en charge par le sous-traitant, celui-ci transmet une commande de matières premières chez le fournisseur de panneaux. Les quatre types de chants(edge) d'une même famille de modèle de table nécessitent le même panneau. Le regroupement des commandes de panneaux en familles est effectué avant l'envoi. Au moment de la réception des panneaux chez le sous-traitant, les panneaux bruts sont mis en production selon un système FIFO (premier arrivé, premier servi). Les sous-traitants disposent de technologies variées de sorte que les méthodes de fabrication ainsi que les temps d'opération des équipements diffèrent.

### 5.1.5 Gestion des panneaux en fabrication pour stock

La mécanique de simulation utilisée pour représenter la gestion des panneaux sur stocks s'apparente beaucoup à celle utilisée dans le module de gestion des inventaires. En effet, les bons de commande provenant des sous-traitants sont acheminés dans des

<sup>2</sup> Chaire industrielle de recherche sur l'industrie du meuble, 2006

nœuds de type « Match ». Ces derniers ne peuvent continuer leur course que s'ils sont jumelés à des entités de type panneaux. La figure 12 illustre cette situation.

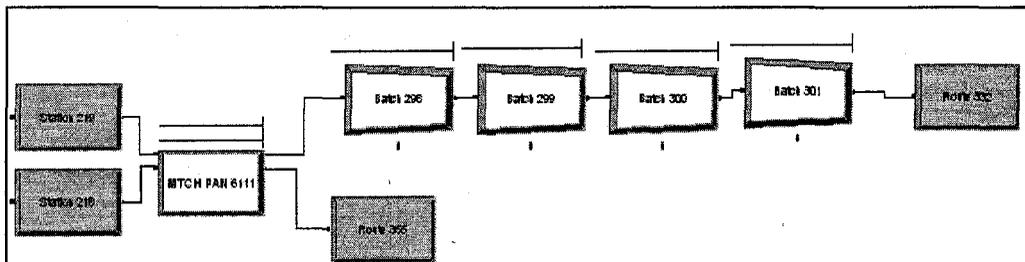


Fig. 12 : Association de la matière avec la commande

Les commandes provenant des sous-traitants arrivent par la station 219 (coin gauche supérieur) tandis que les panneaux physiques arrivent par la station 218 (coin gauche inférieur). Les bons de commandes sont jumelés dans le nœud match avec le nombre de panneaux requis, un à un. Ils sont ensuite regroupés selon la taille du lot commandé, du nombre de lots présents dans la commande, du nombre de commandes des chants 1-2 et 3-4 ensemble et en fonction de la famille. Le tout est ensuite envoyé à l'expédition.

La consommation des panneaux se fait en continu et, lorsque le point de passation de commande est atteint, un bon de fabrication est émis et la production d'un lot de panneaux est lancée. La figure 13 est une impression d'écran du module d'émission des bons de fabrication à l'usine de panneaux.

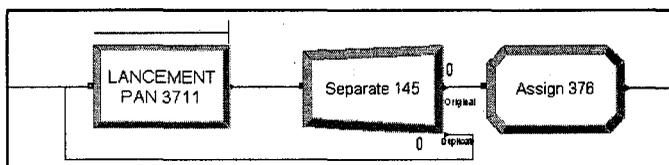


Fig. 13 : Émission des bons de fabrication

Le premier nœud, à l'extrême gauche, est un nœud de type Hold. Ce dernier ne relâche les entités s'y trouvant que si certaines conditions sont respectées. Dans le cas de la gestion des commandes de panneaux, lorsque le niveau d'inventaire passe sous la

valeur critique du point de commande, une entité est relâchée. Elle se dirige alors vers le nœud de type Separate. Ce dernier sert à multiplier les unités y passant. La commande originale poursuit son chemin vers l'usine de fabrication de panneaux, pendant que le duplicata est envoyé dans un nœud Hold, en attendant que le niveau de l'inventaire descende sous le point de passation de commande. Ce module a comme objectif de générer une commande au moment voulu, en fonction d'une condition, alors que le nœud Create n'avait pas cette flexibilité.

La fabrication d'un panneau est divisée en 4 étapes soit : le délignage, le jumelage, le collage et le sablage. Toutes ces étapes sont, pour le moment, réalisées dans le cadre d'un aménagement de type départemental. Les commandes sont traitées en lots de fabrication et transférées d'un poste à l'autre sur des convoyeurs. La figure 14 illustre la modélisation de la fabrication des panneaux.

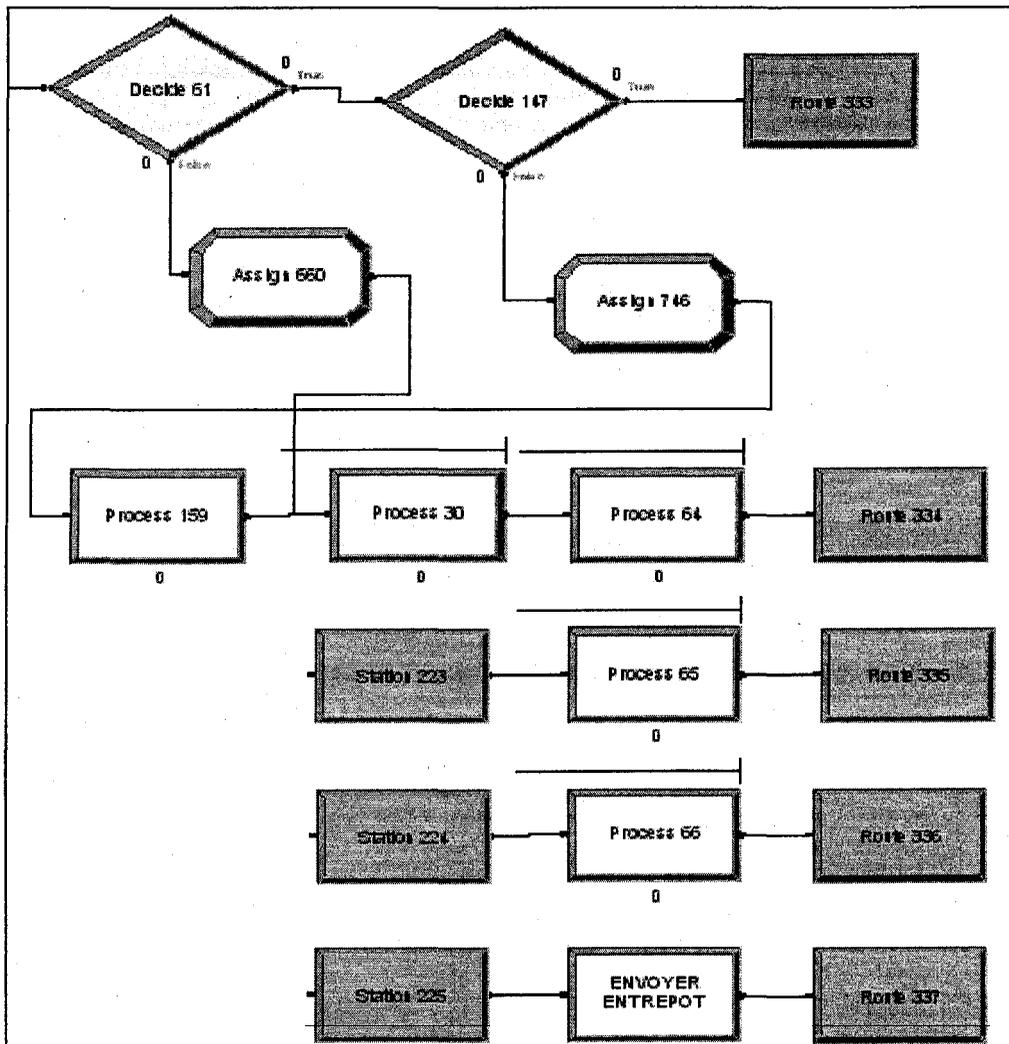


Fig.14 : Usine de fabrication de panneaux

## 5.2 La validation du modèle

La chaîne d'approvisionnement que l'on veut modéliser est, somme toute, assez complexe. En ce sens, la validation du modèle sera faite en fonction de deux axes : la fiabilité et la représentativité. La fiabilité servira à déterminer si le modèle se comporte selon ce pour quoi il a été conçu. Lors de cette étape seront recueillies les statistiques provenant du modèle pour être comparées aux données anticipées. Par exemple, si le modèle a fonctionné pendant trois heures et qu'une entité par heure devait être produite, il faudra s'assurer que le système a bel et bien généré trois entités.

La validation de la représentativité est aussi très importante. Les données générées dans le rapport seront comparées avec celles observées dans la réalité en fonction des mêmes paramètres.

### 5.2.1 Le régime permanent

L'atteinte du régime permanent est absolument nécessaire pour tirer quelque conclusion que ce soit sur le réseau. En effet, on ne peut analyser un système n'étant pas à son point d'équilibre. Le modèle de simulation a donc été conçu pour être initialisé avec un inventaire de départ de manière à réduire le temps d'atteinte du point d'équilibre.

Le réseau étudié est complexe et comporte des éléments pouvant entraîner de grandes fluctuations de certains paramètres. Ces fluctuations ne représentent pas un signe d'instabilité du système dans la mesure où elles se répètent et que leur amplitude ne suit pas une croissance.

La mesure de l'atteinte du régime permanent s'est faite à l'aide du nombre de commandes et d'encours présents dans le système. Un nombre d'encours et de commandes dont les variations sont relativement stables indique que le système est en équilibre. La figure 15 montre la variation du nombre d'entités dans le réseau de simulation en fonction du temps. Chacune des trois premières courbes représente l'un des membres du réseau (donneur d'ordres, sous-traitant, fournisseur de matières premières) tandis que la quatrième courbe indique la quantité de commande dans le réseau. Comme le montre la figure 15, la stabilité dans la variation de chacune des courbes permet de statuer sur l'atteinte du régime permanent.

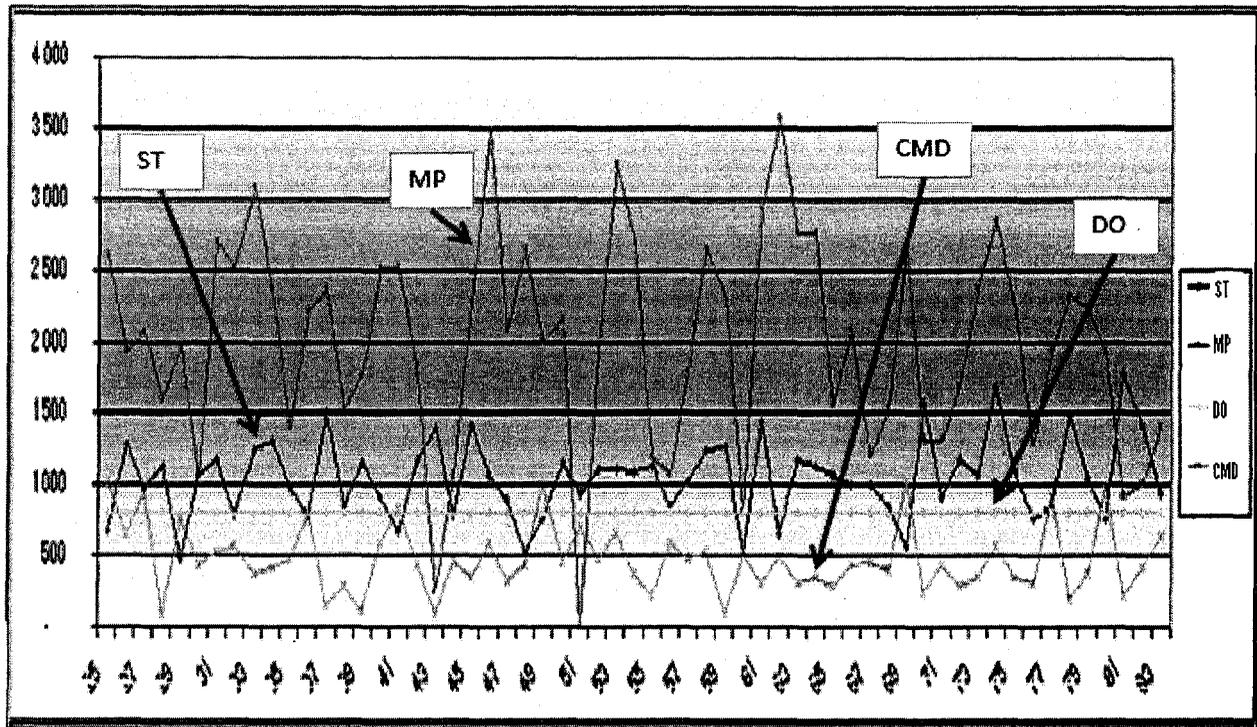


Fig.15 : Régime permanent

### 5.2.2 La vérification

La vérification se fera par rapport au nombre de commandes, au nombre de dessus de tables produits ainsi que sur le respect des proportions.

#### 5.2.2.1 Le nombre de commandes

Un des premiers paramètres à vérifier est la génération du nombre de commandes de dessus de tables créés. Le modèle prévoit un temps inter-arrivée suivant une loi normale  $N(9,2)$  où 9 est la moyenne et 2 l'écart type. Étant donné que le modèle fonctionne pendant 10 000 heures dont 3 000 servent à initialiser ce dernier, le nombre d'entités créées pendant la simulation devrait suivre cette relation :

$$\frac{9 \text{ min}}{\text{Commande}} * \frac{1 \text{ heure}}{60 \text{ min}} = 0,15 \text{ heure / Commande}$$

$$\frac{7000 \text{ heures}}{\text{Simulation}} * \frac{1 \text{ Commande}}{0,15 \text{ heure}} = 46667 \text{ Commandes / Simulation}$$

Selon le rapport fourni par le logiciel de simulation, le bon nombre d'unités créées a été atteint.

#### 5.2.2.2 Le nombre de dessus de tables produits

Afin de tomber rapidement en régime permanent et ainsi réduire le temps d'atteinte du point d'équilibre, le modèle débute avec des inventaires de dessus de table et de panneaux. Le niveau de ceux-ci a été déterminé en fonction du point de commande. Ainsi, on insère une quantité représentant 120% du point de commande dans les inventaires de dessus de tables pour qu'au début de la simulation, aucun modèle de tables ne soit sous le niveau d'inventaire visé.

Le système étant en équilibre, il doit produire en moyenne le même nombre de dessus de tables qu'il en sort par les commandes. Le nombre de commandes générées par semaine dans le système est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\frac{120 \text{ heures}}{\text{Semaine}} * \frac{1 \text{ Commande}}{0,15 \text{ heure}} = 800 \text{ Commandes / Semaine}$$

Le nombre de composantes produites est comptabilisé à l'aide de rapports générés dans des feuilles de calcul Microsoft Excel. Le tableau 21 résume la quantité de dessus de tables consommés en moyenne par semaine, produits dans le réseau et les panneaux mis en production chez le fournisseur de matières premières.

Tableau 21 : Quantité moyenne d'entités générées dans le réseau

Consommation Usine d'assemblage ( modèle / semaine)	Production Réseau ( modèle / semaine)	Production Usine de matières premières ( modèle / semaine)
800	797,4	794,9

Les faibles différences peuvent s'expliquer par les variations des inventaires au début et à la fin. Toutefois, ces dernières ne sont pas représentatives. On peut conclure à la fiabilité du modèle de simulation.

### 5.2.2.3 Le respect des proportions

La création des commandes se fait en cascade. En effet, à l'instar d'un plan directeur de production, on insère dans le réseau des commandes dites équivalentes. Le temps inter-arrivée de ces dernières est déterminé en fonction de la consommation globale du réseau. On attribue alors aux commandes une identité propre, en fonction de lois probabilistes basées sur les données historiques. Par exemple, lorsqu'une commande équivalente est créée, elle se dirige vers un nœud de type « Decide » dans lequel on retrouve une branche d'entrée et quinze branches de sortie. Chacune d'elles est empruntée selon une probabilité établie en fonction de la famille de produits. On affecte donc à la commande sa famille et elle poursuit alors son parcours jusque dans un autre nœud « Decide ». Celui-ci sert à créer l'identité de la commande en termes de chant.

L'attribution d'identité de produit aux commandes se fait en cascade, et la probabilité de retrouver un produit est calculée en multipliant les probabilités menant à sa création. Par exemple, si la famille 364X représente 10% des produits commandés, et que dans cette

famille, les chants de type « 1 » représentent 50% des commandes, 5% de toutes les commandes passées devraient être des items 3641.

En utilisant les données tirées du rapport du modèle de simulation, une quantité de commandes créées a été identifiée pour chaque type de produit. À l'aide d'un chiffrier Microsoft Excel, ces données ont été transformées en proportions avant d'être comparées à celles attendues, c'est-à-dire les pourcentages issus de la multiplication des probabilités inhérentes à la création de chaque famille et sous-famille. L'erreur maximale observée est de 0,29% et la moyenne se situe à 0,004%. À la lumière de ces résultats, on peut affirmer que le modèle crée les commandes suivant les bonnes proportions.

En ce qui concerne les divers temps de passage dans le réseau, ils sont conformes avec l'étude réalisée par le CIRM en 2006. Quant au nombre de pénuries, dans la réalité, il est négligeable. Le modèle représente bien cette réalité en ne générant que très peu de pénuries attribuables au modèle probabiliste.

## **5.4 Conclusion**

Ce chapitre a décrit un modèle de simulation qui représente la réalité. La fiabilité et la représentativité ont été validées. Les proportions tant au niveau de la demande par modèle de table que sur les temps de passage ont été respectées. Il reste à inclure les calculs de lotissement du chapitre précédent et en valider l'impact opérationnel. Le chapitre suivant analysera d'un point de vue opérationnel les résultats obtenus par le modèle de simulation. La limite de validité du modèle est sur la demande. Tant et aussi longtemps que la demande ne changera pas, le modèle restera valide. Si ce paramètre est modifié, il faudra refaire les tests de validation.

# CHAPITRE VI : ANALYSE OPÉRATIONNELLE

---

## 6.0 Introduction

Cette section présente l'analyse que l'on peut effectuer suite à l'observation de la manière dont le modèle de simulation a réagi en fonction des changements dans les politiques de lotissement. Les éléments étudiés prennent en compte le nombre de commandes passées dans le système, le nombre d'heures de mise en course, le nombre de pénuries et la variation de l'effet coup de fouet. Pour ce qui est du nombre d'heures de mise en course, seule la machine goulot de la chaîne d'approvisionnement fait l'objet d'une simulation. Le temps libéré sur cette machine offre des gains réels. En ce qui concerne la politique d'inventaire zéro chez les sous-traitants, même si l'analyse précédente montre un avantage évident à laisser un peu d'inventaire entre l'usine de matières premières et le sous-traitant pour permettre l'adoption de leur propre lotissement conjoint, cette politique sera respectée. En effet, les résultats présentés ultérieurement considéreront le fait que c'est le lot retenu par l'échange entre le sous-traitant et le donneur d'ordres qui primera et qui sera transmis en commande au niveau suivant.

## 6.1 Analyse opérationnelle

Les quatre indicateurs mentionnés au début de ce chapitre serviront de base de comparaison pour la politique de quantité économique de commande et du lotissement économique conjoint. Dans la section d'analyse précédente, le lotissement économique conjoint présentait des avantages marqués selon l'étude de coût. Il faut valider maintenant si ces gains sont véritables d'un point de vue opérationnel par simulation.

### 6.1.1 Nombre de commandes

Pour ce qui est de la quantité de commande passées dans le système, les résultats obtenus sont présentés à la figure 16 :

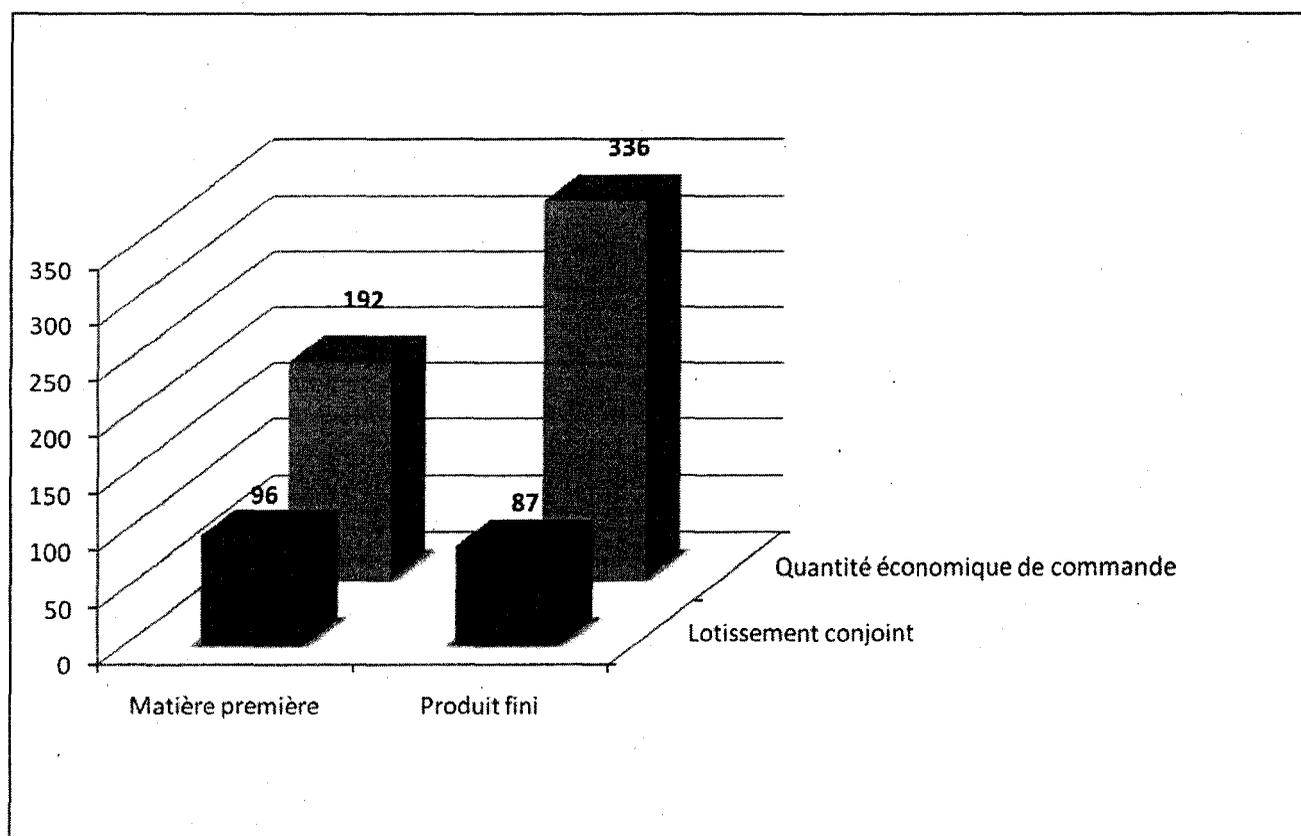


Figure 16 : Nombre de commande par année

Comme le montre le graphique précédent, la quantité de commande dans le système diminue de 50 % en ce qui a trait à la matière première et de près de 75 % pour les commandes de réapprovisionnement du donneur d'ordres. Il s'agit d'une observation logique car la quantité par commande se multiplie par environ trois fois grâce à l'adoption du lotissement économique conjoint. La lourdeur administrative étant un facteur à prendre en ligne de compte, la réduction du nombre absolu de commandes

présente un avantage certain dans le but de diminuer le risque d'erreur et le nombre de modifications de commande faites dans une chaîne d'approvisionnement.

### 6.1.2 Nombre d'heures en temps de mise en course

En ce qui a trait au nombre d'heures en temps de mise en course sur la machine goulot(CNC) de la chaîne d'approvisionnement, la figure 17 en présente les résultats :

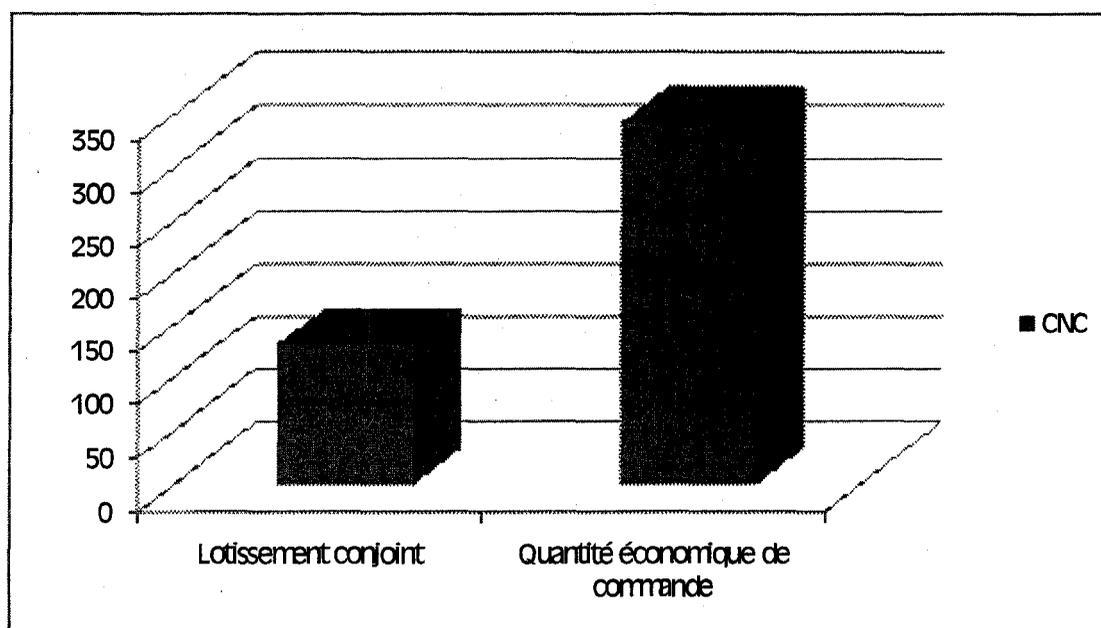


Figure 17 : Mise en course (heure) par année

À la lumière de ces résultats, une réduction de 60 % des heures passées en mise en course peut théoriquement être envisagée. Encore une fois, en pratique, le résultat pourra être légèrement moindre. Cependant, passer d'une politique d'approvisionnement par quantité économique de commande à celle d'approvisionnement par lotissement conjoint permet d'envisager plus de 200 heures additionnelles en capacité dans le réseau sur la machine goulot.

### **6.1.3 Pénuries**

Pour ce qui est du nombre de pénuries, celui-ci apparaît négligeable dans la situation actuelle et le demeure quelque soit la politique retenue. En utilisant une politique de quantité économique de commande, il se produirait un manque d'un produit fini quatorze fois par 10 000 heures ouvrables, équivalent à cinq années de production. Par contre, l'utilisation d'une politique de lotissement économique conjoint, réduirait ce nombre à seulement trois par 10 000 heures ouvrables.

Au chapitre III, un point était soulevé à l'effet que si le nombre de pénuries variait drastiquement, il faudrait envisager une modification du pourcentage sur le coût de maintien en inventaire. À la lumière de ces résultats, il ne semble pas nécessaire de faire un réajustement du paramètre.

### **6.1.4 Effet coup de fouet**

Le dernier indicateur d'analyse retenu est l'effet coup de fouet. Les résultats que la simulation laisse entrevoir sont présentés à la figure 18 :

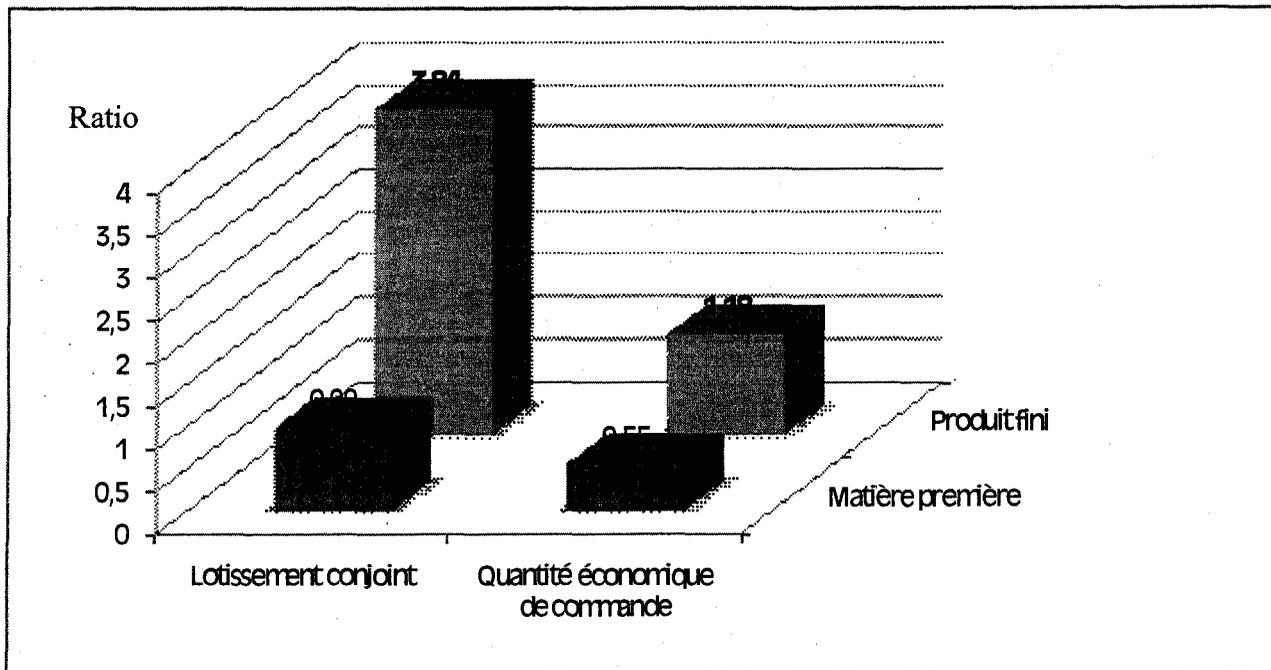


Figure 18 : Effet coup de fouet

L'effet coup de fouet montre un net avantage pour la quantité économique de commandes car les ratios sont inférieurs tant au niveau de la matière première que du produit fini. Le ratio indique l'amplitude que prendra l'effet coup de fouet dans le réseau. Plus le ratio est bas, moins l'effet coup de fouet est ressenti. L'avantage pour la quantité économique de commandes n'est pas surprenant si l'on considère la formule tirée des travaux de Disney et Towill (2003).

$$\text{éq.14 : } \frac{\text{Variance}_{\text{commandefournisseur}} / \text{moyenne}_{\text{commandefournisseur}}}{\text{Variance}_{\text{consommation}} / \text{moyenne}_{\text{consommation}}}$$

À long terme, on peut considérer le système à l'équilibre. Cela permet d'affirmer que la moyenne des commandes fournisseurs et la moyenne de consommation sont égales. Ainsi, l'hypothèse que l'effet coup de fouet représente le ratio des variances sur le long terme est logique. Cependant, dans un but d'exactitude, la présente étude prévoit

l'utilisation de la formule complète pour tenir compte de la légère variation dans les moyennes. D'après cette formule, l'augmentation de la taille du lot génère une plus grande probabilité d'obtenir de plus grandes variations dans la quantité commandée chaque semaine et cet effet a été constaté dans la simulation. Cependant, la plus grande amplitude observée dans le tableau présente un ratio de quatre. On peut en déduire que l'adoption du lot économique conjoint doublerait la variation de la demande dans le réseau. On ne peut pas statuer que le lotissement conjoint augmente de façon drastique l'indice de l'effet coup de fouet, mais il faut garder à l'esprit que cette mesure induira une amplitude significative dans la demande.

Les résultats peuvent sembler contre-intuitifs car l'amplitude diminue lorsqu'on se rapproche de la matière première. Tel que mentionné précédemment, on peut attribuer le premier déphasage entre la demande et le donneur d'ordres directement à la politique de lotissement. Le fait que cet amplitude disparaît au deuxième maillon de la chaîne vient du fait que la taille du lot calculée entre le donneur d'ordres et le sous-traitant est la même que la taille du lot utilisée entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières. De cette façon, l'effet coup de fouet est éradiqué, mais cette solution présente un équilibre inférieur d'un point de vue monétaire.

## 6.2 Conclusion

Dans ce chapitre quatre indicateurs de performance ont servi de base de référence sur les changements effectués dans le modèle de simulation. L'indicateur du nombre de commandes dans le système donne l'avantage à la politique de lotissement conjoint de même que le nombre d'heures de mise en course. Pour ce qui est du nombre de pénuries, les deux lotissements évalués ont des résultats semblables. L'indicateur de l'effet coup de fouet montre qu'il faut prévoir une amplitude de la variation de la demande le long du réseau par l'adoption du lotissement économique conjoint. Il est difficile de statuer sur l'importance relative des gains monétaires versus le désavantage par rapport à l'amplitude des variations dans la chaîne d'approvisionnement.

Considérant le fait que ces deux mesures ne sont pas sur les mêmes unités, la comparaison est impossible pour le moment.

# CONCLUSION GÉNÉRALE ET AVENUE FUTURE DE RECHERCHE

---

Pour conclure, l'objectif de ce mémoire était de calculer un lotissement qui minimiserait les coûts d'opérations d'un réseau. Une revue de littérature sur les réseaux et les chaînes d'approvisionnement a permis de relever l'existence possible d'un lotissement conjoint basé sur la coopération. Cette forme de lotissement a été analysée du point de vue opérationnel et du point de vue des coûts. Sur l'étude opérationnelle, les conclusions sont difficiles à tirer car, bien que le nombre de commandes en absolu diminue considérablement et que le nombre d'heures de disponibilité de la machine goulot augmente, il n'en reste pas moins que l'effet coup de fouet s'accroît, principalement en raison de l'augmentation de la taille du lot. Cependant, les gains envisageables par l'approche monétaire sont tels qu'il est intéressant d'implanter cette solution.

L'analyse de la politique d'inventaire zéro a démontré que cette décision diminue le gain possible car elle empêche le calcul d'un lotissement propre aux deux parties dans l'échange entre le sous-traitant et le fournisseur de matières premières. D'un autre côté, elle diminue l'effet coup de fouet en contraignant le deuxième échange à être parfaitement en phase avec les intervenants du premier. Certains auteurs, Jaber et Bonney (1999), David et Eben-Chaime (2003), Schniederjans et Cao (2000, 2001, 2004) ont exposé les bases de ce problème. Il reste cependant à l'étendre à un concept de réseau en incluant la notion d'effet coup de fouet dans les calculs.

Ainsi, le juste milieu entre le juste-à-temps et le lotissement économique peut justement être l'implantation du lotissement économique conjoint en maintenant la politique

d'inventaire zéro qui éradique les inventaires chez les sous-traitants, ce qui amenuise l'effet coup de fouet.

Sans être explicitement traité dans le cadre de ce travail il existe un aspect ou notion qui mérite tout de même d'être mentionné ; il s'agit de la notion de multiple d'emballage. En effet, l'élaboration d'un multiple d'emballage facilite grandement la coordination entre les intervenants. Peu importe les quantités qui seront échangées, la fixation de la base de transfert de matière permet de réduire le nombre de résidus dans le réseau et aussi de produire selon les contraintes réelles en fonction de la stratégie de production retenue par l'entreprise. La coordination entre la quantité d'emballage de l'usine de matières premières en relation avec la quantité commandée par le donneur d'ordres favorise la synchronisation de la production globale du réseau.

Un des problèmes dans une chaîne d'approvisionnement est l'appréciation de la qualité globale du système. Le multiple d'emballage ne sera efficace que si le taux de rejet est très faible ou si ce taux de rejet est fixe dans le temps. Pour la présente étude le taux de rejet a été considéré nul. Il serait sans doute intéressant d'évaluer certaines politiques qui tiennent compte de l'impact de l'inclusion de la non qualité dans les coûts totaux et d'un point de vue opérationnel.

Parmi les prérequis pour que ces résultats soient effectivement implantés dans l'entreprise, le plus important consiste sans doute dans une implication de la haute direction de chacun des membres du réseau. La formation et l'information des personnes-clés des entreprises concernées avant le début des modifications et le soutien constant pendant toutes les phases de l'établissement du projet sont aussi des facteurs primordiaux et essentiels à l'atteinte des objectifs visés. Les défis seront importants. Qu'il suffise de mentionner, à titre d'exemple, que l'hypothèse voulant que le sous-traitant ait plein accès à l'information pour lui permettre de présenter sa proposition peut s'avérer, dans la réalité, plus difficile qu'il n'y paraît à première vue. En effet, la réalité risque d'être probablement tout autre pour arriver à la modification des règles proposées. Le fait est que la majorité des sous-traitants est constituée de petites

entreprises qui ne peuvent se permettre de payer une personne pour effectuer les calculs nécessaires.

Plus souvent, en pratique, l'implantation du projet demandera probablement qu'une personne ressource provenant du donneur d'ordres aille aider ou effectuer les calculs requis pour le compte des sous-traitants pour un nouveau lotissement et la réalisation des réductions qui s'y rattachent. La confiance entre les diverses parties est donc essentielle. Il faut aussi considérer l'historique des relations entre les entreprises pour arriver à une implantation réussie. En effet, passer d'une relation dans laquelle chacun tente d'optimiser à son propre avantage vers une relation à livres ouverts entre entreprises demande une grande maturité dans les rapports.

Par ailleurs, commencer un projet d'implantation sur une grande échelle dès le départ pourrait s'avérer inapproprié. Une approche par étapes serait sans doute plus recommandable. Il faut modifier le système du donneur d'ordres et des sous-traitants en ce qui a trait à la quantité à commander, fixer les nouveaux prix, s'entendre sur la mise à niveau annuelle lorsque la demande a subi un changement, préparer les espaces physiques qui seront utilisés, former les membres du personnel et leur limite décisionnelle individuelle, etc.

En définitive, le plus difficile n'est pas de démarrer le projet, mais bien de le soutenir à long terme. La nécessité d'un suivi adéquat représente l'élément de réussite le plus critique. Tel que mentionné précédemment, ce projet commence par une famille de produits, pour tester sa faisabilité, et peut ensuite s'étendre jusqu'à la mise en place de nouvelles politiques pour l'ensemble du réseau, lorsqu'il aura fait ses preuves.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Abboud N.E., Jaber M.Y., Noueihed N.A., *Economic lot sizing with the consideration of random machine unavailability time*, Computers & Operations Research 27 (2000) 335-351.
2. Affisco J.F., Paknejad M.J., Nasri F., *Production, manufacturing and logistics Quality improvement and setup reduction in the joint economic lot size model*, European Journal of Operational Research 142 (2002) 497-508.
3. Banerjee A., Burton J.S., *Coordinated vs. independent inventory replenishment policies for a vendor and multiple buyers*, International Journal of Production Economics 35 (1994) 215-222.
4. Banerjee S., Banerjee A., Burton J., Bistline W., *Controlled partial shipments in two-echelon supply chain networks : A simulation study*, International Journal of Production Economics 71(2001) 91-100.
5. Beamon B.M., *Supply chain design and analysis: Models and methods*, International Journal of Production Economics 55 (1998) 281-294.
6. Bhatnagar R., Chandra P., Goyal S.K., *Models for multi-plant coordination*, European journal of operational research 67(1993) 141-160.
7. Braun N., Gautschi T., *A Nash bargaining model for simple exchange networks*, Social Network 28 (2006) 1-23.

8. Burwell T.H., Dave D.S., Fitzpatrick K.E., Roy M.R., *Economic lot size model for price-dependent demand under quantity and freight discounts*, International Journal of Production Economics 48 (1997) 141-155.
9. Bylka S., *Competitive and cooperative policies for the vendor-buyer system*, International Journal of Production Economics 81-82 (2003) 533-544.
10. Cachon G.P., *Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations*, Management Science 51 (2005) 30-44.
11. Cachon G.P., *The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, Pull and advanced-purchase discount contracts*, Management Science 50 (2004) 222-238.
12. Cachon G.P., *Managing supply chain demand variability with scheduled ordering policies*, Management Science 45 (1999) 843-856.
13. Cao Q., Schniederjans M.J., *A revised EMQ/JIT production-run model: An examination of inventory and production costs*, International Journal of Production Economics, 87 (2004) 83-95.
14. Chang H.K., Hong Y., *An extended EMQ model for a failure prone machine with general lifetime distributions*. International Journal of Production Economics 49(1994) 215-233.
15. Christopher M., 1998. Logistics and Supply Chain Management. Strategies for Reducing Cost and Improving Service. Dans H. Stadtler, *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.
16. Corbey M., Jansen R., *The economic lot-size and relevant costs*, International Journal of Production Economics 30(1993) 519-530.

17. Dave D.S., Fitzpatrick K.E., Baker J.R., *An advertising-inclusive production lot size model under continuous discount pricing*, Computers Industrial Engineering vol. 30, no. 1, p. 147-159, 1996  
\*publié aussi dans International Journal of Production Economics 48(1997)141-155
18. David, I., Eben-Chaime M., *How far should JIT vendor-buyer relationships go ?*, International Journal of Production Economics 81-82 (2003) 361-368.
19. Disney S.M., Towill D.R., *On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy*, The International Journal of Management Science 31 (2003) 157-167.
20. Dudek G., Stadlter H., *Negotiation-based collaborative planning between supply chain partners*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 668-687
21. Giannoccaro I., Pontrandolfo P., Scozzi B., *Production, Manufacturing and Logistics: A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains*, European Journal of Operational Research 149 (2003) 185-196.
22. Goh, M., Lim, J.Y.S., Meng, F., *A stochastic model for risk management in global supply chain networks*, European Journal of operational research 182(2007) 164-173.
23. Goyal S.K., *An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem*, International Journal of Production Research, 15(1976) 107-111.
24. Goyal S.K., *A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor: A comment*, Decision Sciences 19 (1988) 236-241.

25. Hill R.M., *The single-buyer integrated production-inventory model with a generalised policy*, European Journal of Operational Research 97 (1997) 493-499.
26. Hong J.-D., Hayya J.C., Kim K. Seung-Lae, *JIT purchasing and setup reduction in an integrated inventory model*, International Journal of Production Research, 30(1992)255-267.
27. Hoque M.A., Goyal S.K., *A heuristic solution procedure for an integrated inventory system under controllable lead-time with equal or unequal sized batch shipments between a vendor and a buyer*, International Journal of Production Economics 102 (2006) 217-225.
28. Hoque M.A., Kingsman B.G., *Synchronization in common cycle lot size scheduling for a multi-product serial supply chain*, International Journal of Production Economics 103 (2006) 316-331.
29. Hoque M.A., Goyal S.K., *On lot streaming in multistage production system*, International Journal of Production Economics, 95 (2005) 195-202.
30. Hoque M.A., Goyal S.K., *An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production-inventory system with capacity constraint of the transport equipment*, International Journal of Production Economics 65 (2000) 305-315.
31. Hoque M.A., Kingsman B.G., *An optimal solution algorithm for the constant lot-size model with equal and unequal sized batch shipments for the single product multi-stage production system*, International Journal of Production Economics 42(1995)161-174.
32. Jaber M.Y., Bonney M., *Lot sizing with learning and forgetting in set-ups and in product quality*, International Journal of Production Economics 83 (2003) 95-111.

33. Jaber M.Y., Bonney M., *Economic lot sizing with learning and continuous time discounting: Is it significant ?*, International Journal of Production Economics 71 (2001) 135-143.
34. Jaber M.Y., Bonney M., *The economic manufacture/order quantity (EMQ/EOQ) and the learning curve: Past, present and future*, International Journal of Production Economics 59(1999)93-102.
35. Jaber M.Y., Bonney M., *Optimal lot sizing under learning considerations: The bounded learning case*, Applied Mathematic Modelling vol. 20, October 1996.
36. Jaber M.Y., Bonney M., *Optimal lot sizing under learning considerations: The bounded learning case*, Applied Mathematic Modelling vol. 20, February 1996.
37. Johnson M.E., Pyke D.F., 2001. Supply Chain Management. Dans H. Stadtler, *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.
38. Keachie E.C., Fontana R.J., *Production lot sizing under a learning effect*, Management Science 13(1966) B102-108.
39. Kelle P., Al-khateeb F., Miller P.A., *Partnership and negotiation support by joint optimal ordering/setup policies for JIT*, International Journal of Production Economics 81-82 (2003) 431-441.
40. Kim T., Hong Y., Chang S.Y., *Joint economic procurement-production-delivery policy for multiple items in a single-manufacturer, multiple-retailer system*, International Journal of Production Economics, received 13 october 2003, accepted 3 june 2005

41. Kim S-L., Ha D., *A JIT lot-splitting model for supply chain management: Enhancing buyer-supplier linkage*, International Journal of Production Economics 86 (2003) 1-10.
42. Landeros R., Lyth D.M., *Economic-lot-size models for cooperative interorganizational relationships*, Journal of Business Logistics 10 (1989) 146-158.
43. Lee W., *A joint economic lot size model for raw material ordering, manufacturing setup and finished goods delivering*, The International Journal of Management Science 33 (2005) 163-174.
44. Lee H.L., Billington C., *Material management in decentralized supply chains*, Operations Research 41(1993) 835-847.
45. Li S.X., Huang Z., A. Ashley, *Improving buyer-seller cooperation through inventory control*, International Journal of Production Economics 43 (1996) 37-46.
46. Lu L., *A one-vendor multi-buyer integrated inventory model*, European Journal of Operational Research 81(1995) 312-323.
47. Meyr H., Wagner M., Rohde J., *Structure of advanced planning systems*. Dans H. Stadler, *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.
48. Meyr H., *Production, manufacturing and logistics Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machine*, European Journal of Operational Research 139 (2002) 277-292.
49. Munson L.C., Rosenblatt J.M., 1998. *Theories and realities of quantity discounts an exploratory study*, Production and Operations Management 7(4), 352-369.

50. Munson C.L., Rosenblatt M.J., Rosenblatt Z., *The use and abuse of power in supply chains*, Business Horizons (1999)
51. Oliver R.K., Webber M.D., 1992, *Supply chain management: Logistics catches-up with strategies*, Dans H. Stadtler, *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.
52. Persson F., Olhager J., *Performance simulation of supply chain designs*, International Journal of Production Research 77 (2002) 231-245.
53. Petrovic D., Roy R., Petrovic R., *Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment*, European Journal of Operational Research 109 (1998) 299-309.
54. Petrovic D., *Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment*, International Journal of Production Economics 71 (2001) 429-438.
55. Porter M.E., *On competition*, A Harvard Business Review Book (1998). Dans H. Stadtler, *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.
56. Potter A., Disney S.M., *Bullwhip and Batching: An exploration*, International Journal of Production Economics 104 (2006) 408-418.
57. Reiner G., *Customer-oriented improvement and evaluation of supply chain processes supported by simulation models*, International Journal of Production Economics 96(2005)381-395.

58. Rives N.W., *On the history of the mathematical theory of games*, History of Political Economy 7(1975)549-565.
59. Salameh M.K., Abdul-Malak M.U., Jaber M.Y., *Mathematical modeling of the effect of human learning in the finite production inventory mode*, Applied Mathematics Modelling Journal 17 (1993) 613-615.
60. Sarmah S.P., Acharya D., Goyal S.K., *Buyer vendor coordination models in supply chain management*, European Journal of Operational Research (2005)
61. Schniederjans M.J., Cao Q., *A note on JIT purchasing vs. EOQ with a price discount: An expansion of inventory cost*, International Journal of Production Economics 65(2000)289-294.
62. Schniederjans M.J., Cao Q., *An alternative analysis of inventory of JIT and EOQ purchasing*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 31(2001)109-123.
63. Siajaji H., Ibrahim R.N., Lochert P.B., *Joint economic lot size in distribution system with multiple shipment policy*, International Journal of Production Economics, 102 (2006) 302-316.
64. Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi E., 2000. Dans E. Fleish, C. Tellkamp, *Inventory inaccuracy and supply chain performance : a simulation study of a retail supply chain*, International Journal of Production Economics 95 (2005) 373-385.
65. Stadler H., *Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges*, European Journal of Operational Research 163 (2005) 575-588.

66. Stadler H., *Theory and methodology Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing*, European Journal of Operational Research 94 (1996) 561-581.
67. Sucky E., *Production, manufacturing and logistics : A bargaining model with asymmetric information for a single supplier-single buyer problem*, European Journal of Operational Research 171 (2006) 516-535.
68. Sucky E., *Inventory management in supply chains: A bargaining problem*, International Journal of Production Economics 93-94 (2005) 253-262.
69. Terzi S., Cavalieri S., *Simulation in the supply chain context: a survey*, Computers in Industry 53 (2004) 3-16.
70. Thomas D.J, Griffin P., *Coordinated supply chain management*, European Journal of Operational Research 94 (1996) 1-15.
71. Toelle R.A., *How not to lot-size*, Production and Inventory Management Journal 37 (1996)8-15.
72. Tomlin B., *Capacity investments in supply chains: Sharing the gain rather than sharing the pain*, Manufacturing & Service Operations Management 5 (2003) 317-333.
73. Trimi S., Lee S.M., Olson D.L., Erickson J., *Alternative means to implement ERP: Internal and ASP*, Industrial Management & Data Systems, vol. 105, no 2, p. 184-192, 2005.
74. Viswanathan S., Wang Q., *Discount pricing decisions in distribution channels with price-sensitive demand*, European Journal of Operational Research 149 (2003) 571-587.

75. Yenisey M.M., *A flow-network approach for equilibrium of material requirements planning*, International Journal of Production Economics, received 12 february 2003, accepted 7 april 2005.
76. Zsidisin, G.A., *Managerial perceptions of supply risk*, Journal of Supply Chain Management 39(2003) 14-25.

# **Annexe A**

## RÉSUMÉ DES SPÉCIFICATIONS DE PRODUITS (DONNEUR D'ORDRES – SOUS-TRAITANT)

Fournisseur	Code de produit	Chant	valeur	Demande annuelle	Coût de passation de commande	Coût de setup
A	████	1	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	2	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	3	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	4	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	1	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	2	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	3	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	4	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	1	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	2	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	3	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	4	\$ 141,76	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	1	\$ 167,68	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	2	\$ 167,68	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	3	\$ 167,68	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	4	\$ 167,68	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	1	\$ 177,80	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	2	\$ 177,80	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	3	\$ 177,80	████	\$ 20,00	\$ 262,50
A	████	4	\$ 177,80	████	\$ 20,00	\$ 262,50
B	████	1	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	2	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	3	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 350,00

B	████	4	\$ 77,90	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	1	\$ 131,87	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	2	\$ 131,87	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	3	\$ 131,87	████	\$ 20,00	\$ 350,00
B	████	4	\$ 131,87	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 167,68	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 106,24	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 78,80	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 78,80	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 78,80	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 78,80	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 165,28	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 165,28	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 165,28	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 165,28	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 57,25	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 57,25	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 57,25	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 57,25	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 91,76	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 91,76	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 91,76	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 91,76	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 125,91	████	\$ 20,00	\$ 350,00

C	████	2	\$ 125,91	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 125,91	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 125,91	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	1	\$ 147,58	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	2	\$ 147,58	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	3	\$ 147,58	████	\$ 20,00	\$ 350,00
C	████	4	\$ 147,58	████	\$ 20,00	\$ 350,00

\*Les codes produits et la demande annuelle sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe B**

## RÉSUMÉ DES SPÉCIFICATIONS DE PRODUITS (FOURNISSEUR DE MATIÈRES PREMIÈRES – SOUS-TRAITANT)

Fournisseur	Code produit	Demande annuelle	Coût de setup du fournisseur de MP	valeur	Coût de setup du sous-traitant
A			110	\$ 60,92	\$ 262,50
A			110	\$ 99,50	\$ 262,50
A			110	\$ 93,54	\$ 262,50
A			110	\$ 147,05	\$ 262,50
B			110	\$ 103,46	\$ 350,00
C			110	\$ 83,73	\$ 350,00
C			110	\$ 83,73	\$ 350,00
C			110	\$ 56,46	\$ 350,00
C			110	\$ 78,73	\$ 350,00
C			110	\$ 77,39	\$ 350,00
C			110	\$ 81,33	\$ 350,00
C			110	\$ 109,68	\$ 350,00

\*Les codes produits et la demande annuelle sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe C**

## CALCUL DE LA QUANTITÉ ÉCONOMIQUE DE COMMANDE ET DES COÛTS POUR LE DONNEUR D'ORDRES(DO) ET LE SOUS-TRAITANT(ST)

Fournisseur	Code produit	de calcul du EOQ	CTA(\$) DO	CTA(\$) ST
A	■	28	434	4148
A	■	27	418	3995
A	■	52	814	7779
A	■	27	415	3973
A	■	71	2007	19195
A	■	31	891	8520
A	■	43	1217	11633
A	■	39	1114	10656
A	■	26	729	6974
A	■	29	809	7735
A	■	47	1323	12650
A	■	16	459	4392
A	■	47	1591	15214
A	■	21	700	6691
A	■	23	761	7279
A	■	19	644	6157
A	■	25	882	8435
A	■	12	411	3934
A	■	13	453	4328
A	■	21	729	6975
B	■	74	1147	13480
B	■	31	482	5665

B	████	42	651	7655
B	████	32	492	5785
B	████	51	1349	15846
B	████	21	559	6566
B	████	22	576	6763
B	████	20	516	6058
C	████	62	2075	24386
C	████	34	724	8502
C	████	37	780	9166
C	████	29	609	7153
C	████	25	521	6118
C	████	26	554	6508
C	████	51	1076	12637
C	████	19	406	4771
C	████	67	1054	12384
C	████	27	431	5058
C	████	26	411	4830
C	████	25	387	4551
C	████	18	585	6876
C	████	9	289	3391
C	████	7	247	2898
C	████	11	380	4461
C	████	25	282	3317
C	████	13	151	1778
C	████	17	194	2277
C	████	16	185	2178
C	████	64	1177	13829
C	████	28	518	6082
C	████	31	563	6617
C	████	26	476	5596

C	■	36	902	10594
C	■	18	463	5443
C	■	21	519	6094
C	■	20	492	5777
C	■	43	1281	15058
C	■	20	587	6899
C	■	28	818	9614
C	■	23	679	7983

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe D**

## CALCUL DE LA QUANTITÉ ÉCONOMIQUE DE PRODUCTION ET DES COÛTS POUR LE DONNEUR D'ORDRES(DO) ET LE SOUS- TRAITANT(ST)

Fournisseur	Code de calcul du EMQ produit	ST	CTA(\$) ST	CTA(\$) DO
A	████	119	\$ 1 846,95	\$ 974,43
A	████	114	\$ 1 778,41	\$ 938,26
A	████	222	\$ 3 463,50	\$ 1 827,29
A	████	114	\$ 1 768,86	\$ 933,22
A	████	301	\$ 8 545,91	\$ 4 508,71
A	████	134	\$ 3 793,24	\$ 2 001,26
A	████	183	\$ 5 179,24	\$ 2 732,50
A	████	167	\$ 4 744,25	\$ 2 503,00
A	████	110	\$ 3 104,90	\$ 1 638,10
A	████	121	\$ 3 443,89	\$ 1 816,95
A	████	199	\$ 5 631,76	\$ 2 971,24
A	████	69	\$ 1 955,32	\$ 1 031,60
A	████	202	\$ 6 773,46	\$ 3 573,58
A	████	89	\$ 2 979,00	\$ 1 571,68
A	████	97	\$ 3 240,91	\$ 1 709,86
A	████	82	\$ 2 740,97	\$ 1 446,10
A	████	106	\$ 3 755,29	\$ 1 981,24
A	████	49	\$ 1 751,55	\$ 924,10
A	████	54	\$ 1 926,78	\$ 1 016,54
A	████	87	\$ 3 105,17	\$ 1 638,25
B	████	349	\$ 5 441,92	\$ 2 841,89

B	██████	147	\$	2 286,96	\$	1 194,30
B	██████	198	\$	3 090,14	\$	1 613,74
B	██████	150	\$	2 335,50	\$	1 219,65
B	██████	243	\$	6 396,97	\$	3 340,64
B	██████	101	\$	2 650,65	\$	1 384,23
B	██████	104	\$	2 730,05	\$	1 425,69
B	██████	93	\$	2 445,72	\$	1 277,21
C	██████	294	\$	9 844,58	\$	5 141,06
C	██████	162	\$	3 432,15	\$	1 792,35
C	██████	174	\$	3 700,26	\$	1 932,36
C	██████	136	\$	2 887,48	\$	1 507,91
C	██████	116	\$	2 469,86	\$	1 289,81
C	██████	124	\$	2 627,42	\$	1 372,10
C	██████	240	\$	5 101,59	\$	2 664,16
C	██████	91	\$	1 926,09	\$	1 005,85
C	██████	317	\$	4 999,22	\$	2 610,70
C	██████	130	\$	2 042,08	\$	1 066,42
C	██████	124	\$	1 949,70	\$	1 018,17
C	██████	117	\$	1 837,33	\$	959,50
C	██████	84	\$	2 775,85	\$	1 449,61
C	██████	41	\$	1 369,04	\$	714,94
C	██████	35	\$	1 169,84	\$	610,91
C	██████	54	\$	1 800,78	\$	940,41
C	██████	117	\$	1 339,06	\$	699,28
C	██████	63	\$	717,81	\$	374,86
C	██████	80	\$	919,24	\$	480,05
C	██████	77	\$	879,13	\$	459,10
C	██████	304	\$	5 582,76	\$	2 915,44
C	██████	134	\$	2 455,33	\$	1 282,23
C	██████	146	\$	2 671,19	\$	1 394,95

C	████	123	\$	2 259,14	\$	1 179,77
C	████	170	\$	4 276,64	\$	2 233,36
C	████	87	\$	2 197,13	\$	1 147,39
C	████	98	\$	2 459,93	\$	1 284,63
C	████	93	\$	2 332,23	\$	1 217,94
C	████	206	\$	6 078,66	\$	3 174,41
C	████	94	\$	2 785,07	\$	1 454,42
C	████	131	\$	3 880,93	\$	2 026,71
C	████	109	\$	3 222,79	\$	1 683,01

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe E**

## CALCUL DU LOTISSEMENT ÉCONOMIQUE CONJOINT ET DES COÛTS POUR LE DONNEUR D'ORDRES(DO) ET LE SOUS-TRAITANT(ST)

Fournisseur	Code de produit	de Calcul du JELS DO ST	CTA(\$) DO	CTA(\$) ST
A	████	74	\$ 658,08	\$ 2 055,86
A	████	71	\$ 633,66	\$ 1 979,56
A	████	139	\$ 1 234,06	\$ 3 855,24
A	████	71	\$ 630,25	\$ 1 968,93
A	████	188	\$ 3 044,95	\$ 9 512,51
A	████	84	\$ 1 351,55	\$ 4 222,28
A	████	114	\$ 1 845,39	\$ 5 765,05
A	████	104	\$ 1 690,40	\$ 5 280,86
A	████	68	\$ 1 106,29	\$ 3 456,08
A	████	76	\$ 1 227,07	\$ 3 833,41
A	████	124	\$ 2 006,62	\$ 6 268,75
A	████	43	\$ 696,69	\$ 2 176,48
A	████	126	\$ 2 413,42	\$ 7 539,58
A	████	55	\$ 1 061,43	\$ 3 315,95
A	████	60	\$ 1 154,75	\$ 3 607,48
A	████	51	\$ 976,62	\$ 3 050,99
A	████	66	\$ 1 338,03	\$ 4 180,04
A	████	31	\$ 624,09	\$ 1 949,67
A	████	34	\$ 686,52	\$ 2 144,71
A	████	55	\$ 1 106,39	\$ 3 456,39
B	████	224	\$ 1 933,23	\$ 5 988,30
B	████	94	\$ 812,44	\$ 2 516,58

B	████	127	\$ 1 097,77	\$ 3 400,40
B	████	96	\$ 829,68	\$ 2 569,99
B	████	156	\$ 2 272,51	\$ 7 039,25
B	████	64	\$ 941,64	\$ 2 916,78
B	████	66	\$ 969,85	\$ 3 004,16
B	████	59	\$ 868,84	\$ 2 691,27
C	████	188	\$ 3 497,27	\$ 10 833,00
C	████	104	\$ 1 219,27	\$ 3 776,75
C	████	112	\$ 1 314,51	\$ 4 071,78
C	████	87	\$ 1 025,77	\$ 3 177,39
C	████	75	\$ 877,41	\$ 2 717,84
C	████	79	\$ 933,39	\$ 2 891,22
C	████	154	\$ 1 812,33	\$ 5 613,80
C	████	58	\$ 684,24	\$ 2 119,48
C	████	203	\$ 1 775,96	\$ 5 501,16
C	████	83	\$ 725,45	\$ 2 247,11
C	████	79	\$ 692,63	\$ 2 145,45
C	████	75	\$ 652,71	\$ 2 021,81
C	████	54	\$ 986,12	\$ 3 054,55
C	████	27	\$ 486,35	\$ 1 506,50
C	████	23	\$ 415,58	\$ 1 287,29
C	████	35	\$ 639,72	\$ 1 981,58
C	████	75	\$ 475,70	\$ 1 473,50
C	████	40	\$ 255,00	\$ 789,88
C	████	51	\$ 326,56	\$ 1 011,54
C	████	49	\$ 312,31	\$ 967,40
C	████	195	\$ 1 983,26	\$ 6 143,28
C	████	86	\$ 872,25	\$ 2 701,85
C	████	93	\$ 948,94	\$ 2 939,38
C	████	79	\$ 802,55	\$ 2 485,96

C	████	109	\$ 1 519,27	\$ 4 706,03
C	████	56	\$ 780,53	\$ 2 417,73
C	████	63	\$ 873,88	\$ 2 706,91
C	████	59	\$ 828,52	\$ 2 566,40
C	████	132	\$ 2 159,43	\$ 6 688,97
C	████	61	\$ 989,39	\$ 3 064,69
C	████	84	\$ 1 378,69	\$ 4 270,58
C	████	70	\$ 1 144,89	\$ 3 546,37

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe F**

# CALCUL DE LA QUANTITÉ ÉCONOMIQUE DE PRODUCTION ET DU COÛT TOTAL ANNUEL POUR LE FOURNISSEUR DE MATIÈRES PREMIÈRES(MP)

	calcul MP	EMQ \$ mp emq	\$ST emq
██████████	434	\$ 3 575,22	\$2 735,16
██████████	446	\$ 7 570,17	\$4 735,29
██████████	203	\$ 3 788,89	\$2 074,87
██████████	130	\$ 3 824,32	\$2 094,27
██████████	229	\$ 4 740,67	\$2 596,08
██████████	425	\$ 6 019,74	\$3 795,70
██████████	309	\$ 3 485,72	\$1 908,84
██████████	113	\$ 1 776,11	\$ 972,63
██████████	102	\$ 1 573,78	\$ 861,83
██████████	278	\$ 4 521,87	\$2 476,26
██████████	171	\$ 3 750,77	\$2 054,00
██████████	221	\$ 5 016,88	\$2 747,34

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe G**

**CALCUL DE LA QUANTITÉ ÉCONOMIQUE  
D'ACHAT ET DU COÛT TOTAL ANNUEL POUR LE  
FOURNISSEUR DE MATIÈRES PREMIÈRES(MP)  
ET DU SOUS-TRAITANT(ST)**

---

	calcul EOQ ST	\$ mp eoq	\$ ST eoq
██████████	151	\$ 3 597,13	\$1 172,13
██████████	138	\$ 11 522,23	\$2 336,20
██████████	63	\$ 6 723,35	\$1 169,28
██████████	40	\$ 6 786,21	\$1 180,21
██████████	71	\$ 8 412,27	\$1 463,00
██████████	131	\$ 9 064,47	\$1 857,73
██████████	95	\$ 6 185,36	\$1 075,72
██████████	35	\$ 3 151,68	\$ 548,12
██████████	31	\$ 2 792,66	\$ 485,68
██████████	86	\$ 8 024,01	\$1 395,48
██████████	53	\$ 6 655,71	\$1 157,51
██████████	68	\$ 8 902,40	\$1 548,24

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe H**

## CALCUL DU COÛT TOTAL ANNUEL ENTRE LE SOUS-TRAITANT(ST) ET LE FOURNISSEUR DE MATIÈRES PREMIÈRES(MP)

---

	calcul du		
	JELS	ST \$ MP	\$ ST
	MP		
██████████	322	\$ 3 213,31	\$ 2 078,11
██████████	330	\$ 7 517,44	\$ 3 686,60
██████████	150	\$ 3 961,93	\$ 1 645,73
██████████	96	\$ 3 998,98	\$ 1 661,11
██████████	170	\$ 4 957,18	\$ 2 059,14
██████████	315	\$ 5 957,39	\$ 2 951,98
██████████	228	\$ 3 644,91	\$ 1 514,04
██████████	83	\$ 1 857,22	\$ 771,46
██████████	75	\$ 1 645,66	\$ 683,58
██████████	206	\$ 4 728,39	\$ 1 964,10
██████████	127	\$ 3 922,07	\$ 1 629,17
██████████	164	\$ 5 246,00	\$ 2 179,11

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.

# **Annexe I**

## CALCUL DE LA COMPENSATION À REDISTRIBUER PAR UNITÉ DU SOUS-TRAITANT AU DONNEUR D'ORDRES

Fournisseur	Code produit	de Chant	valeur	A redistribuer par unité
A	■	1	\$ 77,90	\$ 0,74
A	■	2	\$ 77,90	\$ 0,77
A	■	3	\$ 77,90	\$ 0,40
A	■	4	\$ 77,90	\$ 0,78
A	■	1	\$ 141,76	\$ 0,29
A	■	2	\$ 141,76	\$ 0,66
A	■	3	\$ 141,76	\$ 0,48
A	■	4	\$ 141,76	\$ 0,53
A	■	1	\$ 141,76	\$ 0,80
A	■	2	\$ 141,76	\$ 0,72
A	■	3	\$ 141,76	\$ 0,44
A	■	4	\$ 141,76	\$ 1,28
A	■	1	\$ 167,68	\$ 0,44
A	■	2	\$ 167,68	\$ 0,99
A	■	3	\$ 167,68	\$ 0,91
A	■	4	\$ 167,68	\$ 1,08
A	■	1	\$ 177,80	\$ 0,83
A	■	2	\$ 177,80	\$ 1,79
A	■	3	\$ 177,80	\$ 1,62
A	■	4	\$ 177,80	\$ 1,01
B	■	1	\$ 77,90	\$ 0,37

B	████	2	\$ 77,90	\$ 0,89
B	████	3	\$ 77,90	\$ 0,66
B	████	4	\$ 77,90	\$ 0,87
B	████	1	\$ 131,87	\$ 0,54
B	████	2	\$ 131,87	\$ 1,29
B	████	3	\$ 131,87	\$ 1,26
B	████	4	\$ 131,87	\$ 1,40
C	████	1	\$ 167,68	\$ 0,44
C	████	2	\$ 106,24	\$ 0,80
C	████	3	\$ 106,24	\$ 0,75
C	████	4	\$ 106,24	\$ 0,96
C	████	1	\$ 106,24	\$ 1,12
C	████	2	\$ 106,24	\$ 1,05
C	████	3	\$ 106,24	\$ 0,54
C	████	4	\$ 106,24	\$ 1,43
C	████	1	\$ 78,80	\$ 0,41
C	████	2	\$ 78,80	\$ 1,00
C	████	3	\$ 78,80	\$ 1,05
C	████	4	\$ 78,80	\$ 1,11
C	████	1	\$ 165,28	\$ 1,55
C	████	2	\$ 165,28	\$ 3,14
C	████	3	\$ 165,28	\$ 3,67
C	████	4	\$ 165,28	\$ 2,39
C	████	1	\$ 57,25	\$ 1,11
C	████	2	\$ 57,25	\$ 2,07
C	████	3	\$ 57,25	\$ 1,62
C	████	4	\$ 57,25	\$ 1,69
C	████	1	\$ 91,76	\$ 0,43
C	████	2	\$ 91,76	\$ 0,97
C	████	3	\$ 91,76	\$ 0,89

C	████	4	\$ 91,76	\$ 1,06
C	████	1	\$ 125,91	\$ 0,77
C	████	2	\$ 125,91	\$ 1,49
C	████	3	\$ 125,91	\$ 1,33
C	████	4	\$ 125,91	\$ 1,40
C	████	1	\$ 147,58	\$ 0,63
C	████	2	\$ 147,58	\$ 1,38
C	████	3	\$ 147,58	\$ 0,99
C	████	4	\$ 147,58	\$ 1,19

\*Les codes produits sont masqués pour des raisons de confidentialité.