

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL
(CONCENTRATION EN PRODUCTIQUE)**

**PAR
DAVID NOBERT**

**ÉTUDE DE L'IMPACT SUR L'EFFICACITÉ D'UN RÉSEAU
DE SOUS-TRAITANCE DE LA VARIATION DE
PARAMÈTRES OPÉRATIONNELS LIÉS À L'ADOPTION DE
DIFFÉRENTES STRATÉGIES MANUFACTURIÈRES**

OCTOBRE 2008

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

Le travail de longue haleine qui suit a été rendu possible grâce au soutien continu de monsieur Denis Lagacé qui a su me diriger et me motiver tout au long de mon cheminement. Je tiens aussi à remercier messieurs Claude Dupuis et Michel Deveault de Meubles Canadel sans qui ce projet n'aurait pu exister. La collaboration de M. David Lupien Saint-Pierre aura aussi ajouté à la qualité de cet ouvrage. Je tiens à souligner l'appui moral et les judicieux conseils fournis par monsieur Guy Bordeleau pendant ces deux années fascinantes. Ce mémoire a aussi été possible grâce au soutien financier de la Chaire industrielle de recherche sur le meuble (CIRM). Finalement, l'encouragement de ma famille et de mes amis m'aura donné l'énergie et l'enthousiasme nécessaires pour conclure ce mémoire.

SOMMAIRE

Face à la forte concurrence des pays émergents, les entreprises du secteur manufacturier dont celles du meuble doivent adapter leurs systèmes manufacturiers pour les rendre plus performants. Toutefois, ces améliorations ont des limites et ne peuvent à elles seules permettre aux manufacturiers québécois de se doter d'avantages concurrentiels suffisants pour préserver leur part de marché. Des changements de stratégies manufacturières s'imposent alors. La stratégie de personnalisation de masse de type « Assemble to orders » (ATO) ou les systèmes manufacturiers à différenciation retardée offrent de nombreux avantages. En effet, les entreprises peuvent, avec de tels systèmes, offrir des délais plus courts et des prix compétitifs pour des produits personnalisés aux goûts des consommateurs. Toutefois, cette flexibilité accrue engendre des coûts supplémentaires de maintien des inventaires. De plus, l'incertitude créée par un marché de plus en plus volatil jumelée à un éventail de produits grandissant ont pour effet d'augmenter les niveaux d'inventaire de composantes.

Le présent projet vise à identifier des moyens pour minimiser la valeur de l'inventaire global dans un réseau de sous-traitants fonctionnant selon la stratégie ATO et ce, sans affecter le niveau de service offert aux consommateurs. Trois scénarios seront alors étudiés : la mise en place de règles de priorité dans le but de réduire le temps de passage de certaines commandes, le déplacement du point de découplage et la réduction des délais réseau.

Les expérimentations à l'aide du logiciel de simulation Arena, de Rockwell Software, ont démontré que l'ajout d'un inventaire de produits entre le fournisseur et le sous-traitant pouvait grandement diminuer le temps de passage réseau des commandes et, par le fait même, permettre une réduction des niveaux d'inventaire chez le donneur d'ordres. Toutefois, l'effet coup de fouet généré chez le fournisseur nécessite un niveau d'inventaire élevé chez ce dernier, augmentant par le fait même la valeur de l'inventaire global dans le réseau. Des projets visant à diminuer la taille des lots de production ainsi que les délais de fabrication constituent donc des outils de premier plan dans la diminution de la valeur globale de l'inventaire.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	I
Sommaire II	
Table des matières	III
Liste des tableaux.....	VII
Liste Des Figures.....	IX
Chapitre I : Introduction	1
Chapitre 2 : Revue de littérature	3
2.1 Les stratégies manufacturières	3
2.1.1 La production sur stock.....	3
2.1.2 La production sur commande	4
2.1.3 Stratégie de production mixte sur stock et sur commande.....	4
2.1.3.1 La gestion des règles de priorité	7
2.1.3.2 Point de décuplement	8
2.2 Les différentes formes d'organisations	9
2.2.1 L'entreprise intégrée verticalement	10
2.2.2 La sous-traitance	10
2.2.3 L'entreprise réseau	12
2.2.4 Personnalisation de masse	21
Chapitre 3 : Problématique spécifique de recherche	24
3.1 Question de recherche	24
3.2 Unité d'observation : Réseau de sous-traitance.....	25
3.2.1 Unité spécifique d'observation : les dessus de tables	26
3.2.2 Les indicateurs de performance	28
Chapitre 4 : Méthodologie	31
4.1 Indicateurs de performance utilisés.....	31
4.1.1 Respect des délais client (RD_{CC}).....	32

4.1.2	Le nombre de pénuries jours ($\overline{BOC_i}$).....	33
4.1.3	Temps de passage réseau (TP_R).....	34
4.1.4	Le temps de passage usine (TP_U).....	35
4.1.5	Le temps de passage panneaux (TP_{PAN}).....	36
4.1.6	Rotation des inventaires (TO_i).....	37
4.1.7	La valeur moyenne des inventaires dans le réseau ($\overline{V_{TOT}}$).....	37
4.1.8	La variation dans la charge de travail dans le réseau (VAR_n).....	40
4.1.9	L'utilisation des équipements ($UCNC_j$).....	41
4.2	Modélisation	42
4.2.1	Situation actuelle.....	42
4.2.2	Scénario 1 : Règles de priorité chez le sous-traitant.....	44
4.2.3	Scénario 2 : Règles de priorité et ajout d'un inventaire de panneaux bruts.	48
4.2.4	Scénario 3 : Règles de priorité, inventaire de panneaux bruts et réduction des délais administratifs.....	52
Chapitre 5 :	La simulation	56
5.1	L'outil de simulation	57
5.1.1	Le nœud Create.....	57
5.1.2	Le nœud Process.....	58
5.1.3	Le nœud « Match ».....	58
5.1.4	Le nœud « Decide ».....	59
5.1.5	Le nœud « Hold ».....	59
5.1.6	Les nœuds « Route » et « Station ».....	60
5.2	Le modèle de simulation	60
5.2.1	Génération des commandes.....	61
5.2.2	La gestion de l'inventaire.....	63
5.2.3	Émission des commandes fournisseurs (bons de fabrication) dans le réseau.....	64
5.2.4	Traitement des commandes chez les sous-traitants.....	66
5.2.5	Gestion des commandes des panneaux chez le fournisseur des sous-traitants.....	69
5.2.6	Fabrication des panneaux.....	71
5.2.7	Le <i>transport</i> inter entreprises.....	73

5.3	La validation du modèle	75
5.3.1	Le régime permanent.....	75
5.3.2	La fidélité du modèle de simulation.....	80
5.3.3	La représentativité	83
5.4	Paramètres variables	83
5.4.1	Points de commande	84
5.4.2	Les règles de priorité.....	84
5.4.3	La fréquence de livraison	84
Chapitre 6 :	Présentation des résultats.....	85
6.1	Situation actuelle.....	85
6.1.1	Respect des délais clients (RD_{CC})	86
6.1.2	Nombre de pénuries par composante ($\overline{BOP_j}$ & $\overline{BOC_i}$)	87
6.1.3	Temps de passage réseau (TP_R).....	87
6.1.4	Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)	88
6.1.5	Temps de passage des panneaux (TP_{PAN}).....	89
6.1.6	Rotation des inventaires (TO_i).....	89
6.1.7	Valeur globale des inventaires dans le réseau (TP_U)	90
6.1.8	Variation de la charge de travail (VAR).....	92
6.1.9	Utilisation des équipements ($UCNC_j$).....	94
6.2	Présentation des résultats des scénarios	94
6.2.1	Scénario 1 : Règles de priorité chez le sous-traitant.....	95
6.2.2	Scénario 2 : Règles de priorité et ajout d'un inventaire de panneaux bruts.	100
6.2.3	Scénario 3 : Règles de priorité, inventaire de panneaux bruts et réduction des délais administratifs.....	105
6.2.4	Conclusion sur les 3 scénarios	107
6.3	Analyse comparative des trois scénarios.....	108
6.3.1	Respect des délais clients (RD_{CC}).....	108
6.3.2	Temps de passage réseau (TP_R)	109

6.3.3	Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)	110
6.3.4	Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})	111
Chapitre 7 :	Recommandations	113
7.1	Nouveaux paramètres	113
7.1.1	Point de commande pour les composantes.....	113
7.1.2	Point de commande pour les panneaux	114
7.1.3	Taille des lots	115
7.1.4	Déclenchement des commandes.....	116
7.1.5	Traitement des commandes chez le donneur d'ordres	117
7.2	Analyse des résultats de la proposition	117
7.2.1	Respect des délais clients (RD_{CC})	118
7.2.2	Nombre de pénuries	118
7.2.3	Temps de passage réseau (TP_R)	120
7.2.4	Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)	120
7.2.5	Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})	121
7.2.6	Rotation des inventaires de composantes (TO_i)	122
7.2.7	Valeur globale des inventaires dans le réseau (V_{TOT}).....	123
7.2.8	Variation de la charge de travail (VAR).....	125
7.2.9	Utilisation des équipements ($UCNC_j$).....	128
7.2.10	Conclusion.....	128
Chapitre 8 :	Conclusion et avenues futures de recherche	129
8.1	Conclusion	129
8.2	Avenues futures de recherche	130
Bibliographie	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Tableau résumé des indicateurs de performance.....	32
Tableau 2 :	Priorité des familles de produits	46
Tableau 3 :	Codification du mouvement de la valeur des indicateurs de performance.....	47
Tableau 4 :	Mouvement anticipé de la valeur des indicateurs de performance pour le scénario 1 ...	47
Tableau 5 :	Mouvement anticipé de la valeur des indicateurs de performance pour le scénario 2 ...	51
Tableau 6 :	Mouvement anticipé des indicateurs de performance pour le scénario 3.....	54
Tableau 7 :	Détail des délais administratifs occasionnés lors du passage de commandes.....	67
Tableau 8 :	Temps de planification des commandes en fonction de leur niveau de priorité	68
Tableau 9 :	Nombre d'encours relevés à la 25e semaine.....	77
Tableau 10 :	Nombre d'encours relevés à la 83e semaine.....	77
Tableau 12 :	Panneaux mis en production dans le réseau.....	81
Tableau 13 :	Tableau comparatif entre les données issues de la simulation et celles réellement observées sur le terrain.....	83
Tableau 14 :	Tableau résumé de la valeur actuelle des indicateurs de performance.....	86
Tableau 15 :	Valeur de l'inventaire en fonction des familles de produits.....	90
Tableau 16 :	Valeur des encours de composantes.....	91
Tableau 17 :	Valeur des encours de panneaux.....	91
Tableau 18 :	Valeur de l'inventaire global dans le réseau.....	92
Tableau 19 :	Tableau résumé de la variation dans la charge de travail.....	92
Tableau 20 :	Tableau résumé de la variation de la charge de travail entre les différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement.....	94
Tableau 21 :	Tableau résumé de l'utilisation des équipements critiques chez les différents sous-traitants	94
Tableau 22 :	Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario1	95

Tableau 23 :	Tableau comparatif entre le taux d'utilisation des équipements critiques et les gains en terme de temps de passage sur le plancher d'usine des sous-traitants.....	98
Tableau 24 :	Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario 2.....	100
Tableau 25 :	Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario 3.....	105
Tableau 26 :	Tableau comparatif des délais administratifs inhérents à la situation initiale et ceux déterminés pour le scénario 3.....	106
Tableau 27 :	Tableau résumé des résultats de la simulation de la proposition.....	117
Tableau 28 :	Tableau résumé du nombre d'composantes en pénurie.....	119
Tableau 29 :	Tableau résumé du nombre de panneaux en pénurie	119
Tableau 30 :	Tableau résumé du temps de passage réseau des commandes.....	120
Tableau 31 :	Tableau résumé du temps de passage des commandes sur le plancher d'usine des sous-traitants	121
Tableau 32 :	Tableau résumé du temps de passage des panneaux chez le fournisseur	122
Tableau 33 :	Tableau résumé du taux de rotation annuel des inventaires	122
Tableau 34 :	Tableau résumé de la valeur des inventaires	123
Tableau 35 :	Tableau résumé de la valeur de l'inventaire de panneaux	124
Tableau 36 :	Tableau résumé de la valeur des inventaires dans le réseau	125
Tableau 37 :	Tableau résumant les variations dans la charge de travail dans le réseau	126
Tableau 38 :	Tableau résumé de l'amplification de la variation dans la charge de travail en fonction du niveau	127
Tableau 39 :	Tableau résumé du nombre de panneaux en pénurie	127
Tableau 40 :	Tableau résumé de l'utilisation des équipements critiques chez les 3 sous-traitants ...	128

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Organigramme d'un réseau typique de sous-traitants	13
Figure 2 :	Diagramme représentant la stratégie manufacturière du donneur d'ordres	25
Figure 3 :	Organigramme du réseau des dessus de tables	26
Figure 4 :	Illustration de la gamme des dessus de tables	27
Figure 5 :	Étapes de fabrication des dessus de tables	27
Figure 6 :	Illustration du modèle SCOR	29
Figure 7 :	Détail du temps de passage des commandes clients	33
Figure 8 :	Détail du temps de passage réseau	35
Figure 9 :	Détail du temps de passage panneaux	36
Figure 10 :	Représentation graphique de la situation actuelle	42
Figure 11 :	Représentation graphique du scénario 1	45
Figure 12 :	Représentation graphique du scénario 2	49
Figure 13 :	Représentation graphique du scénario 3	53
Figure 14 :	Description du nœud Create	57
Figure 15 :	Description du nœud Process	58
Figure 16 :	Description du nœud Match	58
Figure 17 :	Description du nœud Decide	59
Figure 18 :	Description du nœud Hold	59
Figure 19 :	Module d'inventaire pour les dessus de table 540X4	63
Figure 20 :	Module d'émission des bons de fabrication pour les composantes gérés en MTS	65
Figure 21 :	Horloge déclenchant le signal de lancement des commandes dans le réseau	66
Figure 22 :	Illustration du module de gestion de l'inventaire de panneaux	69
Figure 23 :	Illustration du module de lancement des commandes chez le fournisseur de panneaux	70
Figure 24 :	Illustration du module de sélection du mode de lancement des commandes chez le fournisseur de panneaux	71
Figure 25 :	Illustration du module de fabrication chez le fournisseur de panneaux	71

Figure 26 :	Illustration du module de calcul de la quantité de panneaux à produire par commande	73
Figure 27 :	Illustration du module d'expédition des commandes de panneaux vers les sous-traitants	74
Figure 28:	Graphique illustrant l'obtention du régime permanent	79
Figure 29:	Graphique représentant l'effet coup de fouet en fonction du niveau dans le réseau	93
Figure 30:	Graphique illustrant la variation de la charge de travail aux trois niveaux de la chaîne d'approvisionnement	104
Figure 31:	Graphique représentant la valeur de l'indicateur Respect des délais Clients en fonction des scénarios proposés	108
Figure 32:	Graphique représentant les gains en termes de temps de passage réseau des commandes	109
Figure 33 :	Illustration graphique de la variabilité du temps de passage réseau en fonction des trois scénarios	110
Figure 34:	Graphique représentant la réduction du temps de passage usine des commandes en fonction des scénarios	111
Figure 35:	Graphique représentant les gains en termes de temps de passage des panneaux en fonction des scénarios	111

CHAPITRE I : INTRODUCTION

L'accès au marché américain, par sa proximité, constitue l'un des principaux avantages concurrentiels, dont nos entreprises manufacturières exportatrices canadiennes ont pu bénéficier au cours des dernières années. Cependant, la concurrence asiatique et sud-américaine, axée principalement sur une stratégie de faibles coûts basée sur la production de masse non personnalisée à haut volume, a considérablement fragilisé l'importance de cet avantage géographique. En effet, les délais de livraison des produits manufacturés en Chine (8 semaines) ne sont relativement pas plus longs que ceux des manufacturiers locaux (6 semaines). La montée de la concurrence asiatique, dont celle de la Chine, progresse de façon fulgurante, et ceci, même sur notre territoire. Cette progression de la concurrence chinoise est similaire à notre principal marché à l'exportation, soit celui des États-Unis qui représente la grande majorité des exportations canadiennes. Pour espérer contrer cette dynamique, l'industrie québécoise doit se doter de stratégies qui permettront, dans un premier temps, de consolider ses parts de marché sur le territoire américain, puis de reprendre sa position dominante comme premier exportateur. Parmi l'ensemble des stratégies envisagées pour répondre à la problématique actuelle du secteur manufacturier québécois, la réduction des délais de livraison et des coûts semble être incontournable. La diversification des produits offerts ainsi que l'augmentation de la qualité de ces derniers constituent aussi une réponse positive face à cette nouvelle concurrence. En ce sens, les entreprises devront se doter de la capacité de produire un éventail de produits, personnalisés ou non, à faible coût et fabriqués dans de courts délais.

La présence de plus en plus importante de biens d'origine étrangère dans les magasins a pour effet de diminuer la visibilité des fabricants canadiens. Bien que ces pertes de plancher ne touchent actuellement que les produits de base et moyenne gamme, la qualité des produits offerts par la compétition extérieure sous-entend la capacité de ces fabricants de haut volume d'être éventuellement en mesure de s'attaquer aux produits haut de gamme.

Cette problématique touche plusieurs secteurs manufacturiers, particulièrement ceux dont le coût de la main-d'œuvre représente une importante proportion du coût total des produits. Par exemple, l'industrie du textile a récemment été durement touchée par l'abolition des droits compensatoires sur les produits extérieurs. Dans les années 1970, c'était toute l'industrie américaine de l'automobile qui était affectée par l'importation de voitures japonaises. Certaines études dont celle de Zammuto *et al* (1985) se sont penchées sur ces cas et ont tiré des conclusions sur les stratégies ayant été adoptées.

En effet, en période de crise, l'adoption de stratégies manufacturières peut avoir un effet décisif sur la survie d'une entreprise. Les manufacturiers canadiens et québécois doivent donc évaluer avec soin les stratégies qu'ils décideront d'adopter. Le choix de mesures mal adaptées ou inefficaces peut leur faire perdre un temps précieux et beaucoup d'argent.

Le présent mémoire porte sur l'étude de l'impact de l'adoption de différentes stratégies manufacturières sur l'efficacité d'une chaîne d'approvisionnement.

Le second est dédié à la revue de littérature. On y effectue un survol de la littérature portant sur les stratégies manufacturières, ainsi que sur les indicateurs de performance utilisés pour mesurer la performance des chaînes d'approvisionnement. Le chapitre suivant se consacre à la problématique spécifique de recherche afin de préciser les objectifs du présent document. La méthodologie de recherche se trouve, quant à elle, expliquée dans le quatrième chapitre où sont présentés les indicateurs de performance utilisés ainsi que les stratégies de modélisation. Le cinquième chapitre décrit l'outil de simulation utilisé dans le cadre du présent mémoire. Le chapitre six contient l'analyse et la présentation des résultats. Une recommandation est présentée au chapitre sept et finalement, la conclusion propose des pistes et avenues futures de recherches.

CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE

Cette revue de littérature a comme principal objectif de présenter les différentes stratégies manufacturières et d'analyser comment elles s'articulent à travers les différentes formes d'organisations à l'intérieur d'une chaîne d'approvisionnement constituée d'un donneur d'ordres et d'entreprises sous-traitantes dans le secteur du meuble. On s'intéresse alors non seulement à une seule entreprise, mais à l'ensemble des constituants de la chaîne d'approvisionnement.

2.1 Les stratégies manufacturières

La fabrication de produits à l'intérieur d'une chaîne de valeur peut se faire suivant différentes stratégies de production. Le choix de cette dernière doit prendre en considération plusieurs variables et paramètres, tous reliés à l'environnement dans lequel l'entreprise évolue. Le produit fabriqué, le type de demande, le niveau d'intégration de l'entreprise ne sont que les premiers de la liste. Voici quelques exemples de types de stratégies manufacturières qui sont en relation avec la présente étude.

2.1.1 La production sur stock

Aussi appelée *Make to Stock* (MTS), la production en flux poussé est définie selon Arreola-Risa et DeCroix (1998) comme une production s'assurant de toujours disposer de produits finis pour la vente en fin de processus. L'émission de bons de fabrication est donc contrôlée par l'atteinte d'un certain niveau d'inventaire nonobstant le niveau de commandes clients dans le système.

Bien que les délais de livraison pour cette stratégie soient courts, la production sur stock implique le maintien d'un inventaire pour tous les produits offerts. Les coûts inhérents à l'entreposage et à l'obsolescence des produits sont donc importants dans un environnement instable dans lequel plusieurs produits doivent être offerts.

2.1.2 La production sur commande

Contrairement à la production en flux poussé, la production sur commande, ou *Make to Orders* (MTO) est dirigée par les commandes des clients. Ceux-ci génèrent alors directement les bons de fabrication. Ce mode de production est généralement observé dans les entreprises fonctionnant sans stock de produits finis. Les produits sont donc fabriqués en partie ou en totalité selon la demande, ce qui peut entraîner de longs délais pour les consommateurs.

2.1.3 Stratégie de production mixte sur stock et sur commande

Il a été vu précédemment que la production sur stock (MTS) présente certains avantages comme les courts délais de livraison pour les consommateurs. Toutefois, cette stratégie implique un entreposage de tous les produits vendus de manière à offrir ces derniers dans de courts délais. La production sur commande (MTO), quant à elle, permet au consommateur de choisir les caractéristiques des produits achetés, mais occasionne de plus longs délais.

Il peut alors être intéressant d'offrir aux consommateurs deux gammes de produits avec des prix et des délais de livraison variables, selon le choix d'un produit standard ou non. Les produits dits « standards » sont alors fabriqués sur stock et les produits « personnalisés » sont, quant à eux, fabriqués sur commande. La présence de ces deux modes de production nécessite néanmoins la mise en place de différents niveaux de priorité, selon le type de production. Dans le passé, les types de production sur commande et sur stock ont souvent été séparés, étant considérés comme incompatibles.

Toutefois, les récentes demandes des clients visant à obtenir des produits personnalisés dans de courts délais ont poussé les entreprises à innover vers de nouveaux modèles de production, plus flexibles et moins coûteux. En ce sens, de récentes études tendent à démontrer qu'une habile combinaison des deux types de production (MTS et MTO) a pour effet d'augmenter de manière significative le niveau de service offert aux clients (Federgruen *et Katalan*, 1999). Ce modèle manufacturier porte le nom de production hybride.

Cette production dite hybride consiste à séparer la production des composantes vendus en deux phases. La première consiste à fabriquer des pièces relativement standard, souvent en flux poussé ou sur stock. Ces encours servent généralement de plate-forme de produits et sont entreposés avant d'être utilisés au besoin par les ateliers d'assemblage final. Ces derniers constituent la seconde phase de fabrication.

Fonctionnant généralement en flux tiré ou sur commande, ces postes terminent la fabrication des produits une fois ceux-ci commandés par les clients finaux. Il est alors possible d'ajouter des options et d'ajuster les caractéristiques au goût des clients. La production suivant le modèle de personnalisation de masse est donc plutôt linéaire et est constituée d'un seul flux, c'est-à-dire que tous les produits fabriqués passent par le même système de production.

Dans certains cas, la production en simultané de produits sur commande et sur stock a pour but d'améliorer la flexibilité des entreprises ou des réseaux. Il est donc important de s'assurer que ces deux modes de production puissent être opérés simultanément de manière efficace et sans mettre en compétition les ressources critiques de l'entreprise. En ce sens, June M.A. *et al.* (2004) affirment qu'il est important de ne pas créer une hausse de la demande, engendrant ainsi une augmentation momentanée et simultanée de la demande dans ces deux flux. La présence de promotions agressives en est un bon exemple.

Selon ces mêmes chercheurs, la production sur commande dans un environnement fonctionnant initialement sur stock peut causer une diminution importante des inventaires de produits finis en fin de processus, en plus de générer une grande variabilité de la demande au travers des différentes étapes de fabrication. Il peut alors survenir des pénuries pouvant affecter la satisfaction des consommateurs.

Les temps de transport jouent également un rôle prépondérant dans les niveaux de stocks de sécurité à maintenir. Plus les temps de livraison sont longs et imprévisibles, plus la demande devient volatile et décalée en amont de la chaîne de valeur. Cette situation nécessite donc des niveaux d'inventaires plus élevés dans l'ensemble de cette dernière. Finalement, la qualité de la communication à travers les différents membres composant le réseau est déterminante dans l'efficacité de ce dernier. En effet, des délais plus longs dans la communication engendrent un décalage entre la demande et la production, créant une plus forte variabilité dans la charge de travail à travers le réseau.

Comme il est rarement possible de conserver en inventaire tous les produits offerts, la capacité pour une entreprise de répondre à une demande spécifique d'un client dépend grandement de sa capacité à produire rapidement tous les types de pièces offertes.

Cette prémisse est tout particulièrement vraie pour les composantes ayant un faible volume de vente. Plusieurs stratégies peuvent être adoptées afin d'accélérer le passage des produits fabriqués sur commande dans un système manufacturier mixte (MTS/MTO). Notons, entre autre, la mise en place de stocks de sécurité pour les produits standards généralement fabriqués sur stock et ayant un haut volume de vente. Cette mesure a pour but de libérer de la capacité aux machines critiques ou goulots, afin de les affecter à la fabrication des commandes vendues, lorsque nécessaire. Lorsque l'entreposage de composantes standards est impossible, le choix des politiques d'ordonnancement devient critique (Gupta, D. et S. Benjaafar (2004).

Dans leur article, Jiang et Geunes (2005) démontrent que certains consommateurs sont prêts à étirer le délai de livraison afin de profiter de rabais sur les produits achetés. En ce sens, la production hybride (MTS / MTO) permet d'offrir un éventail de prix selon les délais encourus, ce qui constitue un argument de vente non négligeable. Par exemple, certains détaillants de livre par internet offrent une gamme de prix en fonction des délais de livraison désirés par les clients. Bien que cette mesure puisse être perçue comme diminuant les revenus en diminuant les prix, une meilleure flexibilité du processus engendrera plus de ventes et plus de profits, diminuant par le fait même les coûts totaux.

2.1.3.1 La gestion des règles de priorité

La présence de deux types de stratégies manufacturières à l'intérieur d'un système manufacturier nécessite l'adoption de règles de priorité. En effet, les produits MTO étant déjà vendus devraient être priorisés de manière à minimiser le temps d'attente pour le client final. Toutefois, les coûts reliés aux nombreuses mises en course occasionnées par des règles de priorité trop fermes ou agressives ne doivent pas être ignorés. Les différentes stratégies touchant les règles de priorité devront donc être comparées suivant différentes variables quantitatives dont les coûts moyens de mise en course, d'entreposage et de commande (Bonvik et al, 1997)

De plus, certaines variables intangibles comme les coûts des délais de livraison pour les clients finaux et la variation dans les inventaires devront aussi être tenus en compte.

La production hybride MTO et MTS nécessite la mise en place de deux composants critiques. Le premier, nommé interrupteur, doit déterminer quand changer de type de production pour passer de MTS à MTO. Le deuxième, nommé stratégie de production, doit déterminer combien de composants MTS produire en l'absence d'interruption par les MTO (Federgruen et Katalan, 1999).

Selon June M.A. *et al.* (2004), les commandes comprenant des produits personnalisés devraient être traitées en priorité afin de s'assurer de la livraison à temps de la commande au consommateur final. Les commandes placées par les détaillants pour maintenir le stock des produits offerts en succursale sont donc traitées en deuxième rang. Il est aussi recommandé, selon le même groupe de chercheurs, de bien choisir les produits offerts en magasin de manière à ce qu'ils correspondent à ce que la grande majorité des clients désirent.

2.1.3.2 Point de décuplement

Le point de décuplement (decoupling point) est la limite entre la partie d'une chaîne d'approvisionnement fonctionnant sur commande et celle fonctionnant sur stock. En d'autres mots, c'est le point le plus loin dans le réseau où l'on peut personnaliser la commande du client final. Le positionnement de ce dernier influence grandement l'efficacité du système et la manière dont il réagit à différentes situations. Le point de décuplement est généralement caractérisé par la présence d'inventaire de composantes en attente d'être assemblées et/ou finies.

Le positionnement du point de décuplement peut grandement influencer la performance du réseau. Cette influence se manifeste sous deux aspects. Le premier est la capacité de livrer les composantes au donneur d'ordres dans les délais prescrits, et le second est l'efficacité avec laquelle le réseau est capable de fabriquer les produits voulus.

L'efficacité dépend, entre autres, du nombre de mises en course, de l'inventaire moyen et du niveau d'encours présents dans le réseau.

Le fait de déplacer le point de décuplement en aval, soit vers le client, peut engendrer de plus longs délais de livraison au consommateur. De plus, il devient plus difficile de regrouper les commandes, de sorte que les coûts de mises en course ne peuvent être répartis sur de grands lots de fabrication. Il peut donc être difficile de trouver l'équilibre parfait entre la personnalisation des produits et l'efficacité opérationnelle avec laquelle on fabrique ces mêmes produits.

Un autre effet du déplacement du point de découplage en aval est la vulnérabilité vis-à-vis les fluctuations de la demande. En effet, plus un système est en flux tiré, moins il y a d'encours pour absorber ces variations. Un système de production idéal aurait une charge de travail stable et prévisible de sorte qu'il y aurait peu de mises à pied ou d'embauches requises pour suivre le niveau des commandes. En ce sens, certaines entreprises regroupent les commandes sous forme de groupe de production, une sorte de série de vases communicants. Ces derniers correspondent à la capacité de leur installation pour une période donnée (une semaine, un mois, etc.). Lorsque la capacité du premier est atteinte, les commandes sont attribuées au second et ainsi de suite. Lorsqu'il y a trop de commandes en attente dans le système, le directeur de la production décide d'augmenter la capacité de ces groupes de commandes en embauchant du personnel. Si, au contraire, on ne réussit pas à remplir les semaines de production, on procède à des mises à pied. Ces mesures sont, bien entendu, utilisées qu'en dernier recours.

Le choix stratégique, quant au mode de production adopté, influence grandement la capacité opérationnelle de l'entreprise ainsi que la rentabilité des opérations ayant cours. Cette décision doit être prise en tenant compte d'une autre variable très importante dans l'atteinte des objectifs de rentabilité de l'entreprise, soit la structure de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

2.2 Les différentes formes d'organisations

Le choix stratégique inhérent à la forme d'organisation dans laquelle une entreprise évolue est déterminant pour sa compétitivité. Les sous-sections qui suivent décrivent les principales formes organisationnelles observées dans le secteur du meuble au Québec.

2.2.1 L'entreprise intégrée verticalement

Une entreprise est intégrée verticalement lorsqu'elle contrôle plus d'une des étapes de production d'un bien. Cette intégration peut être dirigée en amont ou en aval de ses activités dans la chaîne de valeur. Le niveau d'intégration d'une entreprise est directement relié à l'influence de sa propre chaîne de valeur sur celle de ses clients et fournisseurs.

L'intégration verticale propose plusieurs avantages, dont la facilité avec laquelle l'information circule. En effet, ce type d'organisation est largement utilisé puisqu'il facilite les échanges inter entreprises, souvent limités par la technologie des communications. Notons entre autre la compatibilité des systèmes de production. Un autre avantage de cette structure organisationnelle est l'économie d'échelle. Différents services dont ceux de la paie, des ressources humaines, d'ingénierie ou de comptabilité, peuvent alors être partagés à travers l'organisation.

Le pouvoir de négociation auprès des fournisseurs peut aussi motiver des dirigeants d'entreprises à opter pour une structure organisationnelle intégrée verticalement.

Les entreprises intégrées verticalement sont toutefois peu flexibles. Les augmentations rapides de capacité ou les changements précipités des procédés de fabrication peuvent être longs et coûteux en plus de présenter un haut risque financier et technologique. De plus, ce type d'organisation est limité dans l'augmentation rapide de sa capacité en période de forte croissance.

Pour ces raisons, certaines organisations tentent d'externaliser une partie de leurs activités par le moyen de la sous-traitance dans d'autres entreprises pour la plupart spécialisées.

2.2.2 La sous-traitance

Certaines stratégies de production des années 1980 étaient axées sur la fabrication de produits à haut volume. En effet, cette dernière permettait plusieurs économies d'échelle en plus de faciliter la gestion des approvisionnements.

Toutefois, le contexte manufacturier mondial qui sévit depuis plus de 10 ans incite les entrepreneurs à changer leur modèle d'affaires. Certaines recherches dont celle de Gupta *et* Zhender (1994) démontrent que la rentabilité des entreprises passe beaucoup plus par le haut niveau de valeur ajoutée que par de hauts volumes à produire. Il se forme alors des alliances inter organisationnelles visant à sous-traiter les activités à faible valeur ajoutée pour ne conserver que celles ajoutant beaucoup de valeur au produit.

Les technologies de l'information ont grandement évolué au cours des dernières années, ce qui a facilité les communications entre les organisations, favorisant ainsi le recours à la sous-traitance. Contrairement aux années précédentes (1980-1990) les organisations se sont alors « désintégrées » par exemple en vendant des divisions, visant par le fait même une meilleure flexibilité (Layek *et al*, 2004).

Il existe plusieurs types de sous-traitance, dont celle de substitution (subsidiary network), la sous-traitance de relations avec les compétiteurs et la sous-traitance complète. La sous-traitance de substitution est la fragmentation d'une entreprise mère en de plus petites. En externalisant certaines activités telles la recherche et le développement ou la fabrication de certaines composantes, ces entreprises augmentent le niveau d'innovation à l'intérieur des réseaux.

La sous-traitance de relations avec les compétiteurs est caractérisée par le partage de sous-traitants communs entre compétiteurs. Ainsi, il existe un partage d'informations et de connaissances entre deux donneurs d'ordres potentiellement en compétition. Par exemple, un sous-traitant possédant une technologie constituant un avantage concurrentiel sur le marché peut fabriquer des commandes pour deux donneurs d'ordres en compétition. Il existe alors un échange de savoir faire entre les deux compétiteurs.

Finalement, la sous-traitance complète est l'externalisation de segments complets de produits vers des sous-traitants. Les donneurs d'ordres ne servent alors que d'intermédiaires entre leurs clients et les manufacturiers. Dans certains cas, les produits ne transitent pas physiquement chez le donneur d'ordres. Ils passent directement du sous-traitant vers le client final.

Un des premiers gains relatifs à la sous-traitance des activités à faible valeur ajoutée est la réduction des coûts. En effet, l'entreprise ne doit pas soutenir les différentes mises à jour du système manufacturier requises pour demeurer compétitives. De plus, le partenariat avec un fabricant spécialisé pouvant être à la fine pointe de la technologie permet à l'entreprise d'avoir accès à des produits à faible coût et de bonne qualité.

Une entreprise basant sa stratégie organisationnelle sur la sous-traitance de plusieurs maillons de sa chaîne de valeur est alors qualifiée d'entreprise réseau.

2.2.3 L'entreprise réseau

Afin de conserver et développer de nouveaux avantages concurrentiels, les entreprises doivent constamment investir dans la recherche et le développement de nouveaux procédés ou de nouvelles méthodes. En ce sens, il est souvent préférable de se spécialiser dans un domaine précis et d'en devenir un leader.

La fabrication efficace de produits finis à l'intérieur d'une entreprise réseau implique donc plusieurs intervenants, tous spécialistes dans leurs champs respectifs. Par contre, la gestion efficace de commandes provenant de plusieurs sous-traitants demande beaucoup d'efforts. C'est au début des années 1980 que le principe de partenariat inter organisationnel a vu le jour (M-J Mol *et al*, 2005).

Basée sur les politiques d'approvisionnement du modèle japonais, cette nouvelle pratique d'affaires est devenue un outil de premier plan dans l'atteinte des objectifs de la production juste à temps. Les membres de la chaîne d'approvisionnement se réunissent donc dans un réseau de sous-traitants.

Ce dernier est généralement composé d'un principal donneur d'ordres et de différents sous-traitants. Selon Lehtinen (1996), une relation rapprochée entre un fournisseur et un client peut être interprétée comme un mariage. Le choix du partenaire et les modalités entourant cette relation deviennent très importants. Les principaux éléments décrivant le partenariat entre les donneurs d'ordres et leurs sous-traitants sont des conditions incontournables pour la mise sur pied d'un réseau efficace.

Le partage de la vision du réseau est primordial afin de s'assurer que tous les intervenants impliqués adoptent des stratégies compatibles favorisant l'ensemble de la chaîne de valeur. Il est important de clarifier les stratégies d'approvisionnement à l'intérieur du réseau tel que l'approvisionnement chez un ou plusieurs sous-traitants. Les objectifs budgétaires peuvent aussi être considérés comme un des éléments de base pour établir un partenariat réseau. L'intégration de la recherche et du développement implique l'échange d'informations et de savoir-faire dans un réseau.

Il existe plusieurs types de relations possibles entre les constituants d'un réseau de sous-traitance. Selon Ulla Lehtinen (1996), la structure organisationnelle d'un tel réseau peut être orientée vers deux caractéristiques : l'arborescence des sous-traitants et le nombre de ces derniers. Dans le premier cas illustré à la figure 1, le degré d'influence des sous-traitants est directement proportionnel à leur proximité avec le donneur d'ordres.

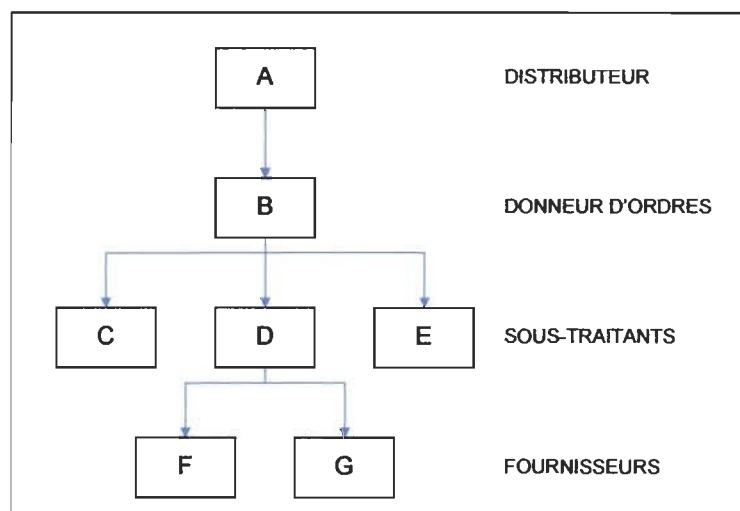


Figure 1 : Organigramme d'un réseau typique de sous-traitants

Il y a donc de nombreux et étroits échanges entre le « premier niveau » (first tiers) et le donneur d'ordres (Original Equipment Manufacturer OEM). Dans le modèle japonais, par exemple, les sous-traitants de premier niveau (first tiers suppliers) sont responsables du développement de produits, de la maintenance du système et des livraisons en juste à temps. Les sous-traitants de deuxième niveau sont généralement de plus petite taille et spécialisés dans une gamme restreinte de produits. Finalement, les sous-traitants de troisième niveau sont souvent de très petites entreprises avec peu d'expertise. L'association inter organisationnelle auprès des sous-traitants est donc un moyen préconisé afin de faciliter le transfert d'informations relatives à la gestion du système et aux techniques de production. Les réseaux de sous-traitance donnent alors non seulement naissance à des relations inter organisationnelles verticales, mais aussi à de fortes et communes relations horizontales entre les sous-traitants partageant un même niveau.

Ces liens ont généralement pour but d'aider au développement de produits ou de nouvelles technologies, en plus de parfois constituer des maillages stratégiques (Lehtinen, 1996).

Le nombre de sous-traitants à l'intérieur d'un réseau dépend de la complexité des composantes, mais aussi de la capacité des membres de fabriquer les produits voulus. Le volume requis pour certaines composantes peut pousser un donneur d'ordres à opter pour plus d'un sous-traitant. De plus, la complexité ou le degré technologique nécessaire à la fabrication peut nécessiter le recours à deux sous-traitants pour des composantes relativement similaires. Généralement, on retrouve dans les réseaux de sous-traitance plus d'un fournisseur pour un même type de pièce. L'utilisation de différents numéros de série selon les fabricants aide alors à la traçabilité des composantes.

La rentabilité des réseaux de sous-traitance nécessite la mise en place de mesures visant à réduire les coûts totaux comprenant, entre autres, les coûts d'acquisition, de transport, de non-qualité, d'entreposage et de main-d'œuvre. La sous-traitance des activités à faible valeur ajoutée est un moyen efficace

d'augmenter la profitabilité des entreprises en permettant à ces dernières de se mettre leurs efforts à l'amélioration de leurs compétences techniques constituant leur avantage concurrentiel, c'est-à-dire, sur ce dans quoi elles excellent (Mol, M. *et al.*, 2005). On a donc été témoin au Québec de la naissance d'entreprises spécialisées dans la finition et la mise en marché de différents produits, faisant affaire avec plusieurs sous-traitants spécialisés. Pensons simplement au secteur de l'aéronautique, de l'automobile ou du meuble.

La multiplication du nombre de compagnies présentes dans les réseaux a engendré certains problèmes de logistique inhérents à la gestion des commandes et des stocks. Les inventaires de produits en cours ont donc grandement augmenté. Les longs délais de livraison ainsi créés ont poussé les gestionnaires des réseaux à vouloir modifier la structure de ces derniers pour les rendre plus efficaces et flexibles.

En effet, les délais de livraison affectent directement la profitabilité d'une organisation. Selon Mol *et al.* (2005), la diminution des délais de livraison permet aux entreprises constituant d'un réseau de diminuer les niveaux d'inventaire et ainsi, aide à un meilleur contrôle des liquidités de l'entreprise. La qualité est aussi plus facile à contrôler puisque la rétroaction des clients plus rapide. Finalement, les coûts de dépréciation sont beaucoup plus faibles en cas de changement de design.

La mise en place d'un réseau de sous-traitance peut donc causer aux entreprises certains problèmes de vulnérabilité liés aux délais de livraison, à la qualité et à la communication. Il est donc important, voire primordial, de structurer le réseau de sous-traitance de manière efficace. Selon Prater *et al.* (2001), il existe deux types de vulnérabilité : interne, qui est reliée à la production, et externe, liée au réseau. Cette dernière est influencée par deux facteurs : les fluctuations de la demande et la complexité du réseau. Bien entendu, un réseau complexe est une limite à la communication et au flux logistique. D'un autre côté, les fluctuations de la demande engendrent souvent de la surproduction ou des pénuries. Finalement, l'effet combiné de fortes fluctuations dans un réseau complexe entraînera un effet

d'amplification de la variation des charges de travail en amont dans la chaîne d'approvisionnement. Cet effet porte le nom d'effet coup de fouet (Bullwip effect) Lee H.L. *et al.* (1998). En ce sens, les entreprises en amont des réseaux, c'est-à-dire celles qui traitent la matière première, seront fortement affectées par de petites fluctuations présentes au niveau des détaillants, si le partage de l'information est déficient et si les délais de livraison sont trop longs. Les commandes leur étant acheminées seront fortement irrégulières, autant en terme de quantité que d'intervalle. Les conséquences se traduisent généralement par des périodes de sous capacité nécessitant des heures supplémentaires, suivi de périodes creuses, pendant lesquelles les entreprises se trouvent en surcapacité. Les coûts relatifs à cette distorsion dans l'acheminement des commandes sont souvent sous-estimés.

La gestion des réseaux de sous-traitants est très complexe, particulièrement au niveau de la gestion de l'information. Ces problèmes de communication peuvent avoir d'importantes répercussions sur les délais de livraison et sur l'efficacité générale du réseau. En ce sens, la popularité des pratiques d'affaires préconisant la proximité devient de plus en plus grande. Selon Hameri *et Paatela* (2005), plusieurs entreprises misent désormais sur le partenariat avec les fournisseurs pour favoriser l'échange d'information. Ce type d'alliance, qui doit toutefois être faite de façon stratégique, dépend grandement de la nature des produits fabriqués et du contexte économique dans lequel les entreprises évoluent.

Cette forme de maillage inter entreprise peut mener à la création d'un réseau doté d'une grande agilité. Les liens étroits créés entre les donneurs d'ordres et les sous-traitants facilitent l'échange d'informations et le flux logistique à partir de l'approvisionnement en matières premières jusqu'au client final. Le réseau peut donc évoluer en fonction des règles du marché et ce, sans affecter la rentabilité des opérations. Cette nouvelle approche a donné naissance dans les années 1990 à un nouveau concept portant le nom de gestion de la chaîne d'approvisionnement ou Supply chain management (SCM).

Ce dernier vise l'intégration de la gestion des opérations sous un seul système, s'assurant ainsi de disposer du maximum d'informations possible afin de prendre les meilleures décisions permettant d'optimiser l'efficacité globale du réseau. La mise en place d'un tel système est très complexe, compte tenu du caractère inter et intra organisationnel qu'il implique. En ce sens, ce dernier nécessite la participation de tous les intervenants afin de s'assurer que les préoccupations de chacun soient prises en compte (Huang *et al*, 2005).

La mise en place d'un réseau de sous-traitance vise parfois la production d'composantes complexes nécessitant une expertise poussée. Les organisations doivent donc entretenir des relations rapprochées, de manière à partager les compétences techniques propres à l'approvisionnement, la fabrication et la distribution des produits.

D'un autre côté, les composantes à haut volume de consommation et faible niveau de complexité seront donc principalement sous-traitées dans des entreprises ayant peu de rapports avec le donneur d'ordres.

2.2.3.1 Les caractéristiques de l'entreprise réseau

Tel que mentionné précédemment, la flexibilité et l'agilité de la chaîne d'approvisionnement sont des éléments déterminants pour la compétitivité de l'ensemble des entreprises. Dans une entreprise verticalement intégrée, le délai relié à la flexibilité est illustré par le temps de passage à l'intérieur de l'usine. Toutefois, dans un environnement réseau où les produits sont fabriqués avec l'interaction de plusieurs sous-traitants, le délai d'approvisionnement en produits finis peut être défini par le terme « *temps de passage réseau* » (TPR)

Le temps de passage réseau est le temps s'écoulant entre la passation initiale de la commande et la réception du produit par le client final. Cet indicateur de performance est très utilisé, car il influence directement la capacité d'un réseau à s'adapter au marché (Hameri *et Paatela*, 2005).

De plus, le temps de passage réseau indique le temps pendant lequel la valeur des produits fabriqués est immobilisée sous forme d'encours de production, d'inventaire ou de lots en transit par exemple. La capacité financière des entreprises est donc grandement influencée par le TPR.

La réduction des délais à l'intérieur d'une chaîne d'approvisionnement a de nombreux avantages. En plus de permettre des niveaux d'inventaires plus bas, elle offre plusieurs possibilités de stratégie, telle la production sur commande, communément appelée « Make to orders » (MTO). Cette stratégie manufacturière ne peut cependant pas reposer que sur une simple réduction des délais. Une révision globale du réseau doit être faite afin d'améliorer l'agilité, l'efficacité et la flexibilité de ce dernier.

1. La flexibilité

Dans un contexte économique incertain, plusieurs entreprises adoptent comme stratégie l'augmentation de la flexibilité du système dans lequel elles évoluent. La flexibilité d'une chaîne d'approvisionnement dépend donc de sa capacité à réagir aux changements en engendrant un minimum de coûts, de délais et d'efforts. En ce sens, la flexibilité dépasse largement le niveau de technologie utilisé dans les usines. Selon Sanchez *et* Perez (2005), la flexibilité touche plutôt de façon systémique l'ensemble d'un réseau. Plusieurs aspects de l'entreprise sont affectés dont les achats, la production et les ventes. On peut alors identifier trois principaux niveaux de flexibilité soit : de base, systémique et global. Au niveau de base, la flexibilité touche le parc machine des entreprises ainsi que leur équipement de manutention. La flexibilité du système influence, quant à elle, la chaîne d'approvisionnement et les ventes. Finalement, la stratégie d'une entreprise affecte son degré de flexibilité globale, mais aussi sa capacité à gérer efficacement l'information.

La flexibilité peut se mesurer de plusieurs manières. Toujours selon Sanchez *et* Perez (2005), deux d'entre elles sont particulièrement intéressantes : l'étendue et la réponse.

L'étendue mesure la quantité de scénarios disponibles dont dispose le système pour s'adapter aux changements et continuer à fonctionner normalement. Cette mesure est généralement associée à l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. La réponse est, quant à elle, associée à l'efficacité du système. Elle mesure donc les coûts reliés à la réaction nécessaire pour répondre aux changements.

2. L'agilité

L'agilité est définie comme la capacité d'une organisation à se développer dans un environnement d'affaire en perpétuels changements non anticipés induits par une fragmentation du marché en de multiples petites niches (Prater *et al*, 2001). Cette capacité d'adaptation rapide est primordiale dans le secteur manufacturier québécois actuel, ce dernier étant en transformation profonde. Par exemple, un système manufacturier agile peut modifier sa structure de manière à se donner la capacité de traiter une grande variété de commandes. Cette qualité est nécessaire dans le contexte manufacturier que nous connaissons aujourd'hui. En effet, selon Mason-Jones *et Towill* (1999), les chaînes d'approvisionnement évoluent actuellement dans un contexte où les commandes arrivent sous forme de vagues, plutôt que de flux continu. Les systèmes manufacturiers sont donc constamment en sur ou en sous capacité.

L'agilité peut aussi être décrite comme la capacité d'utiliser au maximum les connaissances des entreprises d'un réseau afin de saisir les opportunités offertes par un marché de plus en plus volatil (Mason-Jones *et Towill*, 1999). L'auteur ajoute que le but ultime de l'agilité d'une chaîne d'approvisionnement est de faire interagir tous les joueurs comme s'il s'agissait d'une seule entreprise.

La diminution des délais de livraison n'a pas comme objectif unique de simplement diminuer les coûts de production. L'instabilité et la compétitivité du marché manufacturier à l'échelle mondiale incitent les entreprises à faire preuve d'ingéniosité et à devenir plus agiles. En ce sens, plusieurs outils peuvent les aider.

Notons, entre autres, la haute technologie, des employés polyvalents, un environnement favorisant le travail d'équipe, des technologies de communication efficaces dont EDI (Échange d'information Informatisées) et une veille constante du marché. Les objectifs reliés à l'agilité sont généralement la diminution des coûts, l'augmentation de la qualité, la diminution des délais de livraison, la rapidité, la personnalisation des produits et la flexibilité au niveau des volumes pouvant être traités. Il peut paraître que certains de ces objectifs entrent en conflit entre eux, notamment la qualité et les coûts. Toutefois, plusieurs outils d'ingénierie permettent l'atteinte de deux objectifs initialement contradictoires. Par exemple, le SMED (Single Minute Exchange of Die) permet de réduire les temps de mises en course, réduisant à la fois les délais de livraison et les coûts (Yusuf *et al*, 2003). Dans la littérature, l'agilité est beaucoup associée à la réduction du temps de passage. Bien que nécessaire, cette condition n'est toutefois pas suffisante pour rendre un réseau agile.

En effet, plusieurs entreprises qui se sont dotées d'usines très performantes et capables de changer rapidement de produits fabriqués ont éprouvé quelques problèmes quant à l'agilité de leurs installations. En effet, le simple fait de disposer des équipements permettant à une usine d'être flexible ne suffit pas. Le système d'information à l'in nécessaire pour être flexible Le temps de passage de l'information à travers le processus joue pour beaucoup sur le temps de passage réel des produits dans une chaîne d'approvisionnement (Mason-Jones R. *et al* 1999). On peut donc affirmer qu'autant d'importance doit être accordée aux relations inter entreprises qu'à la performance de ces dernières en terme de flexibilité.

Les entreprises manufacturières québécoises sont donc confrontées à la mise en place de réseaux complexes d'approvisionnement afin de diminuer le coût d'acquisition des composantes sous-traitées. De plus, les chaînes d'approvisionnement ainsi créées devront offrir des temps de passage courts, une bonne qualité et une grande flexibilité. Le but de ces mesures est d'élargir de manière significative l'éventail des volumes économiquement rentables à produire

(Yusuf, Y.Y *et al* 2003). Ultimement, il faudra permettre au réseau d'opérer aussi efficacement et simultanément en mode de production sur commande et sur stock. Selon ces mêmes auteurs, il en va de la survie même des entreprises.

L'évaluation de l'efficacité d'une chaîne d'approvisionnement est très différente et certes plus complexe que celle d'une entreprise verticalement intégrée. En ce sens, le *Supply Chain Council* a mis au point un modèle permettant de saisir toutes les variables nécessaires au calcul de la performance d'une chaîne de valeur : le *Supply-Chain Operation Reference model* (SCOR) model.

Le modèle SCOR est un outil d'aide à la prise de décision qui englobe toute la chaîne de valeur, des fournisseurs des fournisseurs jusqu'aux clients des clients. Il aide à mesurer le comportement de différents indicateurs de performance concernant la livraison à temps, la rapidité de réaction, la flexibilité, les coûts et les besoins en immobilisation.

Afin d'être compétitives, les entreprises réseau doivent se doter des outils nécessaires afin d'améliorer leurs performances globales. La mise en commun du savoir-faire comporte de nombreux avantages, mais ces derniers ne doivent pas être surpassés par des barrières liées aux difficultés d'intégration interentreprises. S. Huang *et al* (2005).

2.2.4 Personnalisation de masse

Les entreprises doivent adopter des plans d'action visant à leur donner des avantages concurrentiels vis-à-vis les concurrents provenant des pays émergeant et présentant souvent des produits équivalents à plus bas prix. Une de ces stratégies est d'offrir un niveau de personnalisation du produit offert. La commande du client final est donc traitée individuellement sur la ligne de production. Cette stratégie se rapproche de la production sur commande, à la seule différence que le délai de livraison au client final ainsi que le coût du produit demeurent comparables à ceux des produits fabriqués en grands lots ou sur stock. Ceci est la personnalisation de masse.

Dans un contexte de forte concurrence, plusieurs moyens sont envisageables afin de conserver ou de développer de nouveaux marchés. L'un d'eux est d'offrir à faible coût différents niveaux de personnalisation au consommateur. En effet, la fabrication de produits complètement personnalisés au goût d'un seul client peut être très coûteuse et s'échelonner sur plusieurs semaines. La production de masse, quant à elle, offre plusieurs économies d'échelle sur les mises en course, le design et le transport, par exemple. Il a été tenté au cours des années 1980 de réunir le meilleur de ces deux mondes, soit d'offrir des produits personnalisés à des prix comparables à ceux offerts par la production de masse. Le but de la personnalisation de masse est donc de répondre à des besoins spécifiques des clients et ce, à faible coût et le plus rapidement possible (Salvador *et al.* 2004). Les produits doivent donc être fabriqués de manière à permettre différentes options en cours de fabrication (Poulin *et al* 2006).

C'est en se basant sur cette possibilité d'offrir, dans de courts délais, des produits personnalisés à faible coût que les entreprises comptaient et comptent se démarquer des concurrents à haut volume. Toutefois, ce changement de cap a nécessité, pour plusieurs, une revue complète des pratiques d'affaires adoptées depuis bon nombre d'années.

Par exemple, la réduction du temps de réponse pour la livraison des produits vendus requiert une diminution de la taille des lots de production. Afin de demeurer compétitives, les entreprises doivent devenir plus flexibles en réduisant les temps de mises en course et en améliorant la polyvalence et la mobilité du personnel.

Dans un contexte où il est préférable de multiplier l'offre aux consommateurs tout en maintenant les coûts globaux au minimum, la production en modules ou la différenciation retardée constitue un outil de premier plan. En effet, le niveau de technologie utilisé pour usiner les composantes nécessitant des tolérances serrées implique des mises en course s'étalant sur plusieurs minutes.

Il est alors difficile de fabriquer une pièce à la fois. La production est donc réalisée en lots de composantes standards. Ces dernières sont ensuite entreposées avant d'être assemblées en fonction des commandes des consommateurs finaux.

La personnalisation de masse implique de nombreux changements à l'intérieur des organisations. Les structures mêmes des réseaux incluant ces dernières en sont donc grandement affectées. Ces répercussions touchent principalement deux aspects de l'entreprise soit le processus de gestion de l'approvisionnement à travers le réseau et l'affectation des ressources.

Le processus de gestion de l'approvisionnement affecte tous les constituants de la chaîne de valeur. En ce sens, le choix de l'emplacement des fournisseurs et des entrepôts ainsi que la dimension des lots de transfert doivent être étudiés de manière à minimiser les coûts globaux relatifs à la fabrication réseau ainsi que les temps de passage à l'intérieur de ce dernier. L'affectation des ressources joue, quant à elle, un rôle important dans la mesure où elle répartit la charge de travail dans la chaîne d'approvisionnement. Ce partage de la charge de travail peut donc entraîner la nécessité de revoir la forme des organisations au centre de la chaîne de valeur.

Cette revue de littérature a permis de dresser un portrait des différentes stratégies que peuvent adopter les entreprises québécoises pour se doter d'avantages concurrentiels vis-à-vis la concurrence des pays émergents. Les formes organisationnelles supportant ces stratégies ont aussi été visitées. Les prochaines sections ont comme objectif de déterminer quelle combinaison d'une stratégie manufacturière et d'une structure organisationnelle peut le mieux supporter l'ajout d'avantages concurrentiels, les ajouts d'options ou de choix pour le consommateur final.

CHAPITRE 3 : PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE DE RECHERCHE

Un des objectifs de cette recherche est l'application des recommandations qui seront émises. Il est donc incontournable de baser la recherche sur une situation réelle. Comme il a été mentionné précédemment, tout le secteur manufacturier québécois est touché par la hausse du dollar canadien et la dure compétition des pays émergents. Toutefois, un secteur semble tout particulièrement touché par ce changement dans l'environnement manufacturier au Québec, celui du meuble. Ce secteur est composé de plusieurs petites et moyennes entreprises, souvent regroupées sous forme de réseaux. L'étude d'une de ces chaînes de valeur constitue donc un sujet d'observation très riche.

3.1 Question de recherche

Dans un contexte où la demande est de plus en plus volatile et où la compétition devient forte, le choix de la stratégie manufacturière à adopter est critique. L'éventail d'options offertes étant vaste, certains manufacturiers choisissent des solutions hybrides regroupant plusieurs stratégies différentes. L'évaluation de ces choix peut alors facilement devenir complexe et ardue.

L'objet du présent mémoire est l'évaluation de l'adoption de stratégies hybrides de production dans un réseau de sous-traitance soumis à une demande fixe. Compte tenu du caractère dynamique du sujet, la simulation représente une avenue intéressante afin de quantifier et comparer l'efficacité de différentes stratégies. La question de recherche est donc la suivante :

Comment réussir à augmenter l'éventail de produits offerts par une entreprise donneur d'ordres sans augmenter la valeur globale des inventaires dans l'ensemble du réseau d'entreprises la supportant dans le secteur du meuble?

3.2 Unité d'observation : Réseau de sous-traitance

Ce travail compte étudier l'impact de la variation de différents paramètres dont les règles de priorité, les délais administratifs et la position du point de décuplement, dans un réseau de sous-traitants du secteur du meuble au Québec. L'entreprise retenue est située au Québec et fonctionne actuellement selon une stratégie que l'on peut qualifier d'« *assemble to orders* » ou ATO. En effet, les commandes des consommateurs finaux y sont acheminées par l'entremise de détaillants. Elles sont d'abord regroupées sous forme de pool de commandes pour ensuite être mises en production. C'est alors que des composantes stockées chez le donneur d'ordres sont consommées.

L'entreprise étant spécialisée dans l'assemblage et la finition de meubles de salle à manger, elle n'usine aucune pièce de meubles. En effet, la fabrication des composantes de meubles est assurée par un réseau de sous-traitants spécialisés. On retrouve, chez le donneur d'ordres, une multitude de composantes pouvant être assemblées pour former une grande variété de meubles. La gestion de cet inventaire de sous-produits est faite sur stocks, c'est-à-dire que des commandes sont envoyées aux sous-traitants lorsque le niveau d'inventaires correspond au niveau de réapprovisionnement. La figure 2 qui suit illustre ce système.

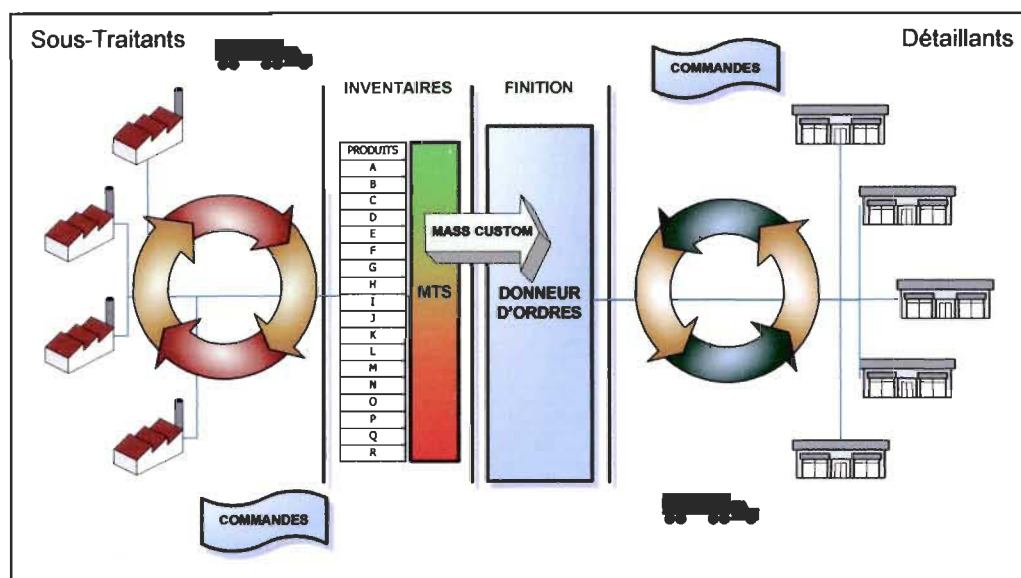


Figure 2 : Diagramme représentant la stratégie manufacturière du donneur d'ordres

Le rectangle présentant une gradation de couleur du plus pâle au plus foncé représente le niveau des inventaires de composantes. La couleur plus pâle désigne les composantes ayant une forte demande et la plus foncée, ceux dont la demande est plus marginale. Le donneur d'ordres utilise un système de classification de type A, B et C où les composantes de classe A sont les plus demandées.

La chaîne d'approvisionnement du donneur d'ordres comporte des entreprises spécialisées dans plusieurs domaines. Certains fabriquent, entre autres, des derrières de chaises assemblées, d'autres des composantes de meubles tournées ou des dessus de tables usinés. Pour des fins de simplification, le présent projet n'étudiera que la chaîne d'approvisionnement touchant les dessus de tables usinés.

3.2.1 Unité spécifique d'observation : les dessus de tables

Le réseau étudié compte cinq entreprises soit le donneur d'ordres, trois sous-traitants et le fournisseur commun de ces derniers en matière première. La figure 3 décrit l'échange d'informations entre les différents éléments de la chaîne d'approvisionnement spécifique aux dessus de tables.

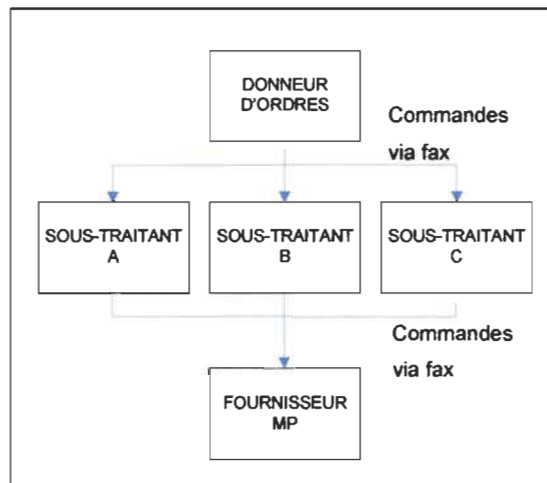


Figure 3 : Organigramme du réseau des dessus de tables

La gamme de dessus de tables offerte par le donneur d'ordres est très vaste. En effet, 15 familles de dessus de tables peuvent être fabriquées à l'intérieur du réseau de sous-traitants. Ces dernières se distinguent par leur forme et leur dimension. De plus, chacune de ces familles peuvent peut être décomposée en quatre sous-familles que nous nommerons 1, 2, 3 et 4 et qui correspondent au type de bordure de la table. La figure 4 décrit les subdivisions des produits en famille et en sous-famille de dessus de table.

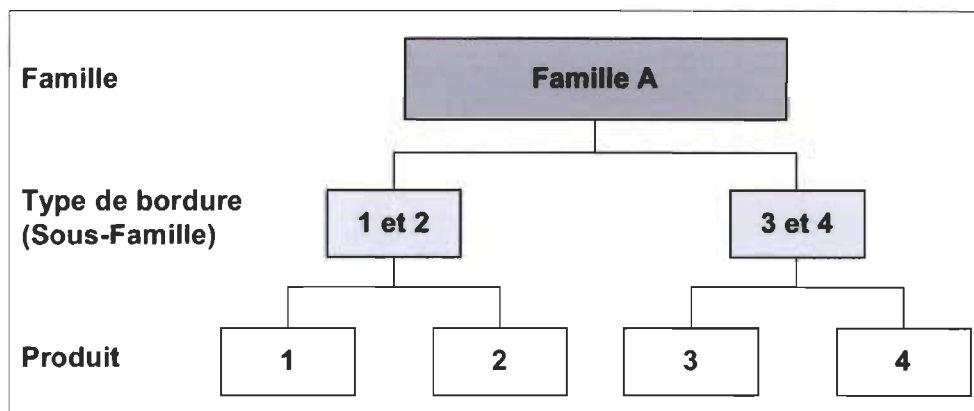


Figure 4 : Illustration de la gamme des dessus de tables

Le réseau est donc conçu pour fabriquer 60 dessus de tables (ou produits) différents ayant chacun des caractéristiques propres, tel son niveau de consommation, son temps d'usinage et sa gamme de fabrication. La figure 5 illustre sommairement la composition des dessus de tables en fonction des quatre types de bordures.

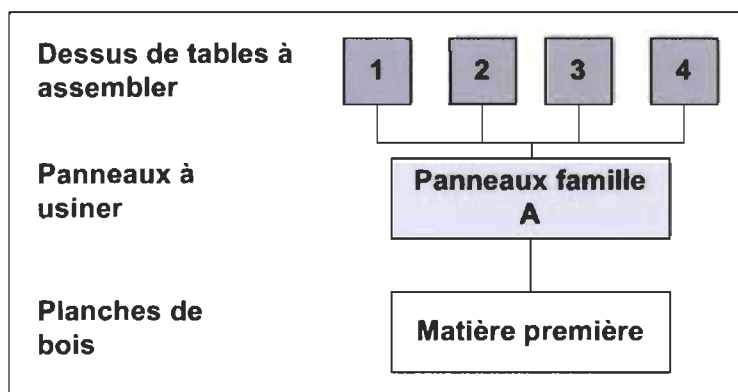


Figure 5 : Étapes de fabrication des dessus de tables

La répartition des commandes à travers le réseau est faite de manière statique, c'est-à-dire que chaque sous-traitant se voit attribuer un nombre de familles de produits et en devient le seul fournisseur. La variété des produits vendus affecte donc directement la charge de travail chez les sous-traitants.

Tel que mentionné précédemment, l'entreprise donneur d'ordres fonctionne selon une stratégie ATO. Les composantes fabriquées à l'intérieur du réseau sont donc acheminées chez le donneur d'ordres pour y être stockées. La consommation de ces dernières est alors faite en fonction des commandes dites « finales » passées par les détaillants.

Le réseau de sous-traitants fonctionne quant à lui selon une logique MTO (*make to order*). Chaque composante est commandée chez un seul sous-traitant selon des tailles de lots fixes, déterminées en fonction d'une analyse sommaire des coûts inhérents à l'entreposage et aux mises en course.

Les fabricants de dessus de tables œuvrant dans le réseau ont tous un unique fournisseur de panneaux. Ils passent alors leur commande pour leur matière première au fournisseur de panneaux. Ce dernier les fabrique puis les renvoie chez le sous-traitant.

3.2.2 Les indicateurs de performance

La mesure de la performance d'une chaîne d'approvisionnement est plus complexe que celle d'une entreprise intégrée verticalement. Il existe donc un modèle permettant d'intégrer différents indicateurs de performance sous un même tableau de bord. Ce modèle se nomme SCOR, un acronyme pour *supply chain operational reference*.

Le modèle SCOR est basé sur trois niveaux. Le niveau un est composé de cinq procédés de gestion distincts soit : Planifier, S'approvisionner, Fabriquer, Livrer et Retourner. Ces derniers sont ensuite décomposés en différentes catégories de procédés (ex : fabriquer sur stock/commande) pour former le niveau deux, selon le contexte dans lequel le réseau opère. Finalement, le troisième niveau regroupe tous les indicateurs de performance et logiciels supportant la gestion du réseau. La figure 6 représente visuellement cette structure (Huang *et al.* 2005).

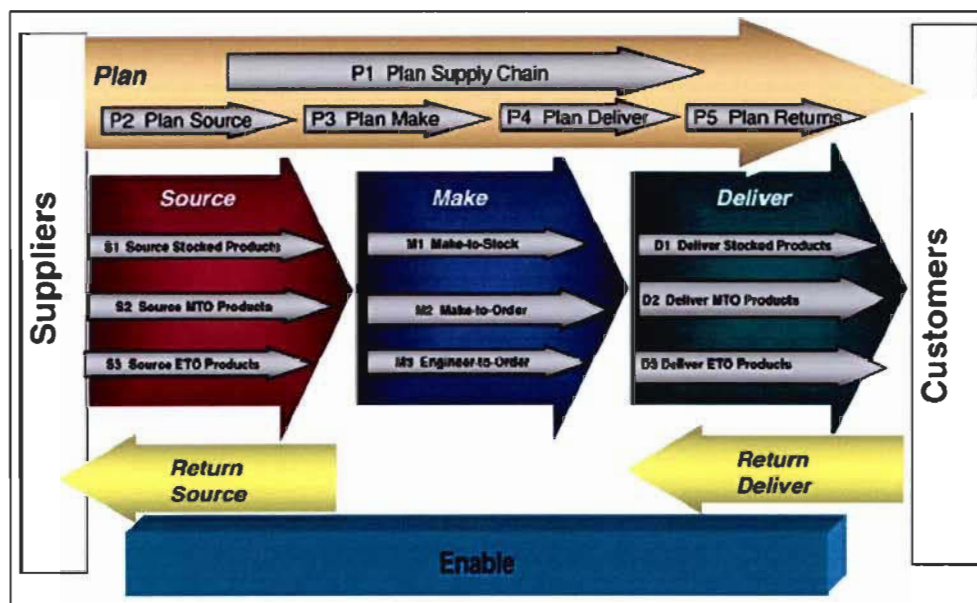


Figure 6 : Illustration du modèle SCOR

Selon le modèle SCOR, l'efficacité des chaînes d'approvisionnement peut être mesurée suivant 13 indicateurs de performance se rassemblant dans cinq catégories soit : la fiabilité, la réactivité, la flexibilité, les coûts et l'utilisation des immobilisations.

Une entreprise ne peut viser la perfection dans chacune de ces catégories, mais doit plutôt cibler certains indicateurs particulièrement pertinents pour elle. En pratique, les compagnies choisissent généralement six indicateurs des 13 proposés.

Voici quelques exemples d'indicateurs de performance utilisés par catégorie :

- La fiabilité
 - Pourcentage des commandes livrées à temps
- La réactivité
 - Le temps de passage des commandes dans le réseau
- La flexibilité
 - Le temps nécessaire pour fabriquer une commande sur le temps de passage réseau de ces dernières
- Les coûts
 - Coût de maintien en inventaire
- Efficacité d'utilisation des actifs
 - Pourcentage d'utilisation des équipements

Ces indicateurs ne sont que des exemples des variables pouvant être prises en compte dans la mesure de la productivité d'un réseau. Ceux choisis pour le présent document seront présentés au chapitre quatre.

Ce chapitre visait à familiariser le lecteur avec la question de recherche ainsi qu'avec le sujet de l'étude. L'objectif du chapitre suivant sera d'expliquer la méthodologie utilisée pour répondre à la question de recherche.

CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE

L'outil d'analyse choisi pour ce projet est la simulation. L'efficacité de cette dernière pour l'analyse de systèmes complexes est grandement reconnue et établie. De plus, puisque le mémoire vise l'implantation des recommandations qui en découleront, il est primordial d'en valider de manière précise les paramètres.

La compréhension du système étudié est incontournable afin de bien le représenter par un modèle de simulation. C'est pourquoi un travail de préparation et de recherche d'informations fut mené au cours des années 2005 et 2006, précédant la réalisation de ce mémoire. Des cartographies de la chaîne de valeur ainsi que des diagnostics ont donc été réalisés afin de rendre disponible toute l'information nécessaire à la simulation du réseau.

L'étude de l'impact de la variation de différents paramètres sur la valeur des indicateurs de performance réseau sera faite par étape, sous forme de scénarios. Cette manière de procéder a pour but d'isoler les paramètres, de manière à déterminer l'impact réel du changement de chacun d'eux. Des hypothèses seront aussi émises et validées par la simulation.

Le présent chapitre débutera donc par une description des indicateurs de performance qui seront utilisés comme base de comparaison entre les scénarios. Ensuite, une description détaillée du système manufacturier sera effectuée. Finalement, les différents scénarios de stratégie manufacturière seront expliqués.

4.1 Indicateurs de performance utilisés

La simulation permettra de tester l'efficacité de l'adoption de différentes stratégies manufacturières dans une entreprise réseau. Les différents scénarios seront donc comparés selon certains indicateurs de performance. Le choix de ces derniers est primordial dans la mesure où un réseau de sous-traitance ne peut être conçu pour performer également à tous les niveaux.

Par exemple, une chaîne d'approvisionnement pourra être très rapide, mais générera d'importants coûts d'opération. L'efficacité du réseau proposé lors de la

simulation sera donc mesurée à partir de neuf indicateurs de performance, tous inspirés du modèle SCOR présenté à la section 3.2.2. Le tableau 1 qui suit en donne les détails.

Tableau 1 : Tableau résumé des indicateurs de performance

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES
Fiabilité	Respect des délais clients	RD_{CC}
	Nombre de pénuries jour composantes	$\overline{BOC_i}$
	Nombre de pénuries jour panneaux	$\overline{BOP_i}$
Réactivité	Temps de passage réseau	TP_R
		σTP_R
	Temps de passage usine sous-traitant	TP_U
		σTP_U
	Temps de passage panneaux	TP_{PAN}
		σTP_{PAN}
Flexibilité	Variation de la charge de travail	VAR_n
Coûts	Valeur globale de l'inventaire	V_{TOT}
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements	$UCNC_i$
	Taux de rotation des inventaires	TO_{COMP}

4.1.1 Respect des délais client (RD_{CC})

Dans un contexte où l'importance de qualité des rapports avec les clients est nécessaire afin de développer un climat de confiance, l'assiduité et le respect des dates de livraison promises deviennent des enjeux majeurs.

Le temps de passage des commandes clients vise donc à mesurer le temps de passage des commandes entre leur arrivée dans le système informatique du donneur d'ordres jusqu'à leur entreposage en produits finis prêts à être livrés. Ce délai est composé du temps passé dans le pool de commandes, s'il y a lieu, du temps nécessaire pour attendre les composantes manquantes et finalement, du

temps nécessaire pour l'assemblage et la finition des produits vendus. La figure 7 décrit la composition du temps de passage des commandes clients dans le cadre de la simulation.

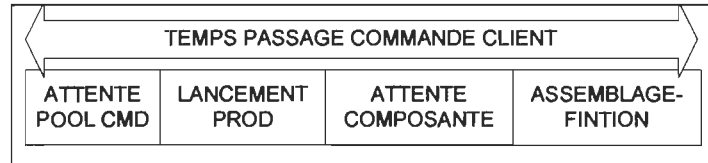


Figure 7 : Détail du temps de passage des commandes clients

Trois semaines sont actuellement allouées pour le temps de passage des commandes des clients. L'indicateur sera donc le quotient du nombre de commandes traitées dans les délais prescrits sur le nombre total de commandes traitées. Voici donc le détail du calcul :

$$RD_{CC} = \frac{NC_{OR}}{NC_{TOT}} \quad (1)$$

NC_{OR} : Nombre de commandes traitées dans les temps prescrits;

NC_{TOT} : Nombre total de commandes traitées.

4.1.2 Le nombre de pénuries jours ($\overline{BOC_i}$)

Plusieurs systèmes manufacturiers, dont celui présentement à l'étude, disposent de processus de sécurité permettant de faire face à certains imprévus tels les pénuries, les bris de machine ou encore, des pièces non conformes. Afin de s'assurer de la capacité de livrer à temps les commandes aux clients, certaines stratégies impliquent la création d'imposants stocks de sécurité aux étapes critiques du processus.

Il est donc intéressant de mesurer la fiabilité réelle du réseau d'approvisionnement en calculant le nombre de produits moyens en pénurie tout au long de la simulation. Ce nombre consiste en une moyenne pondérée dans le temps. Par exemple, si la moyenne pour les produits A est de 10 composants en pénurie, cela voudra dire qu'il y a eu en moyenne, tout au long de la simulation,

environ 10 composantes manquantes. Ce nombre peut toutefois provenir d'un épisode pendant lequel beaucoup plus d'composantes étaient manquants, mais pour une courte période de temps. Deux indicateurs de ce type ont été créés dans le cadre du présent mémoire, soit un pour les 60 composantes chez le donneur d'ordres et un, pour l'éventuel inventaire des 12 types de panneaux chez le fournisseur de ces derniers. Le même type de calcul sera donc effectué pour chacun d'eux suivant l'équation suivante :

$$\overline{BOC}_I = \frac{\sum_{i=1}^{60} X_{iy} * t}{T} \quad (2)$$

- X_{iy} : Nombre de composantes i en pénurie au temps y ;
 t : Temps t pendant lequel X composantes i ont été en pénurie;
 T : Temps total de la simulation en jours.

4.1.3 Temps de passage réseau (TP_R)

La capacité de l'entreprise donneuse d'ordres à livrer les commandes selon les délais prescrits chez ses détaillants dépend grandement de la fiabilité de son réseau d'approvisionnement. Toutefois, les retards observés par ce dernier n'engendreront pas nécessairement des retards chez les clients finaux. En effet, la présence d'inventaires ainsi que le temps dont dispose le donneur d'ordres peuvent, dans certains cas, compenser pour des délais non prévus.

Sachant que la flexibilité et l'efficacité d'une chaîne d'approvisionnement nécessitent une gestion « lean » (sans encours et délais inutiles), il peut être intéressant d'étudier la performance réelle du réseau afin d'en améliorer les performances en terme de fiabilité et de réactivité. Ces gains en productivité pourront alors se traduire par une diminution des inventaires et, ultimement, par une diminution des coûts globaux.

Le temps de passage des commandes dans le réseau est le résultat de plusieurs facteurs. Il débute dès la réception de la commande par le sous-traitant, comprend le temps d'acquisition des panneaux, de planification de la production,

d'usinage et de transport du sous-traitant jusqu'à l'envoi des dessus de tables usinées chez le donneur d'ordres. La figure 8 illustre la séquence de ces délais.

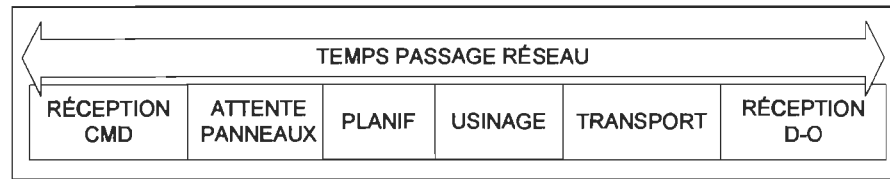


Figure 8 : Détail du temps de passage réseau

La situation idéale serait de n'observer aucune fluctuation dans le temps de passage des produits dans le réseau. En ce sens, tous les produits en inventaire le seraient pour des besoins réels et non pour pallier aux différents imprévus tels des problèmes de qualité ou de livraison. Toutefois, la réalité est souvent bien différente. Le taux d'utilisation des équipements critiques des sous-traitants peut grandement varier de sorte que le temps de passage d'un même produit peut être différent selon les commandes. Pour éviter de faire face à des pénuries, le donneur d'ordres doit déterminer son point de commande en fonction du temps de passage le plus long. L'indicateur du temps de passage réseau sera donc composé de deux indicateurs soit le temps de passage réseau réel en semaines et l'écart type de ce dernier (σTP_R) dont la valeur sera affichée dans le tableau résumé. Un faible écart type suggérera un meilleur contrôle du système ainsi que des inventaires requis relativement bas tandis qu'un écart type élevé signifiera la nécessité de maintenir un surplus en inventaire.

$$TP_R = TOUT_R - TIN_R \quad (3)$$

$TOUT_R$: Temps auquel la commande est livrée chez le donneur d'ordres;

TIN_R : Temps auquel la commande est passée chez le sous-traitant

4.1.4 Le temps de passage usine (TP_U)

Le temps de passage usine est le temps de passage des commandes sur le plancher de production des sous-traitants. Ce temps est directement affecté par la taille des lots de production, les temps de mises en course et la charge de

travail chez les sous-traitants. Tout comme le temps de passage réseau, l'écart-type (σTP_U) sera utilisé pour déterminer la stabilité de l'approvisionnement chez le donneur d'ordres.

$$TP_U = TOUT_U - TIN_U \quad (4)$$

$TOUT_U$: Temps auquel la commande sort de chez le sous-traitant;

TIN_U : Temps auquel la commande commence à être produite sur le plancher de production du sous-traitant.

4.1.5 Le temps de passage panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage panneau est le temps écoulé entre l'envoi de la commande de panneaux du sous-traitant vers son fournisseur, jusqu'à sa réception physique chez le sous-traitant. Les délais administratifs ainsi que le temps de fabrication y sont compris. Voici, présentée à la figure 9, la séquence des délais compris dans le temps de passage des panneaux.

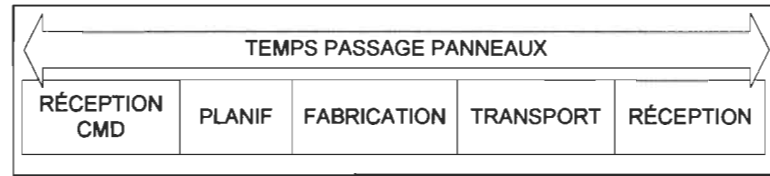


Figure 9 : Détail du temps de passage panneaux

Les délais d'attente pour l'obtention des panneaux nécessaires à l'usinage des dessus de tables influencent directement le temps de passage des commandes dans le réseau. Les variations touchant les délais d'approvisionnement doivent donc être prises en compte.

Pour cette raison, non seulement le temps de passage des commandes de panneaux sera pris en compte, mais aussi l'écart type de ces derniers (σTP_{PAN}).

$$TP_{PAN} = TOUT_{PAN} - TIN_{PAN} \quad (5)$$

$TOUT_{PAN}$: Temps auquel les panneaux sont reçus chez le sous-traitant;

TIN_{PAN} : Temps auquel la commande de panneaux est reçue chez le fournisseur du sous-traitant;

4.1.6 Rotation des inventaires (TO_i)

Le taux de rotation des inventaires peut être utilisé pour mesurer l'efficacité avec laquelle les surfaces de plancher sont utilisées pour l'entreposage des composantes. Un taux égal à un (1) signifie que le stock n'est renouvelé qu'une seule fois dans l'année. Le risque de désuétude est donc élevé. Plus le taux de rotation est élevé, meilleure est donc l'utilisation de la surface de plancher chez le donneur d'ordres. De plus, un fort taux de rotation minimise le risque de désuétude.

Comme les points de commande ainsi que les temps de passage diffèrent selon les produits, le calcul sera effectué pour chaque composante. Un indice portant le nom des composantes sera donc ajouté à l'indicateur.

$$TO_{COMP} = \frac{A_{COMP}}{\bar{I}_{COMP}} \quad (6)$$

\bar{I}_{COMP} : Inventaire moyen sur une base annuelle
 A_{COMP} : Consommation annuelle

4.1.7 La valeur moyenne des inventaires dans le réseau ($\overline{V_{TOT}}$)

L'équation permettant de calculer la valeur totale des encours et de l'inventaire dans le réseau sera la suivante :

$$\overline{V_{TOT}} = \overline{V_{WIP}} + \overline{V_{INV}} \quad (7)$$

$\overline{V_{WIP}}$: La valeur moyenne des composantes et panneaux encours;
 $\overline{V_{INV}}$: La valeur moyenne des composantes et des panneaux en inventaire :

La stratégie du déplacement du point de découplage a, entre autres, comme objectif, une réduction de la valeur globale des inventaires dans le système tout en assurant le même niveau de service aux clients. L'évaluation des différentes stratégies entre elles doit donc tenir compte de la valeur globale des inventaires dans le réseau.

Par exemple, la valeur des composantes prêtes à être assemblées est supérieure à celle des panneaux bruts présents chez le fournisseur.

L'indicateur devra aussi tenir compte des encours présents dans le réseau. Il serait difficile et fastidieux de compter chacune des composantes présentes en encours chez les sous-traitants et chez le fournisseur de panneaux. Une valeur moyenne sera donc calculée pour les composantes en cours de processus chez les sous-traitants et chez leur fournisseur de panneaux selon le principe d'une moyenne pondérée. L'équation qui suit résume ce calcul pour les 60 composantes.

$$\overline{VCOM} = \sum_{i=1}^{60} PCOM_i * VCOM_i \quad (8)$$

- \overline{VCOM} : Valeur moyenne pondérée des composantes;
 $PCOM_i$: Proportion de la composante i sur la consommation annuelle de toutes les composantes
 $VCOM_i$: Valeur en \$ de la composante i .

La valeur totale des encours totaux pour les 12 types de panneaux sera quant à elle calculée en se basant sur l'équation 9 suivante :

$$\overline{VPAN} = \sum_{i=1}^{12} PPAN_i * VPAN_i \quad (9)$$

- \overline{VPAN} : Valeur moyenne pondérée des panneaux;
 $PROP_i$: Proportion des panneaux i consommés annuellement
 $VPAN_i$: Valeur en \$ du panneau i .

La valeur des composantes et des panneaux en cours de fabrication sera calculée selon l'équation suivante :

$$\overline{V_{WIP}} = \overline{V_{WIP-PAN}} + \overline{V_{WIP-COMP}} \quad (10)$$

- $\overline{V_{WIP-PAN}}$: Valeur moyenne en \$ des panneaux encours;
 $\overline{V_{WIP-COMP}}$: Valeur moyenne en \$ des composantes encours.

L'équation permettant de calculer la valeur des composantes en cours de fabrication se définit comme suit :

$$\overline{V_{WIP-COM}} = N_{WIP-COM} * \overline{V_{COM}} \quad (11)$$

$N_{WIP-COM}$: Nombre de composantes en cours de fabrication;

$\overline{V_{COM}}$: Valeur moyenne en \$ des composantes
(calculée selon l'équation 8)

L'équation permettant de calculer la valeur des panneaux en cours de fabrication se définit comme suit :

$$\overline{V_{WIP-PAN}} = N_{WIP-PAN} * \overline{V_{PAN}} \quad (12)$$

$N_{WIP-PAN}$: Nombre de panneaux en cours de fabrication;

$\overline{V_{PAN}}$: Valeur moyenne en \$ des panneaux
(calculé selon l'équation 9)

Le calcul de la valeur des inventaires se fait, quant à lui, suivant cette équation :

$$V_{INV} = V_{PAN} + V_{COMP} \quad (13)$$

V_{PAN} : La valeur des inventaires de panneaux.

V_{COMP} : La valeur en \$ des composantes.

Comme 12 types de panneaux sont nécessaires pour la fabrication des 15 familles menant aux 60 différentes composantes, les limites de la sommation sont de 1 à 12. La valeur des inventaires de panneaux se calcule comme suit :

$$V_{PAN} = \sum_{i=1}^{12} NPAN_i * VPAN_i \quad (14)$$

$NPAN_i$: Nombre de panneaux de type i en inventaire;

$VPAN_i$: Valeur en \$ du panneau de type i.

Finalement, la valeur des inventaires des composantes se calcule comme suit :

$$V_{COMP} = \sum_{i=1}^{60} NCOMP_i * VCOMP_i \quad (15)$$

$NCOMP_i$: Nombre de composantes de type i en inventaire;

$VCOMP_i$: Valeur en \$ de la composante de type i.

4.1.8 La variation dans la charge de travail dans le réseau (VAR_n)

Le réseau de sous-traitance fonctionne en flux tiré. Les commandes provenant du donneur d'ordres doivent être traitées dans les semaines suivant leur réception. Aucun inventaire n'est donc conservé pour fournir rapidement des composantes chez le donneur d'ordres. L'avantage principal de cette stratégie est de limiter le niveau d'inventaire dans le réseau. Comme expliqué précédemment, les commandes sont émises lors de l'atteinte d'un certain niveau d'inventaire chez le donneur d'ordres. Aucune stratégie de planification n'est donc associée à la mise en production des commandes dans le réseau. La charge n'est donc pas répartie sur un horizon de planification. Le réseau est donc rarement en équilibre. Le modèle de simulation élaboré tient compte de cette réalité. Les produits sont fabriqués selon une gestion des files d'attente de type premier arrivé, premier servi ou « first in, first out » (FIFO).

Ces variations sont, bien entendu, indésirables car elles entraînent des coûts de main-d'œuvre supérieurs de par le temps supplémentaire requis en période de pointe et la non-valeur ajoutée lors des périodes plus creuses. Un indicateur de performance mesurant le niveau de variation sera donc calculé.

L'indicateur de performance s'inspire grandement du calcul de l'effet coup de fouet (Disney *et Towill* 2003). Les variations observées sur un niveau de la chaîne d'approvisionnement sont comparées aux autres en amont. Par exemple, le niveau de variation dans la charge de travail chez le donneur d'ordres concernant les mises en production par rapport à celles observées dans les deux niveaux inférieurs, chez les sous-traitants et leur fournisseur.

Voici l'équation qui sera utilisée :

$$VAR_n = \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\overline{X_n}} \quad (16)$$

σ_n : Écart type des encours de production au niveau n;
 $\overline{X_n}$: Moyenne des encours de production au niveau n;

Cette équation sert à déterminer le niveau d'amplification des variations du volume à produire à chaque niveau dans le réseau de sous-traitants. Les niveaux représentent les différents intervenants dans la chaîne de valeur. Le niveau un est le donneur d'ordres, le deux est le sous-traitant et le trois, le fournisseur de ces derniers. Le niveau de variation au deuxième niveau par rapport au premier se calcule donc comme suit :

$$VAR_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{X_2} \quad (17)$$

Le coefficient de variation est utilisé pour comparer les écarts types sur deux niveaux différents. Voici un bref rappel du calcul d'un coefficient de variation.

$$Cv_n = \frac{\sigma_n}{X_n} \quad (18)$$

σ_n : Écart type des encours de production au niveau n;
 $\overline{X_n}$: Moyenne des encours au niveau n

4.1.9 L'utilisation des équipements ($UCNC_j$)

L'usinage de dessus de tables nécessite l'utilisation d'équipements de haute technologie. Ces derniers sont souvent coûteux et constituent l'équipement goulot des organisations.

Pour cette raison, seule l'utilisation des centres d'usinage à contrôle numérique (CNC) sera suivie.

$$UCNC_j = \frac{HU_j}{HD_j} \quad (19)$$

HU_j : Heures utilisées par le CNC j
 HD_j : Heures disponibles pour le CNC j

Les indicateurs de performance permettront de dresser différents tableaux comparatifs servant d'éléments de base pour l'évaluation des différents scénarios. Leur compréhension ainsi que leur validité sont donc importantes.

4.2 Modélisation

La modélisation de la situation actuelle ainsi que les scénarios seront présentés dans la sous-section qui suit sous forme de schémas simples afin de faciliter la compréhension du lecteur.

4.2.1 Situation actuelle

Actuellement, la production chez le donneur d'ordres se fait selon un modèle *Assemble to orders*. Les commandes provenant des détaillants sont accumulées sous forme de blocs de commandes ayant une capacité estimée à 800 tables par semaine. Ces dernières sont ensuite mises en production, consommant du même coup des composants déjà en inventaire. Ce n'est que lorsqu'un certain niveau de composants en stock est atteint qu'une commande de taille fixe est acheminée au sous-traitant responsable de leur fabrication. Les sous-traitants ne tenant pas en inventaire la matière première requise pour la fabrication des dessus de table passent alors une commande auprès du fournisseur de panneaux de bois massif. La figure 10 illustre bien cette interaction.

Les horloges situées au-dessus des rectangles de la figure 10 indiquent les étapes du flux d'information constituant les délais administratifs non reliés à la production. Les flèches pleines indiquent, quant à elles, le transfert de matériel. Les commandes circulent donc de gauche à droite, et les produits, de droite à gauche. Le triangle entre le donneur d'ordres et les sous-traitants représente l'inventaire en composants nécessaires pour la fabrication de dessus de tables.

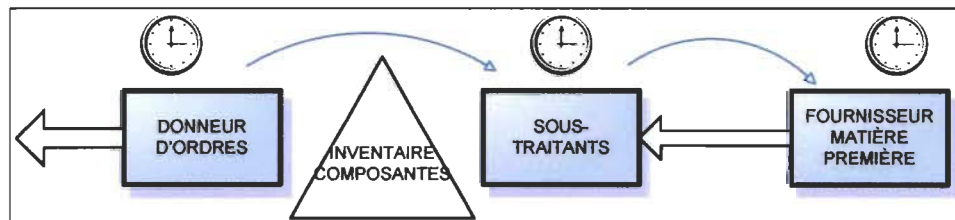


Figure 10 : Représentation graphique de la situation actuelle

Les commandes acheminées au fournisseur sont constituées d'un regroupement de commandes nécessitant les mêmes panneaux. Le fournisseur met donc en production des lots de taille variable, dépendamment du nombre de commandes à remplir et de la taille de ces dernières.

Par exemple, un sous-traitant, recevant un lot de commandes du donneur d'ordres dans lequel on retrouve trois commandes d'une même famille et nécessitant les mêmes panneaux bruts de 100, 40 et 50 composantes, enverra une commande de 190 panneaux au fournisseur de panneaux. Il sera donc mis en production, chez ce dernier, un lot de 190 panneaux de même dimension.

Tous les produits offerts aux clients du donneur d'ordres sont fabriqués suivant cette même logique, indépendamment de leur niveau de consommation. Toutefois, les points de réapprovisionnement ainsi que la taille des lots de fabrication commandés varient grandement, selon la demande annuelle prévue pour ces derniers.

Dans le réseau étudié, le point de décuplement se trouve chez le donneur d'ordres, les composantes nécessaires à l'assemblage final des produits y étant entreposées. De plus, toutes les commandes sont traitées selon la même priorité, à l'exception des produits en rupture de stock, situation peu commune aux impacts négligeables qui ne sera pas simulée par le présent modèle.

L'usinage des dessus de tables nécessite l'utilisation d'un centre d'usinage à contrôle numérique. Cette opération est relativement longue et nécessite des mises en course s'étalant sur plus d'une heure. C'est en se basant sur ces observations que l'on peut affirmer que les CNC constituent les goulots dans la chaîne d'approvisionnement des dessus de tables. Il devient alors difficile d'inclure des commandes de taille unitaire (un seul produit à fabriquer) dans le réseau, les temps de mises en course sur les équipements goulots étant beaucoup trop longs.

Le donneur d'ordres offre des produits personnalisés selon les goûts des clients finaux certes. Cette personnalisation entraîne toutefois des coûts de maintien en inventaire non négligeables, en plus d'occuper de l'espace plancher dans les usines d'assemblage.

Un changement de stratégie manufacturière permettant d'élargir l'offre de produits aux clients finaux, sans toutefois surcharger l'espace de plancher, devrait donc être considéré. Cette avenue sera traitée dans la section suivante sous forme de scénarios.

La stratégie choisie pour évaluer l'impact du changement des paramètres sur les indicateurs de performance est l'élaboration de scénarios inclusifs. Le deuxième scénario comprend les éléments du premier et le troisième, ceux des deux précédents. La section qui suit explique en détails chacun d'eux.

4.2.2 Scénario 1 : Règles de priorité chez le sous-traitant

Comme décrit plus haut, le réseau de sous-traitants sélectionné aux fins de l'étude fonctionne en « *Assemble to orders* » chez le donneur d'ordres et en « *Make to stock* » dans les deux niveaux inférieurs. En fait, d'un point de vue systémique, le réseau de sous-traitants fonctionne sur stock. Toutefois, d'un point de vue local, ces derniers fonctionnent sur commande, aucun stock n'étant présent pour combler directement les commandes.

Le premier segment du projet portera sur la simulation du passage de deux types de commandes avec deux niveaux de priorité différents, représentés par les flèches sur lesquelles il est indiqué « Prio » pour les commandes priorisées, ou « MTS » pour les autres commandes. Les commandes priorisées joueront donc le rôle de commandes de type « *Make to orders* » ou MTO. La stratégie reliée aux autres commandes demeurera inchangée à « *Make to stock* » ou MTS. La figure 11 illustre le fonctionnement du scénario 1.

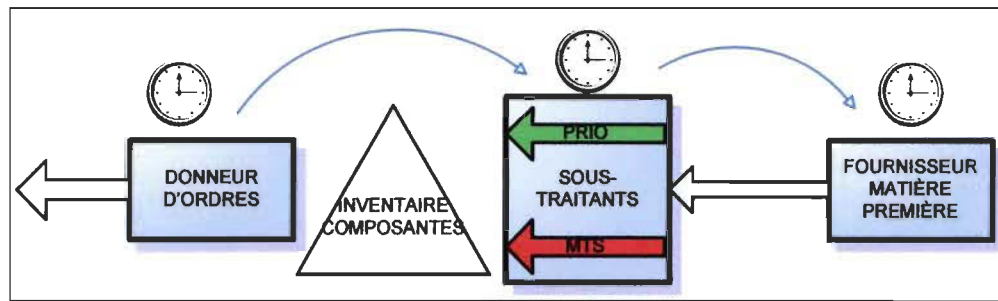


Figure 11 : Représentation graphique du scénario 1

Il peut être excessivement difficile de diminuer les temps de mise en course de manière à pouvoir se permettre la production de lots unitaires, c'est-à-dire la fabrication d'un produit à la fois. En ce sens, la taille des lots de production demeurera inchangée dans ce scénario afin de ne pas nuire à la rentabilité des opérations.

La mise en place de règles de priorité a pour but de permettre une réduction des niveaux d'inventaire de *certaines* composantes peu populaires, afin de pouvoir offrir un plus large éventail de composantes aux consommateurs et ce, sans augmenter la valeur globale des inventaires. En effet, l'entreprise étudiée désire évaluer la possibilité d'introduire certains autres produits à ceux déjà offerts.

L'attribution des niveaux de priorité accordés aux produits a été faite en fonction de la consommation annuelle des familles. En effet, les quatre composantes d'une même famille utilisent les mêmes panneaux et peuvent être usinés selon la même mise en course. La sélection des composantes priorisés a été réalisée en se basant sur la loi de Pareto. En ce sens, six familles de produits sur les 15 possibles (représentant 40% des composantes offerts) ont été choisies. Ces dernières représentent 20 % du volume annuel de commandes chez le donneur d'ordres. Le tableau suivant dresse une liste des familles de composantes qui seront traitées en priorité. Le chiffre un indique les composantes non prioritaires, et le chiffre deux, ceux qui seront priorisés.

Tableau 2 : Priorité des familles de produits

FAMILLE	PRIORITÉ	FAMILLE	PRIORITÉ	FAMILLE	PRIORITÉ
361	1	421	1	540	2
364	2	424	1	600	2
381	1	440	1	601	1
384	1	442	1	4230	2
400	1	481	2	4231	2

Il est important de mentionner que la priorité des commandes de type MTO se limitera aux planchers d'usines chez le sous-traitant et chez le fournisseur de panneaux bruts. Les autres commandes non priorisées seront traitées selon la règle du premier arrivé, premier servi ou « First in, First out ».

Hypothèses

Les résultats anticipés sont une augmentation du temps de passage des commandes non favorisées par les nouvelles règles, se traduisant par une diminution des niveaux d'inventaires chez le donneur d'ordres. L'inverse sera donc attendu pour les composantes priorisés. L'inventaire des composantes devrait donc y être supérieur.

La charge de travail peut influencer l'effet des règles de priorité. En effet, dans un contexte où les équipements sont peu utilisés, les commandes ne font pas nécessairement la queue avant de passer aux postes de travail. Les règles de priorité ne sont donc simplement pas appliquées. Les différences concernant le niveau d'inventaire et le temps de passage moyen entre les deux types de composantes (priorisées ou non) ne devraient donc pas être notables.

Afin de faciliter la compréhension du lecteur vis-à-vis les résultats attendus par la simulation des scénarios, un tableau regroupant les indicateurs de performance utilisés ainsi que leur variation attendue sera complété pour chaque scénario. L'évaluation des changements attendus sera faite selon une codification à cinq niveaux. Le tableau 3 décrit ces derniers.

Tableau 3 : Codification du mouvement de la valeur des indicateurs de performance

Mouvement de la valeur de l'indicateur	Code associé
Forte baisse	↓
Légère baisse	↘
Aucun changement	→
Légère hausse	↗
Forte hausse	↑

Le tableau 4 résume le mouvement attendu pour chacun des indicateurs de performance décrits dans le tableau précédent.

Tableau 4 : Mouvement anticipé de la valeur des indicateurs de performance pour le scénario 1

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	MOUVEMENT ANTICIPÉ
Fiabilité	Respect des délais clients	RD_{CC}	↗
	Nombre de pénuries jour composantes	$\overline{BOC_i}$	↘
	Nombre de pénuries jour panneaux	$\overline{BOP_j}$	Non Applicable
Réactivité	Temps de passage réseau	TP_R	↘
		σTP_R	↘
	Temps de passage usine sous-traitant	TP_U	↓
		σTP_U	↓
	Temps de passage panneaux	TP_{PAN}	→
		σTP_{PAN}	→
Flexibilité	Variation de la charge de travail	VAR_n	→
Coûts	Valeur globale de l'inventaire	V_{TOT}	→
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements	$UCNC_j$	→
	Taux de rotation des inventaires	TO_i	→

L'ajout de règles de priorité permettant à certains produits de passer plus rapidement dans les usines des sous-traitants aura comme effet de diminuer le temps de passage moyen des commandes certes, mais aussi, fera augmenter l'écart type de ce dernier. En effet, comme l'écart type est calculé de manière globale, la présence de deux types de produits passant à des vitesses différentes dans le réseau devrait affecter l'écart type.

De plus, la réduction des temps de passage devrait aussi faire augmenter le niveau d'inventaire moyen des composantes chez le donneur d'ordres.

4.2.3 Scénario 2 : Règles de priorité et ajout d'un inventaire de panneaux bruts.

Le donneur d'ordres fonctionne selon un système « assemble to orders » ayant fait ses preuves dans un contexte de forte demande. Les années à venir seront grandement différentes des périodes passées où l'on fabriquait de grandes quantités de meubles de toutes sortes vendues facilement. Les manufacturiers devront diversifier leur offre et se doter de la capacité de fabriquer à faible coût une multitude de produits différents.

Le cycle de vie des produits tend à diminuer. Lors de changement de design, de hauts niveaux d'inventaire peuvent donc entraîner des coûts désuétude. Une stratégie pouvant aider à diminuer le risque de désuétude des composantes est de déplacer le point de découplage vers la matière première. On entrepose alors des composantes ayant une valeur ajoutée plus petite et présentant des possibilités de réutilisation en cas de changement dans le design.

En ce sens, un inventaire de panneaux bruts, prêts à être usinés, sera créé chez le fournisseur de ces derniers dans le but de réduire le temps de passage des commandes à l'intérieur du réseau. Le calcul des points de commande sera basé sur les temps de passage à l'usine de panneaux de la matière première nécessaire à la fabrication des dessus de tables. Ce scénario est illustré de manière graphique à la figure 12.

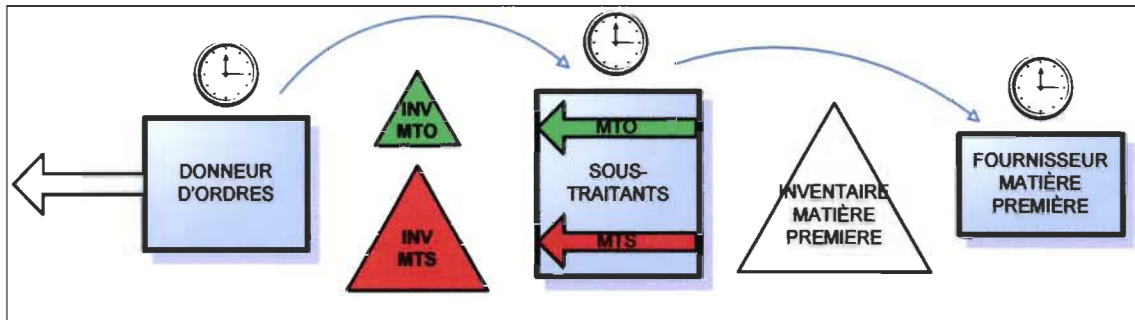


Figure 12 : Représentation graphique du scénario 2

Le temps de passage moyen des commandes dans le réseau suit une loi normale. Il est donc possible d'utiliser l'équation 20 pour déterminer le niveau d'inventaire à maintenir pour s'assurer du niveau de service voulu.

Voici un exemple de calcul servant à déterminer les points de commandes pour les panneaux bruts constituant la matière première pour la fabrication des dessus de tables.

$$PCPAN_j = (TPPAN * DPAN) + (DPAN * \sigma TPPAN * Z) \quad (20)$$

$PCPAN_j$: Le point de commandes pour les panneaux de type j

$TPPAN_j$: Le temps de passage pour les panneaux de type j (en semaines)

$\sigma TPPAN_j$: L'écart type du temps de passage des panneaux de type j (en semaines)

$DPAN_j$: La demande en panneaux de type j par semaine

Z : Le niveau de service voulu (1,96 = 97.5%)

L'ajout du facteur Z à une valeur de 1,96 a pour but de s'assurer de combler la demande pendant le temps de fabrication des panneaux dans 97,5% des cas. Cette valeur a été déterminée en fonction du niveau de service actuellement observé dans le réseau. Bien entendu, une valeur supérieure aurait pu être choisie, mais aurait impliqué des inventaires plus importants.

De plus, le fournisseur de panneaux ne constitue pas le dernier maillon de la chaîne d'approvisionnement. Les pénuries n'y affectent donc pas directement les clients finaux, mais diminuent plutôt la marge de manœuvre des sous-traitants en terme de délais de livraison.

Hypothèses

L'entreposage de composantes avec moins de valeur ajoutée, tels les panneaux chez le fournisseur, aura comme impact non seulement de diminuer la valeur des inventaires, mais aussi de diminuer l'espace occupé chez le donneur d'ordres. En effet, comme beaucoup de produits sont faits avec les mêmes panneaux, il sera possible de ne garder qu'une fraction de ces derniers.

L'incertitude concernant les composantes consommées diminue d'un niveau puisque la consommation des panneaux n'est répartie que sur 12 produits comparativement à 60 pour les dessus de tables. Les besoins en panneaux pour la production des 800 tables en moyenne sont donc beaucoup plus faciles à prévoir.

Finalement, la valeur de l'inventaire présent dans le réseau sera comparée avec la situation actuelle. Les composantes usinées ayant accumulé de la valeur ajoutée vaudront plus que les panneaux bruts. Une réduction d'inventaire chez le donneur d'ordres peut donc permettre l'ajout d'inventaire chez le fournisseur de panneaux. Le tableau 5 résume les hypothèses concernant le comportement des indicateurs.

Tableau 5 : Mouvement anticipé de la valeur des indicateurs de performance pour le scénario 2

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	MOUVEMENT ANTICIPÉ
Fiabilité	Respect des délais clients	RD_{CC}	↑
	Nombre de pénuries-jour composantes	\overline{BOC}_i	↓
	Nombre de pénuries-jour panneaux	\overline{BOP}_j	↓
Réactivité	Temps de passage réseau	TP_R	↓
		σTP_R	↑
	Temps de passage usine sous-traitant	TP_u	↘
		σTP_u	↗
	Temps de passage panneaux	TP_{PAN}	↓
		σTP_{PAN}	↘
Flexibilité	Variation de la charge de travail	VAR_n	↗
Coûts	Valeur globale de l'inventaire	V_{TOT}	→
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements	$UCNC_j$	→
	Taux de rotation des inventaires	TO_i	↘

4.2.4 Scénario 3 : Règles de priorité, inventaire de panneaux bruts et réduction des délais administratifs

Lors de cartographies de la chaîne de valeur réalisées dans le même réseau que celui présentement étudié, il a été démontré qu'une grande proportion du temps de passage des commandes est attribuable aux délais administratifs.

Dans ce dernier scénario, les délais administratifs relatifs au traitement des commandes priorisées (MTO) seront diminués. Les sous-traitants réserveront une partie de leur capacité de production pour l'usinage de composantes de type MTO. Étant donné que les panneaux bruts seront plus rapidement disponibles, la mise en production pourra être faite beaucoup plus rapidement.

Comme la production unitaire ne peut être appliquée dans un contexte où les temps de mise en courses sont significatifs, la taille des lots de production des composantes considérés comme MTO demeurera la même. Le point de commande des composantes MTO sera toutefois réévalué pour être fixé à zéro. Cette modification a comme objectif de rapproche le modèle d'une production sur commandes. Le lancement des lots de production de type MTO se fera donc dès l'arrivée des commandes, lorsque l'inventaire sera nul.

Cette stratégie se situe à cheval sur les principes de production sur commande et sur stock. Bien que le temps de passage dans le réseau permette la fabrication d'composantes sur commande, la technologie présentement utilisée ne permet pas une réduction suffisante de la taille des lots pour générer des commandes d'une seule unité de manière rentable. L'entreposage des composantes gérées selon le principe de MTO n'est donc que le résultat de l'incapacité, du moins pour le moment, du système à produire de manière unitaire les commandes. La figure 13 illustre la mécanique du scénario 3.

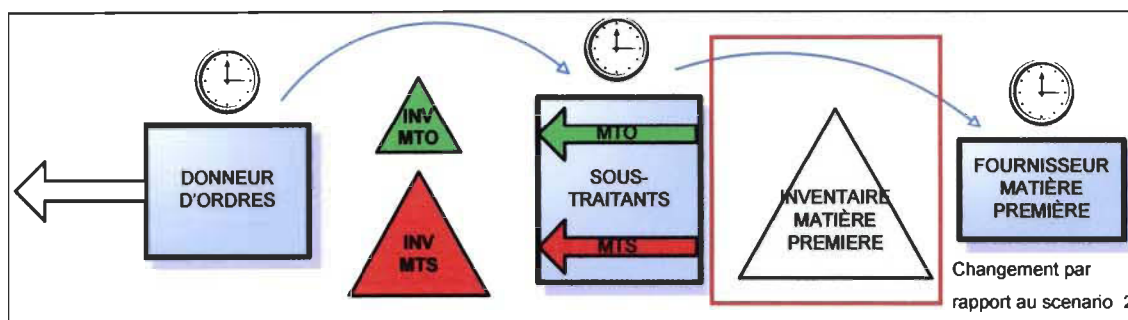


Figure 13: Représentation graphique du scénario 3

La mise en production des commandes chez le donneur d'ordres sera aussi changée. Une fraction de la capacité de production sera réservée pour les composants en MTO. De plus, les composants nécessaires à la fabrication de ces composants traités sur commandes seront commandés dans les 24 heures après leur entrée dans le système. Si les composants requis pour l'assemblage de ces dernières sont disponibles en inventaire, les commandes seront immédiatement mises en production chez le donneur d'ordres.

Hypothèses

La stratégie combinant le déplacement du point de découplage, l'ajout de règles de priorité et la diminution des délais administratifs constituent la solution présentant le meilleur potentiel d'amélioration. En effet, les gains en terme de temps de passage devraient être importants, permettant une réduction marquée des inventaires de composants en aval du réseau de sous-traitants. Le tableau 6 résume ces hypothèses.

Tableau 6 : Mouvement anticipé des indicateurs de performance pour le scénario 3

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	MOUVEMENT ANTICIPÉ
Fiabilité	Respect des délais clients	RD_{CC}	↑
	Nombre de pénuries-jour composantes	\overline{BOC}_i	↓
	Nombre de pénuries-jour panneaux	\overline{BOP}_j	↓
Réactivité	Temps de passage réseau	TP_R	↓
		σTP_R	↑
	Temps de passage usine sous-traitant	TP_u	↘
		σTP_u	↗
	Temps de passage panneaux	TP_{PAN}	↓
		σTP_{PAN}	↘
Flexibilité	Variation de la charge de travail	VAR_n	↗
Coûts	Valeur globale de l'inventaire	V_{TOT}	↑
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements	$UCNC_j$	→
	Taux de rotation des inventaires	TO_i	↘

Les indicateurs recueillis ne servent qu'à expliquer et quantifier les changements ayant eu cours dans le réseau. Les niveaux d'inventaire des composantes sont beaucoup trop élevés, compte tenu des fortes réductions des temps de passage observés. Une recommandation finale comportant les changements à apporter sera expliquée et simulée dans la prochaine section.

Les trois scénarios présentés ont comme objectif d'explorer différentes approches afin de réduire le temps de passage réseau de composantes à l'intérieur d'une chaîne d'approvisionnement. La première simulation portera sur la mise en place de règles de priorité sur le plancher de production des sous-traitants. La seconde proposera la mise en place d'un inventaire intermédiaire entre le fournisseur de panneaux et les sous-traitants. Finalement, le dernier scénario explorera la réduction des délais administratifs à l'intérieur d'une chaîne d'approvisionnement.

CHAPITRE 5 : LA SIMULATION

Le but de ce projet de simulation est d'analyser le comportement d'un réseau de sous-traitance en y changeant certains paramètres opérationnels. La chaîne d'approvisionnement fonctionne actuellement en mode « Assemble to orders » pour toutes les composantes produites.

Le réseau de sous-traitance étudié étant complexe, les outils utilisés devront être robustes. En ce sens, certains ouvrages de la littérature soutiennent que la simulation est appropriée dans l'analyse de systèmes complexes tels les réseaux (Young Hae *et al* 2002) (Supply Chain Council (2003). Cette approche permet entre autres, l'analyse rapide de plusieurs scénarios en plus d'offrir des possibilités de visualisation facilitant leur compréhension (Reiner, 2005).

La simulation permettra également de comparer sur une même base la situation qui prévaut actuellement dans le réseau à celle proposée. De plus, le caractère dynamique de l'étude générera plusieurs données utiles quant à l'évolution des stocks et des délais.

Quoique populaire et efficace, la recherche opérationnelle ne s'applique pas au cas nous intéressant. La présente étude cherche à étudier une situation dynamique complexe durant laquelle plusieurs paramètres devront être variables.

La simulation est un outil très puissant d'analyse de systèmes complexes tel que mentionné plus haut. Toutefois, comme tout outil d'analyse complexe, il est très sensible aux données erronées. C'est pourquoi une cartographie de la chaîne de valeur du réseau de sous-traitant a été réalisée, par la chaire industrielle de recherche dans le secteur du meuble (CIRM), quelques mois précédant ce projet, soit à l'été 2006. Ce projet a permis de quantifier les échanges inter organisationnels en terme de délais et d'information transmise. Les données utilisées à l'intérieur du réseau de simulation proviennent donc en grande partie de cette cartographie de la chaîne de valeur.

Le but de la simulation est de reproduire la réalité le plus fidèlement possible à l'aide d'un modèle virtuel. On peut alors y tester différents scénarios, éliminant tout impact des essais sur la productivité réelle.

5.1 L'outil de simulation

La modélisation du réseau a été réalisée à l'aide du logiciel Arena de Rockwell Software. Le choix du logiciel a été fait en fonction de la disponibilité de la licence pour les étudiants de l'Université du Québec à Trois-Rivières. L'élaboration conjointe du modèle avec l'entreprise étudiée a nécessité 10 mois d'exploration pendant lesquels plusieurs visites à travers le réseau ont été nécessaires afin de bien comprendre la nature des échanges entre les différents intervenants.

Afin de faciliter la compréhension du lecteur vis-à-vis les différents modules formant le modèle, la section qui suit décrit sommairement les nœuds les plus utilisés. Une illustration du nœud lui-même ainsi que la boîte de dialogue permettant son édition y sont aussi présentées.

5.1.1 Le nœud Create

Le nœud « Create » permet de faire entrer des entités dans le réseau. Les principales variables devant être fixées sont le temps interarrivée des entités ainsi que le nombre de ces dernières pour la simulation. La figure 14 illustre l'édition du nœud Create.

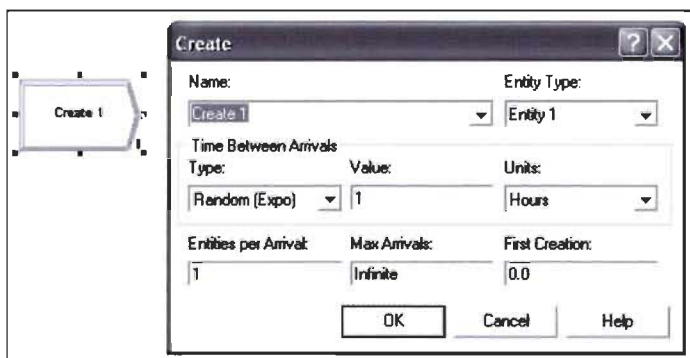


Figure 14 : Description du nœud Create

5.1.2 Le nœud Process

Le nœud « Process », présenté à la figure 15, sert à créer des délais lors du passage des entités. On peut soit simplement retarder les entités pendant une période de temps ou encore leur attribuer une ressource. Il en découle alors des délais relatifs au temps d'attente pour les ressources et au temps nécessaire pour traiter les entités. Les nœuds de ce type sont souvent utilisés pour représenter les postes de charge comme des centres d'usinage ou des stations de travail.

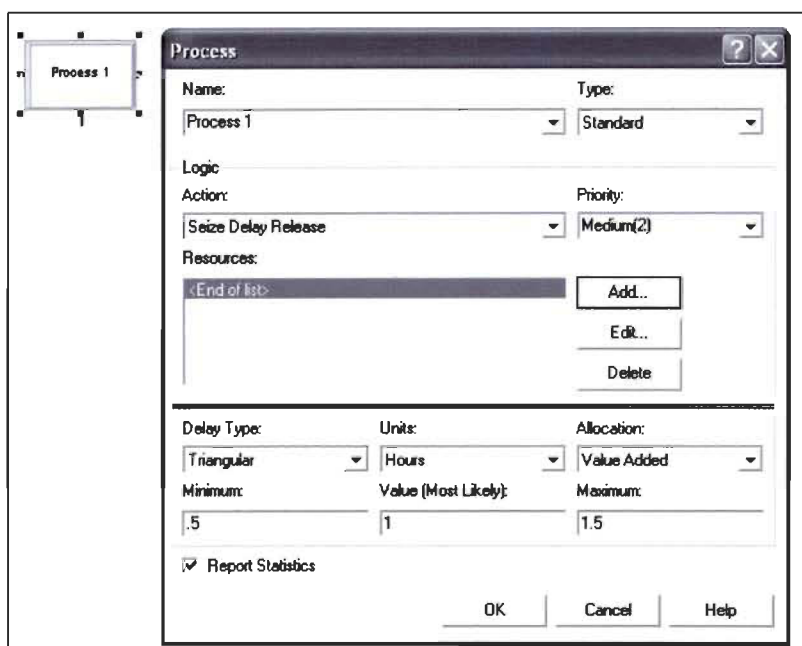


Figure 15 : Description du nœud Process

5.1.3 Le nœud « Match »

La figure 16 présente le nœud « Match » qui est composé de deux à quatre entrées. Les entités y entrent et y sont retenues jusqu'au passage de l'autre ou des trois autres. Ce nœud permet aussi de retenir les entités jusqu'au passage d'entités correspondant aux mêmes caractéristiques, comme un numéro de commandes par exemple.

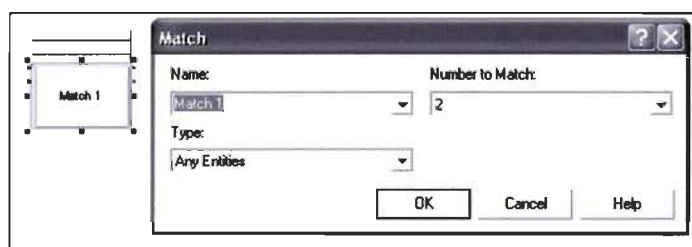


Figure 16 : Description du nœud Match

5.1.4 Le nœud « Decide »

Le nœud « Decide », présenté à la figure 17, permet de diriger les entités selon deux types de règles, soit probabiliste, soit par condition. On peut, par exemple, séparer deux types de commande, les MTO et les MTS, et leur faire emprunter des parcours différents.

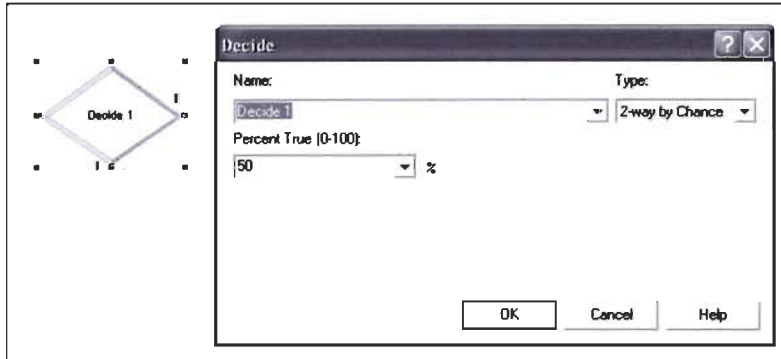


Figure 17 : Description du nœud Decide

5.1.5 Le nœud « Hold »

Le nœud « 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 y relâcher des entités si le niveau d'inventaire devient trop bas ou si l'utilisation des équipements devient trop faible. Une illustration du nœud Hold est présentée à la figure 18.

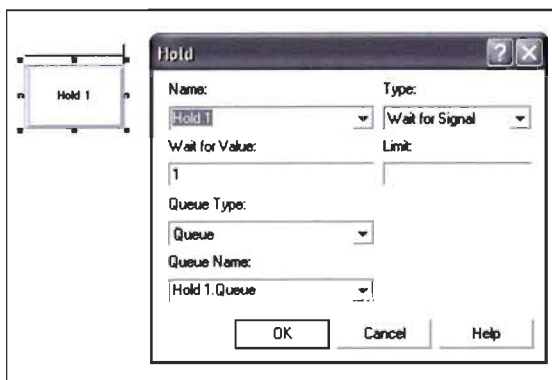


Figure 18 : Description du nœud Hold

5.1.6 Les nœuds « Route » et « Station »

Il pourrait être difficile d'établir un modèle en reliant chacun des nœuds par des connecteurs pour le transfert des entités. C'est pour cette raison que les concepteurs du logiciel Arena mettent à la disposition de l'analyste différents nœuds de transfert d'entités. Le nœud « Route » permet de rediriger les entités y entrant vers un nœud de type « Station » sans avoir à créer un lien physique tel des connecteurs. L'avantage de ces nœuds est principalement visuel. En effet, il pourrait être extrêmement difficile de se retrouver dans un réseau où il y aurait des centaines de milliers de connecteurs. De plus, une légère modification entraînerait plusieurs ajustements sur les connecteurs.

5.2 Le modèle de simulation

La stratégie de modélisation du réseau a été orientée vers la flexibilité du modèle. En effet, comme la modélisation d'une situation réelle est un projet en constante évolution, il était difficile de tenir à jour plusieurs versions du modèle pour répondre aux besoins des différents scénarios. Plusieurs paramètres tels la taille des lots, le positionnement du point de décuplement et les délais, devaient être facilement changés.

Afin de simplifier la tâche de l'analyste, les différents paramètres seront automatiquement mis à jour via des chiffriers Microsoft Excel. De plus, des rapports ont été générés à la fin de chaque simulation sous forme de feuille de calcul Excel. Ces rapports dressaient un résumé de l'inventaire moyen, du temps de passage des commandes, du taux d'utilisation des machines, ainsi que tout autre indicateur de performance utilisé. La simulation vise à étudier le comportement du réseau suivant différentes stratégies manufacturières. En ce sens, il n'est pas pertinent de s'attarder sur l'arrivée de commandes provenant des clients du donneur d'ordres. C'est pourquoi les commandes circulant dans le réseau représenteront les ordres de fabrications lancées par le donneur d'ordres pour combler des besoins en composantes nécessaires pour l'assemblage et la finition des commandes provenant des consommateurs finaux.

Le modèle de simulation est composé de 7 modules ayant chacun des fonctions distinctes :

1. Génération des commandes
2. Gestion de l'inventaire
3. Émission des commandes fournisseurs (bons de fabrication) dans le réseau
4. Traitement des commandes chez les sous-traitants
5. Gestion des commandes de panneaux chez le fournisseur des sous-traitants
6. Fabrication des panneaux
7. Transport interentreprises

5.2.1 Génération des commandes

Les commandes générées représentent les besoins en terme de dessus de tables pour une certaine période de temps. Une analyse statistique a été réalisée sur l'historique de consommation des composantes prêtes à être assemblées. Un temps inter arrivée global a donc été déterminé pour l'ensemble de ces dernières. L'arrivée des besoins en composantes est, en premier lieu, faite sous forme globale à l'instar des unités équivalentes pour déterminer un plan directeur de production. On attribue ensuite à ces unités « équivalentes » une identité de manière probabiliste en fonction des résultats obtenus lors de l'analyse de l'historique de la consommation des composantes.

Le système manufacturier que l'on veut reproduire fonctionne selon le modèle ATO (assemble to order). Les commandes des clients finaux sont donc acheminées chez le donneur d'ordres par l'entremise des détaillants. Les produits nécessaires sont alors assemblés, teints et emballés avant d'être expédiés. Aucune fabrication n'est faite chez le donneur d'ordres. Les composantes nécessaires sont alors simplement débitées de l'inventaire pour ensuite les assembler. Les commandes de composantes dans le réseau ne sont émises que lors de l'atteinte d'un certain niveau d'inventaire ou point de commande.

La taille des lots commandés ainsi que les points de commande sont fixes pour chaque produit et ont été déterminés par le donneur d'ordre de manière à minimiser son inventaire.

Les commandes de composantes 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 des dessus de tables. Dans le but de rapprocher le modèle le plus possible de la réalité, le temps interarrivée des commandes n'est pas fixe, mais correspond plutôt à une loi normale. Les valeurs de cette dernière sont de neuf minutes pour la moyenne et deux minutes pour l'écart type.

Une fois le type de produits attribué aux commandes, ces dernières sont acheminées dans un pool ayant une capacité de 800 dessus de tables par semaine. Elles s'y accumulent jusqu'à ce qu'elles soient relâchées par coup de 800, une fois toutes les 120 heures, soit une fois par semaine.

Parmi les différents scénarios étudiés, certains généreront des commandes priorisées. Ces dernières ne passeront pas par le pool de commandes. Elles seront plutôt directement dirigées vers le module de débitage d'inventaire expliqué dans la section suivante. Toutefois, le passage d'une commande prioritaire diminuera la capacité de production de la semaine qui suit d'une unité équivalente. Par exemple, sachant que la capacité d'une semaine de production est de 800 dessus de table, si pendant la semaine précédente, 10 commandes prioritaires sont passées, le module ne relâchera que 790 unités.

L'étape suivante consiste à débiter de l'inventaire les composantes correspondant aux caractéristiques des commandes créées.

5.2.2 La gestion de l'inventaire

L'inventaire est représenté par les entités présentes dans les files d'attente des nœuds « Match ». Ces derniers disposent de deux entrées, donc deux files d'attente, l'une pour les bons de commandes et l'autre pour les composantes physiques commandées. 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.

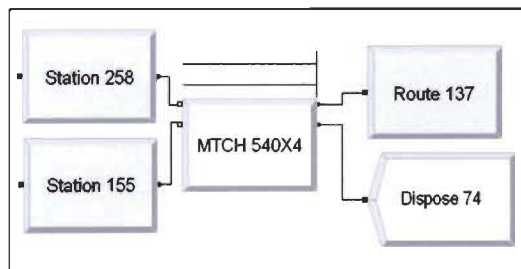


Figure 19 : Module d'inventaire pour les dessus de table 540X4

L'exemple présenté à la figure 19 illustre la modélisation des besoins en composantes (demandes clients) qui arriveront de la station 258 et seront dirigées vers la file d'attente numéro un. Les dessus de tables proviendront de la station 155 et seront acheminés

vers la file d'attente numéro deux. Dans le cas où les dessus de table seraient traités selon une stratégie « make to orders », l'inventaire serait nul et les commandes de composantes attendraient les composantes physiques. Dans un contexte de production fonctionnant en « assemble to orders », les dessus de tables physiques seraient entreposés dans la file d'attente numéro deux, en attendant les commandes pour être relâchés. Si aucune composante n'est disponible pour une commande, cette dernière attendra dans la file d'attente numéro un et sera considérée comme une pénurie.

Après avoir été réunies, la composante et la commande quittent le nœud « match » selon deux chemins distincts. Le panneau est directement envoyé dans un nœud « dispose » pour être détruit et la commande est envoyée dans l'usine pour y être assemblée, finie et emballée. Il n'est pas nécessaire de conserver le panneau pour la simulation. En effet, son temps de passage est

colligé dans l'étape précédant le module d'inventaire. L'information alors pertinente est le temps de passage des commandes clients. C'est pourquoi seules les commandes clients seront conservées et considérées comme des inventaires physiques.

5.2.3 Émission des commandes fournisseurs (bons de fabrication) dans le réseau

Les commandes des composantes gérés selon la stratégie « Make to stock » sont générées en fonction de l'atteinte d'un certain niveau d'inventaire. Ce dernier est propre à chaque composante et dépend de leur consommation anticipée et de leur délai de réapprovisionnement. La taille des lots est déterminée en fonction du niveau d'inventaire à maintenir chez le donneur d'ordres. Cette variable influence grandement les coûts globaux à l'intérieur du réseau. C'est d'ailleurs le sujet de recherche de David St-Pierre Lupien¹, étudiant à la maîtrise en génie industriel à l'Université du Québec à Trois-Rivières.

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 composantes est ensuite généré. La deuxième étape consiste à regrouper, une fois par semaine, les besoins sous forme de commandes. À cette étape, les quatre sous-familles de chacune des quinze familles de produits sont rassemblées en deux familles caractérisées par les bordures. Les produits ayant des bordures de type un et deux sont regroupés ensemble, les produits ayant une bordure de type trois ou quatre le sont aussi. Ce regroupement a comme objectif de tenir compte des regroupements pour les mises en course chez les sous-traitants. En effet, le type d'équipement utilisé par ces derniers nécessite deux types de mises en course. Une première pour la famille et une seconde pour le type de bordure. Toutefois, il n'existe que deux types de copeaux, un pour usiner les bordures de type un et deux, et l'autre pour usiner les bordures de type trois

¹ David Saint-Pierre Lupien, Université du Québec à Trois-Rivières

et quatre. Les mises en course ne sont donc nécessaires qu'une fois sur deux pour les couteaux. La figure 20 illustre le module de génération des commandes.

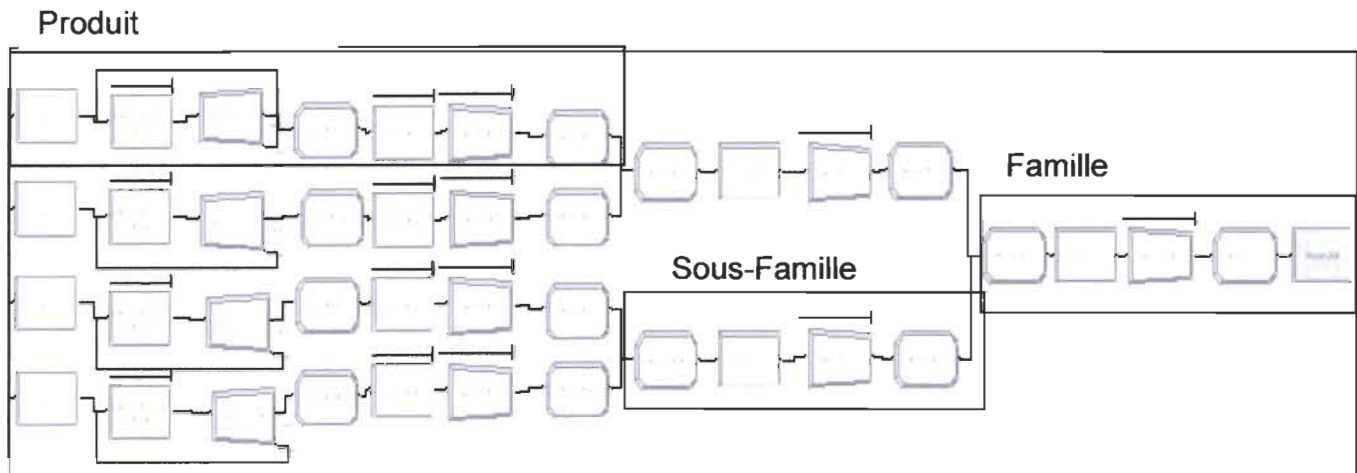


Figure 20 : Module d'émission des bons de fabrication pour les composants gérés en MTS

L'atteinte d'un certain niveau d'inventaire n'est pas suffisante pour le déclenchement des commandes de composants. En effet, le nombre d'composantes en commande et en pénurie doit aussi être pris en compte. Le lancement des commandes se fait donc à l'aide d'un nœud « Hold » dont la condition de relâchement de l'entité est donnée par l'équation suivante :

$$\text{NQ}(\text{MTCH } 400\text{X}1.\text{Queue}2) + \text{CMD ST } (37,1) - \text{NQ}(\text{MTCH } (21) \text{ } 400\text{X}1.\text{Queue}1) \leq \text{PTCOM}(37,1)$$

- | | |
|-------------------------|---|
| NQ(MTCH 400X1.Queue2) : | Inventaire de composante; |
| CMD ST (37,1) : | Commandes en cours de fabrication dans le réseau; |
| NQ(MTCH 400X1.Queue1) : | Nombre de composantes en pénurie; |
| PTCOM(37,1) : | Point de commande. |

L'équation vérifie donc si l'inventaire, plus les commandes en cours dans le système, moins le nombre d'composantes en pénurie, est en deçà du point de commande défini au début de la simulation. Si tel est le cas, il ajoute automatiquement les composantes manquantes en inventaire. Cet artifice sert uniquement à accélérer l'atteinte du régime permanent par le modèle de simulation.

Le système de traitement des commandes à l'intérieur du réseau n'est pas intégré. Les niveaux d'inventaire sont vérifiés par les acheteurs une fois par semaine et des commandes sont envoyées aux sous-traitants au besoin. La fréquence d'émission des commandes est donc d'une semaine. Étant donné que le modèle fonctionne 24 heures par jour et que les semaines comptent cinq jours, le niveau des inventaires est donc vérifié toutes les 120 heures comme le démontre l'équation suivante.

Le module générant le signal de lancement est illustré à la figure 21. Il est constitué d'un nœud de type « Create », d'un nœud « Assign », d'un nœud « Signal » et d'un nœud « Delay ». Le nœud « Create » introduit dans le module l'entité qui générera le lancement de la vérification en passant le nœud « Signal ». Le nœud « Delay » sert à retenir l'entité pendant le temps voulu, soit 120 heures.

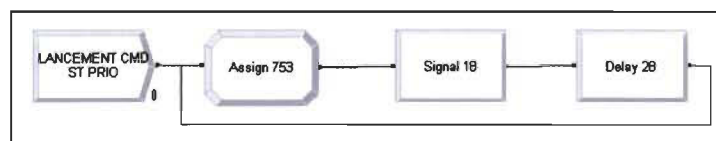


Figure 21 : Horloge déclenchant le signal de lancement des commandes dans le réseau

5.2.4 Traitement des commandes chez les sous-traitants

Les commandes provenant du donneur d'ordres sont transmises aux sous-traitants par télécopieur et traitées une fois par semaine. Les quantités de panneaux à commander chez le fournisseur de matière première y sont alors déterminées et la planification sommaire de la production pour la semaine est réalisée.

Le réseau étudié a récemment été l'objet d'une cartographie de la chaîne de valeur. Les délais administratifs ont été observés et colligés. Le temps d'attente des commandes entre leur arrivée par télécopieur jusqu'à la commande de la matière première a donc été établi en relation avec ces informations. Le présent projet compte étudier l'impact du traitement de commandes priorisées dans un réseau de sous-traitance. En ce sens, les délais administratifs varieront en fonction du niveau de priorité accordé aux commandes et suivront une distribution triangulaire. Le tableau 7 présente ces valeurs :

Tableau 7 : Détail des délais administratifs occasionnés lors du passage de commandes

Niveau de priorité	TEMPS TÉLÉCOPIEUR (JOURS)		
	MIN	MOY	MAX
1	1	3	9
2	0,5	1	1,5

Les quatre éléments d'une même famille de produits nécessitent le même type de panneaux bruts. Les commandes propres à une même famille sont donc regroupées avant d'être envoyées chez le fournisseur de panneaux.

Une fois reçus, les panneaux de dessus de tables bruts sont mis en production selon une gestion de file d'attente FIFO (first in, first out). Les sous-traitants disposant de technologies variées, les méthodes de fabrication ainsi que les temps d'opération des équipements diffèrent selon les produits.

La planification de la production chez les sous-traitants est faite environ une semaine au préalable et prend en considération la disponibilité de la matière première et les dates de livraison. La réception des panneaux n'est pas planifiée de manière précise. Les sous-traitants optent donc pour mettre en production les commandes la semaine suivant la réception des panneaux.

En ce sens, un délai d'une demi-semaine, en moyenne, sera ajouté avant le lancement des bons de fabrication sur le plancher de production. Afin de représenter de la manière la plus précise possible la réalité, les temps accordés pour la planification ont été attribués en fonction d'une distribution triangulaire. Le tableau 8 qui suit présente le temps d'attente des commandes relatif à la planification.

Tableau 8 : Temps de planification des commandes en fonction de leur niveau de priorité

Niveau de priorité	TEMPS PLANIF (HEURES)		
	MIN	MOY	MAX
1	24	60	72
2	4	8	12

Une fois la mise en production réalisée, les commandes progressent sur le plancher de production, station par station. L'aménagement des usines des sous traitants est de type départemental. Les commandes sont donc traitées sous forme de lots de production et transférées aux postes subséquents. Cette manipulation des lots de production est réalisée par le personnel de supervision. Toutefois, un temps de manutention a été ajouté d'un poste à l'autre. Ce temps, qui est le même pour tous les sous-traitants, est déterminé par une loi triangulaire ayant comme borne inférieure 15 minutes, une moyenne de 60 minutes et un maximum de 120 minutes. Bien que ces temps puissent sembler élevés, ils représentent la réalité puisque, dans bien des cas, les postes disposent de beaucoup d'encours en amont et qu'aucune urgence de transfert n'est de mise. Les lots attendent donc souvent que les postes en aval n'aient plus d'encours avant d'y être transférés.

5.2.5 Gestion des commandes des panneaux chez le fournisseur des sous-traitants

Pour des fins de simplification, le modèle suppose qu'une partie de l'usine du fournisseur des sous-traitants est dédiée à la fabrication des panneaux nécessaires à l'usinage de dessus de tables. En fait, le fournisseur produit une multitude de panneaux de tout genre pour l'usinage de composantes de chaises ou de pattes de tables. Toutefois, l'hypothèse posée demeure réaliste puisque la capacité des postes de travail sera revue en fonction de la proportion des heures allouées pour la fabrication des panneaux dédiés aux dessus de tables.

Lors de la simulation, différents scénarios seront étudiés. L'un de ces scénarios suppose l'entreposage de panneaux bruts en fin de processus chez le fournisseur de panneaux. La gestion des commandes chez le fournisseur de panneaux dépendra donc du type de commande passée et de la stratégie employée.

5.2.5.1 Gestion des commandes de panneaux en mode de production sur inventaire (MTS)

La mécanique de simulation utilisée pour représenter la gestion sur stock des panneaux s'apparente beaucoup à celle utilisée dans le module de gestion des inventaires chez le donneur d'ordres. En effet, les bons de commande provenant des fournisseurs sont acheminés dans des nœuds de type « Match ». Ces derniers ne peuvent continuer leur course que s'ils sont jumelés à des entités de type panneaux. La figure 22 illustre cette situation.

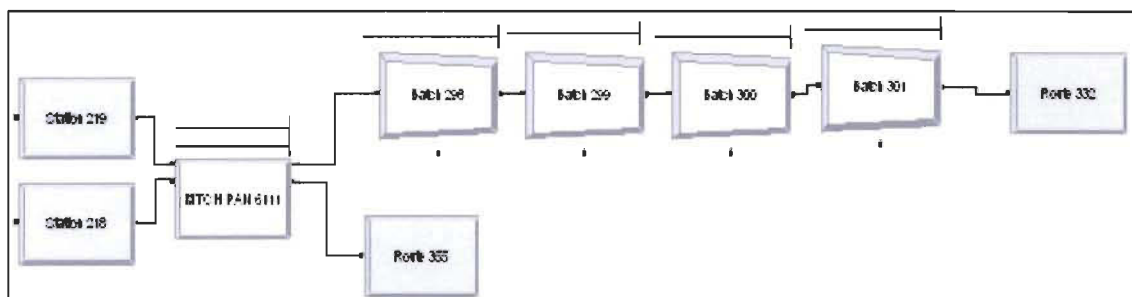


Figure 22 : Illustration du module de gestion de l'inventaire de panneaux

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 alors jumelés dans le nœud match avec le nombre de panneaux requis, un à un. Ils sont ensuite regroupés sous forme de familles et de commandes à travers les nœuds batch 296, 299, 300 et 301. Le tout est ensuite envoyé vers l'expédition, représenté par le nœud 332, dans le coin droit supérieur de la figure 22.

La consommation des panneaux se continue jusqu'à ce que l'on atteigne leur point de commande. À ce moment, un bon de fabrication est émis et la production d'un lot de panneaux est lancée. La figure 23 est une impression d'écran du module d'émission des bons de fabrication à l'usine de panneaux.

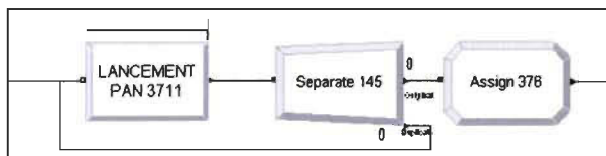


Figure 23 : Illustration du module de lancement des commandes chez le fournisseur de panneaux

Le premier nœud, à l'extrême gauche, est un nœud de type Hold. Ces nœuds ne relâchent 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. L'entité originale poursuit son chemin vers l'usine de fabrication de panneaux, pendant que le duplicata est envoyé dans le nœud « Hold » en attendant que le niveau de l'inventaire redescende en deçà du point de commande.

Le nœud de type « Assign » sert à mettre à jour le nombre d'unités de panneaux en commande dans le système via la variable globale CMD PAN (X,X). Cette variable sert à garder en mémoire une valeur globale variant tout au long de la simulation. Il pourrait s'agir du nombre de composantes totales dans le système par exemple. Dans ce cas-ci, la valeur de la variable CMD PAN (X,X) est mise à

jour dans le nœud « Hold » précédant afin de prendre en considération les commandes émises mais non reçues lors de l'émission de commandes.

La mise en production des commandes chez le fabricant de panneaux se fait une fois par semaine. En ce sens, dès leur sortie du module de génération des commandes de panneaux bruts, les commandes sont acheminées dans un nœud de type « Hold ». Ce dernier les retient et les relâche une fois par semaine. La figure 24 illustre cette partie du module.

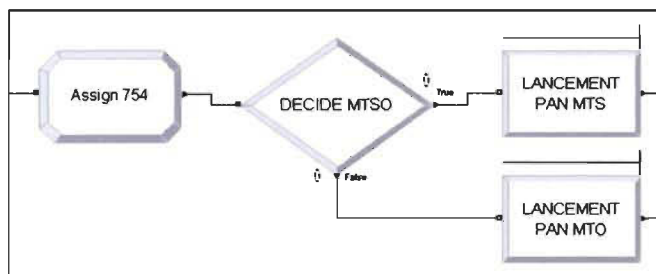


Figure 24 : Illustration du module de sélection du mode de lancement des commandes chez le fournisseur de panneaux

Comme le même modèle de simulation sera utilisé pour représenter différents scénarios, la fréquence des mises en production dépendra du type de commande. Les commandes prioritaires seront donc lancées quotidiennement tandis que les

commandes dites « normales » le seront une fois par semaine.

5.2.6 Fabrication des panneaux

La fabrication d'un panneau est divisée en quatre étapes soit le délignage, l'agencement, 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 donc traitées en lots de fabrication et transférées d'un poste à l'autre sur des convoyeurs. La figure 25 illustre la modélisation de la fabrication des panneaux.

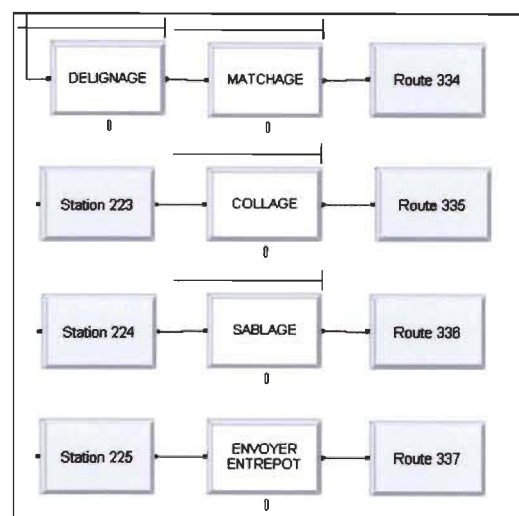


Figure 25 : Illustration du module de fabrication chez le fournisseur de panneaux

Initialement, la gestion de la fabrication des panneaux est effectuée sur commandes. Ces dernières sont acheminées chez le fournisseur de panneaux générant, par le fait même, des bons de fabrication. Les panneaux sont alors fabriqués avant d'être envoyés chez le sous-traitant.

Comme les quatre produits constituant une même famille peuvent être lancés séparément chez les sous-traitants, mais utilisent tous les mêmes panneaux, le module de gestion des commandes de panneaux les regroupent pour ne former qu'une commande de panneaux.

Le module présenté ci-dessous sert à séparer les commandes regroupées sous forme de « poupées russes ». En effet, chacune d'elle consiste en un regroupement successif de familles de bordure (1-2 et 3-4), de commandes et finalement de lots de production. Une fois les dessus de table dissociés, ils sont comptés un à un pour déterminer la taille du lot de production de panneaux à lancer. Le nœud de type « Assign » compte les entités et assigne à la dernière le nombre de panneaux requis pour la commande. Lors du regroupement qui suit, seules les caractéristiques de la dernière entité sont retenues.

L'envoi des panneaux chez les sous-traitants se fait via une compagnie de transport. Cette dernière passe deux fois par semaine chez le fournisseur. Les commandes complétées sont donc regroupées avant d'être chargées dans les semi-remorques. La figure 26 illustre cette situation.

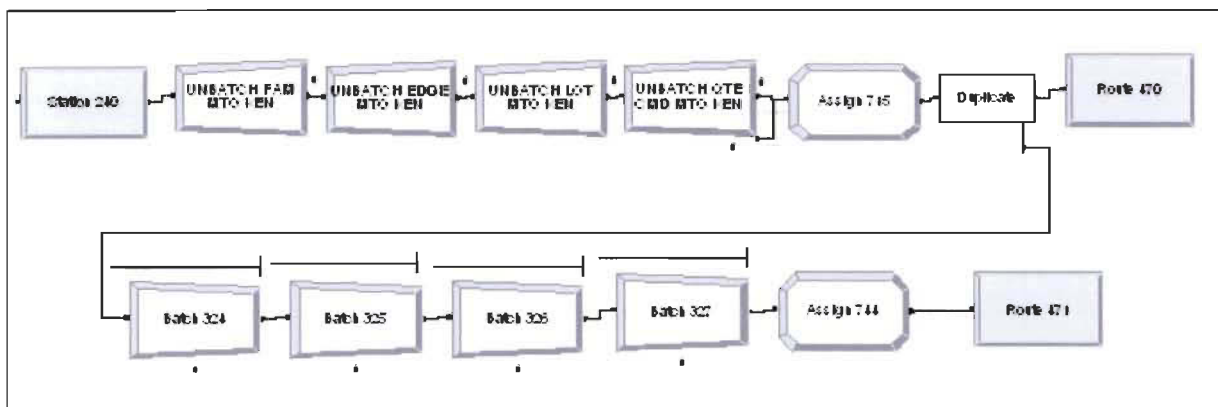


Figure 26 : Illustration du module de calcul de la quantité de panneaux à produire par commande

Les commandes de panneaux arrivent à la station numéro 230 (à gauche de l'écran). Le sous-traitant vers lequel la commande est destinée est validé avant de diriger la commande vers le nœud Hold approprié. Les commandes s'y trouvant ne sont relâchées que lorsqu'un signal représentant le passage du camion de livraison est lancé. Le nombre de commandes attendant dans l'entrepôt pour chaque sous-traitant est calculé avant de les regrouper et de les envoyer chez le sous-traitant voulu.

5.2.7 Le *transport inter entreprises*

La chaîne d'approvisionnement étudiée implique plusieurs échanges interentreprises, tant au point de vue information qu'au point de vue matériel. Étant donné le grand nombre de sous-traitants, le donneur d'ordres doit planifier l'arrivée des composantes de manière à répartir la charge de travail de l'équipe de réception des marchandises sur toute la semaine. Chaque sous-traitant ne peut livrer que deux fois par semaine chez son client selon des journées prédéfinies. Comme une semaine de travail comporte 120 heures, le transport se fera chaque 60e heure.

Le transporteur ne sait jamais à l'avance le nombre de palettes qu'il aura à transporter. Les camions passent donc chez les sous-traitants et chargent tout ce qui doit être livré chez le donneur d'ordres. Bien que simple à comprendre, cette situation nécessite néanmoins quelques artifices pour être simulée.

Une fois fabriquées, les produits sont acheminés dans un nœud de type « Hold » en attendant d'y être relâchées suite à l'émission du signal signifiant l'arrivée du transporteur. Ce signal est produit par le passage d'une entité provenant d'un nœud « Create », vers un nœud « Assign », « Delay » et « Signal ». Comme le module ne comporte pas de nœud « Delete », une seule entité est créée dès le départ et y circule en boucle fermée. Le premier nœud dans lequel elle passe est le nœud « Assign ». Ce dernier sert à calculer le nombre de commandes à regrouper pour le transport. L'entité passe ensuite dans le nœud « Signal » et déclenche le relâchement de toutes les commandes en attente pour le transport. Ces dernières sont envoyées dans un nœud de type « Batch » et sont regroupées. Le lot ainsi créé est donc envoyé dans une route menant à la station « Réception Donneur d'ordres ». Ce dernier est alors démantelé et les commandes relâchées. La figure 27 illustre le module.

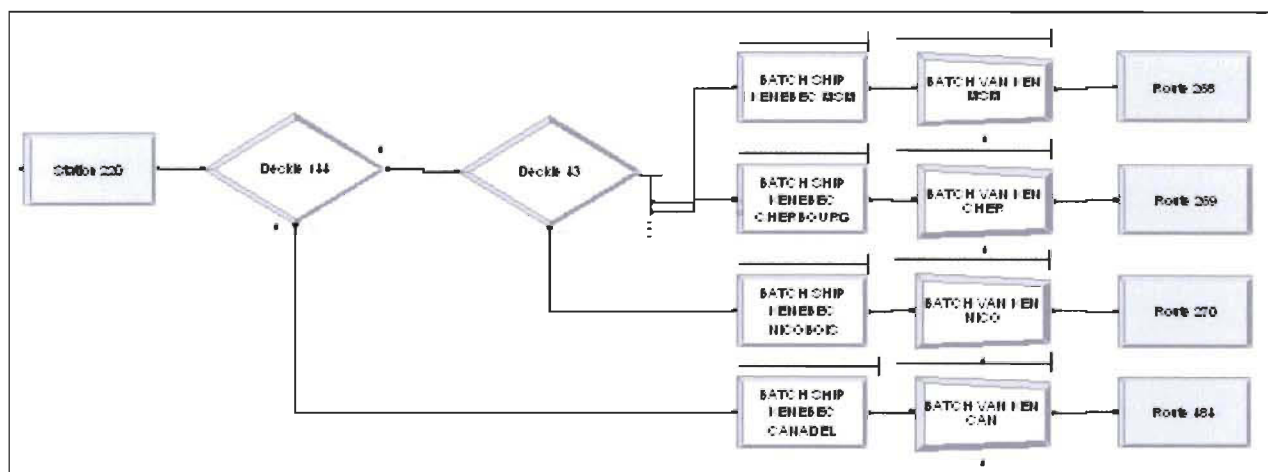


Figure 27 : Illustration du module d'expédition des commandes de panneaux vers les sous-traitants

Une fois chez le donneur d'ordres, les entités représentant les commandes sont décuplées selon la quantité commandée et envoyée dans la file d'attente représentant l'inventaire de composants.

5.3 La validation du modèle

La chaîne d'approvisionnement que l'on veut modéliser est somme toute assez complexe. Il est donc difficile d'effectuer une validation exhaustive de tous les paramètres possibles. De plus, l'information provenant du réseau est dans plusieurs cas, sommaire et ne peut servir à valider le modèle.

En ce sens, la validation du modèle sera faite sur trois axes : l'atteinte du régime permanent, sa fidélité et la représentativité. La fidélité servira à déterminer que le modèle se comporte selon la raison pour laquelle il a été conçu. Lors de cette étape, nous recueillerons les statistiques provenant du modèle et les comparerons aux données anticipées. Par exemple, si le modèle a fonctionné pendant trois heures et qu'une entité par heure était supposée arriver, il faudra s'assurer que le système a généré trois entités.

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

5.3.1 Le régime permanent

L'atteinte du régime permanent est absolument nécessaire pour tirer quelque conclusion que ce soit sur le réseau. En effet, l'analyse d'un système ne doit se faire que lorsqu'il est en équilibre. Le modèle de simulation a donc été conçu pour être initialisé avec un inventaire initial de manière à devancer l'atteinte de l'équilibre. De plus, seules les données provenant de la 3000^e heure et plus seront colligées. Le modèle dispose donc de 3000 heures pour quitter le régime transitoire. Cette valeur de 3000 a été choisie en fonction du comportement des différentes variables globales dans le temps. Suite à une analyse des graphiques, il a été déterminé que le modèle semblait atteindre son régime permanent vers la 3000^{ième} heure.

Le réseau étudié est complexe et peut générer la fluctuation de certains paramètres. Ces variations 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. Par exemple, l'achalandage d'une autoroute peut, de manière générale, être stable mais tout de même comporter des heures de pointe.

Il est important, pour valider l'atteinte du régime permanent, de se baser sur des variables dépendantes du système. Une variable dépendante est une variable dont la valeur varie en fonction de différents éléments inhérents à la simulation. Par exemple, le temps de traitement des commandes peut être défini à l'avance sous forme de variables. Toutefois, le nombre d'entités en attente dans une dépend directement du comportement du système. Il s'agit alors d'une variable dépendante.

La variable utilisée pour valider l'atteinte du régime permanent sera le nombre d'encours présents dans le système. Un nombre d'encours dont les variations sont relativement stables dans le temps indique que le système est en équilibre. Le choix de cette variable a été fait en fonction de sa facilité d'obtention et du fait qu'elle est déjà colligée pour d'autres mesures de performance.

Afin de s'assurer de l'atteinte du régime permanent, un test de Student sera conduit sur deux séries de données tirées à des moments différents lors de la simulation. Ces séries sont composées des données prises au même moment dans la simulation, mais selon cinq simulations différentes. Il est important de mentionner que lorsqu'une simulation est lancée, le générateur d'aléas du logiciel se base sur une table contenant plusieurs données sources. Si seulement une répétition est lancée, le modèle fonctionnera jusqu'à ce qu'il atteigne ses conditions d'arrêt ou sa limite de temps. Lorsqu'une autre simulation sera lancée, le logiciel recommencera à piger dans sa table de données génératrices d'aléas au même endroit que la fois précédente. Les résultats seront donc les mêmes. Toutefois, si le modèle est lancé pour plusieurs répétitions, la table de données génératrices d'aléas n'est pas réinitialisée entre chacun des lancements, ce qui génère des résultats différents pour chaque répétition.

Suite à une analyse du comportement des différentes variables globales, l'hypothèse de départ est que le régime permanent est atteint à la 83e semaine (3320^{ième} heure). Comme il est important de s'assurer de la validité des données sur lesquelles les indicateurs de performance seront calculés, on comparera les données de semaine 25 à celles de la semaine 83 pour s'assurer que ces deux séries proviennent de la même distribution.

Voici les tableaux résumant les données extraites de la simulation à la 25e et à la 83e semaine.

Tableau 9 : Nombre d'encours relevés à la 25e semaine

RÉPÉTITION	VALEURS WIP	DIFFÉRENCE AU CARRÉ
R1	1020	2809
R2	1390	17424
R3	1130	4
R4	900	12769
R5	1190	1024

Tableau 10 : Nombre d'encours relevés à la 83e semaine

RÉPÉTITION	VALEURS WIP	DIFFÉRENCE AU CARRÉ
R1	1225	10816
R2	1040	132
R3	1140	3782
R4	760	16512
R5	920	2352

Le test de Student consiste à trouver la valeur de la variable t et de valider à l'aide d'une table si la différence entre les deux moyennes est significative. Voici l'équation permettant de trouver la valeur de la variable t .

$$t = \frac{|\overline{X}_1 - \overline{X}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{dl_i}} * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (23)$$

- \overline{X}_i : La moyenne de la série i
- n_i : Le nombre d'observations dans la série i
- dl_i : Le nombre de degrés de liberté de la série i
- s_i : L'estimation de l'écart type de la série i

L'estimation de l'écart type est trouvée à l'aide de l'équation suivante :

$$s_i^2 = \sum_{j=1}^n \frac{(x_{ij} - \overline{X}_i)^2}{n-1} \quad (24)$$

- x_{ij} : La valeur j de la série i

Le nombre de degrés de liberté dépend du nombre de données choisies pour le test. Comme cinq données ont été extraites dans chacune des deux séries et que la moyenne ainsi que l'écart type sont estimés, l'équation pour trouver le nombre de degrés de liberté est la suivante :

$$dl = n_1 + n_2 - 2 \quad (25)$$

Les données extraites des deux tableaux précédents et des équations ci-dessus permettent d'arriver aux résultats présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Tableau résumé des données nécessaires au calcul relatif au test de Student.

ÉLÉMENT	SYMBOLE	25E SEMAINE	83E SEMAINE
Moyenne	\overline{X}_i	1126	1017
Estimation de l'écart type au carré	s_i^2	34030	33595

En insérant les valeurs dans l'équation 23, il en découle donc le résultat suivant :

$$t = \frac{1126 - 1017}{\sqrt{\frac{(5-1)34030 + (5-1)33595}{5+5-2}} * \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 0.94$$

Finalement, on trouve une valeur de t égale à 0,94, ce qui signifie que les différences entre les différentes moyenne des simulations ne sont significatives puisque t n'est pas gal à 0. On peut alors affirmer à 95 %, l'atteinte du régime permanent. La figure 28 présente le graphique illustrant la quantité d'encours présents en fonction des semaines de simulation pour chacune des répétitions. On peut alors constater l'atteinte du régime permanent.

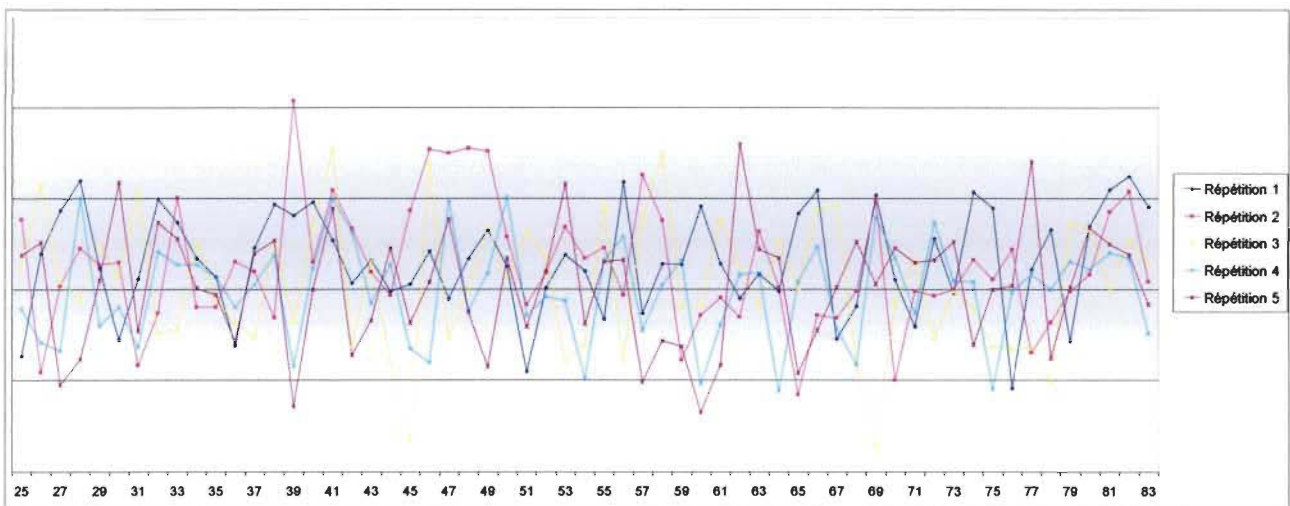


Figure 28: Graphique illustrant l'obtention du régime permanent

5.3.2 La fidélité du modèle de simulation

La simulation a comme objectif de reproduire la réalité. Pour ce faire, plusieurs paramètres ont été mesurés sur le terrain et intégré au modèle de simulation. Certains paramètres régissent, par exemple, la fréquence d'arrivée des commandes ou la cadence de production des équipements. Afin de s'assurer qu'aucune erreur de modélisation ne s'est produite pour reproduire la situation qui prévaut dans le réseau, des tests logiques ont été appliqués sur le modèle.

5.3.2.1 Le nombre de commandes

Un des premiers paramètres à vérifier est la génération du nombre de commandes de dessus de tables. Le modèle prévoit un temps inter arrivée suivant une loi normale et ayant une moyenne et un écart type 9 et 2 minutes, respectivement. Étant donné que le modèle fonctionne pendant 10 000 heures dont 3 000 servant à initialiser ce dernier, le nombre d'entités créées pendant la simulation devrait suivre ces valeurs :

$$\frac{9 \text{ min}}{\text{Commande}} * \frac{1 \text{ heure}}{60 \text{ min}} = 0,15 \text{ heure / Commande} \quad (26)$$

$$\frac{7000 \text{ heures}}{\text{Simulation}} * \frac{1 \text{ Commande}}{0,15 \text{ heure}} = 46667 \text{ Commandes / Simulation} \quad (27)$$

Selon le rapport fourni par le logiciel de simulation, 46 667 unités ont été créées. Le modèle produit donc le bon nombre de commandes.

5.3.2.2 *Le nombre de dessus de tables produits*

Afin d'écourter le temps nécessaire pour que le système atteigne son point d'équilibre, le modèle débute avec des inventaires de dessus de table et de panneaux. Le niveau de ces derniers a été déterminé en fonction du point de commande. Ainsi, on ajoute directement dans le système une quantité représentant 120 % du point de commande dans les inventaires de dessus de tables.

Le système étant en équilibre, il doit produire en moyenne le même nombre de dessus de tables qu'il n'en sort par les commandes. Le nombre de commandes générées par semaine dans le système est déterminé comme suit :

$$\frac{120\text{heures}}{\text{Semaine}} * \frac{1\text{Commande}}{0,15\text{heure}} = 800\text{Commandes} / \text{Semaine} \quad (28)$$

Le nombre de composantes produites est comptabilisé à l'aide de rapports générés dans des feuilles de calcul Microsoft Excel. Le tableau 12 résume les dessus de tables et les panneaux mis en production dans les trois niveaux de la chaîne d'approvisionnement.

Tableau 12 : Panneaux mis en production dans le réseau

CONSOMMATION DONNEUR D'ORDRES	PRODUCTION RÉSEAU SOUS-TRAITANTS	PRODUCTION FOURNISSEUR PANNEAUX
800	797,4	794,9

Les faibles différences peuvent s'expliquer par les variations des inventaires au début et à la fin de la simulation. Toutefois, ces dernières ne sont pas significatives. Le modèle se comporte donc comme prévu.

5.3.2.3 Le respect des proportions

La création des commandes se fait en cascade. À l'instar d'un plan directeur de production, des commandes dites équivalentes sont insérées dans le réseau. Le temps inter arrivée de ces dernières est déterminé en fonction de la consommation globale du réseau. Une identité est alors attribuée aux commandes, 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 15 branches de sortie. Chacune d'elles est empruntée suivant une probabilité fonction de la famille de produit. Une famille est alors affectée à la commande. Cette dernière poursuit ensuite son parcours jusqu'à dans un autre nœud « Decide ». Ce dernier sert à créer l'identité de la commande en terme de champ (bordure).

L'attribution d'une identité de produit aux commandes se fait donc 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 bordures de type « 1 » représentent 50 % des commandes, 5 % de toutes les commandes passées devraient être de 3641.

En utilisant les données tirées du rapport du modèle de simulation, un nombre quantité de commandes créées a été identifié 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, il est possible d'affirmer que le modèle crée les commandes suivant les bonnes proportions.

5.3.3 La représentativité

La représentativité est très importante dans la mesure où l'on souhaite un projet réalisable. On peut affirmer qu'un modèle reflète la réalité en comparant les données réelles sur le terrain à celles obtenues par la simulation. Une cartographie de la chaîne de valeur pour chacune des entreprises sous-traitantes a été réalisée dans le réseau étudié. Les données qui en sont ressorties sont présentées dans le tableau 13 suivant.

Tableau 13 : Tableau comparatif entre les données issues de la simulation et celles réellement observées sur le terrain.

Éléments de validation	Valeur réelle	Valeur de la simulation	% Erreur
Temps de passage réseau	6,00 (sem)	5,11 (sem)	15 %
Temps de passage panneau	3,20 (sem)	2.85 (sem)	11 %
Temps de passage dans les usines des sous-traitants	1,00 (sem)	1,00 (sem)	0 %
Taux d'utilisation des machines	45 %	50 %	11 %

À la lumière de ces résultats, il est évident que le modèle correspond à la réalité. En effet, les données réelles proviennent principalement d'enquêtes et de cartographies effectuées auprès des entreprises du réseau de sous-traitants. Il se peut que certaines valeurs issues de la simulation ne soient pas tout à fait en ligne avec les chiffres obtenus lors de ces activités. Le but de cette validation des simplement de comparer si les deux données concordent.

5.4 Paramètres variables

L'objectif du présent projet est l'évaluation de la performance d'une chaîne d'approvisionnement selon la variation de certains paramètres. Ces derniers sont principalement liés aux niveaux des inventaires et à la localisation de ces derniers. Bien que la taille des lots soit également un élément majeur affectant le comportement d'une chaîne d'approvisionnement, ce document n'en traitera pas.

5.4.1 Points de commande

Les points de commande influencent directement les niveaux d'inventaire maintenus et/ou le nombre de pénuries encourues. À l'instar de la taille des lots de fabrication, les points de commande utilisés par le donneur d'ordres seront ceux choisis. Toutefois, le changement de certains paramètres pourra indirectement influencer le temps de passage et, du même coup, le point de commande optimal. En ce sens, seuls les points de commande du scénario 3 seront réévalués.

5.4.2 Les règles de priorité

Le rôle des règles de priorité dans le temps de passage des commandes à l'intérieur du réseau est difficile à prévoir. En effet, le moment du déclenchement des commandes ne peut être prévu. La simulation permettra donc de quantifier les effets sur les niveaux d'inventaire et les temps de passage de la présence de deux types de commandes ayant des priorités différentes.

5.4.3 La fréquence de livraison

La fréquence de livraison influence directement le temps de passage dans le réseau. La fréquence de livraison dans la chaîne d'approvisionnement est inversement reliée à la présence d'inventaire dans cette même chaîne. Comme le réseau étudié comporte deux niveaux et donc deux transports inter entreprise, un changement dans les fréquences de livraison pourrait avoir une incidence notable sur les temps de passage.

Le présent chapitre a permis de familiariser le lecteur avec les notions propres à la simulation. Il a aussi permis de valider la méthodologie utilisée. Les sections qui suivent présenteront les résultats ainsi que l'analyse des différents scénarios simulés.

CHAPITRE 6 : PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

L'élaboration de scénarios a pour but d'étudier l'impact du changement de certains paramètres individuellement sur le temps de passage des commandes à l'intérieur de la chaîne d'approvisionnement. Ces changements auront un impact direct sur les niveaux d'inventaire ainsi que sur le niveau de service concernant les commandes de composants chez le donneur d'ordres.

Les scénarios ne constituent donc pas des situations souhaitables ou des recommandations envisageables, mais plutôt des pistes de solution pour l'élaboration de la proposition finale. Cette dernière se fera en se basant sur les conclusions propres à chacun des scénarios. Il sera tout de même intéressant d'étudier le comportement des différents indicateurs de performance lors de la simulation des trois scénarios.

6.1 Situation actuelle

La situation actuelle correspond à la situation qui prévaut dans le réseau de sous-traitance. En ce sens, les scénarios proposés y seront comparés afin de valider les changements anticipés. Le tableau 14 résume la valeur des indicateurs de performance pour la situation actuelle.

Tableau 14 : Tableau résumé de la valeur actuelle des indicateurs de performance

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	VALEUR
Fiabilité	Respect des délais clients (Commandes livrées à temps par le donneur d'ordres / Nombre total de commandes traitées)	RD_{CC}	95,2 %
	Nombre de pénuries jour – composantes (Quantité de composantes manquantes * la durée de la pénurie)	\overline{BOC}_i	0,9
	Nombre de pénuries jour –panneaux (Quantité de panneaux manquants * La durée de la pénurie)	\overline{BOP}_j	0
Réactivité	Temps de passage réseau (Semaines)	TP_R	5,11
	Temps de passage usine sous-traitant (Semaines)	TP_U	0,99
	Temps de passage panneaux (Semaines)	TP_{PAN}	2,85
Flexibilité	Écart Type du temps de passage réseau (Semaines)	σTP_R	0,66
	Variation de la charge de travail – Sous-traitant	VAR_{ST}	32 %
	Variation de la charge de travail – Fournisseur	VAR_F	18 %
Coûts	Valeur globale de l'inventaire (\$)	V_{TOT}	583 448 \$
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements (Heures d'utilisation / Heures totales disponibles)	$UCNC_j$	65 %
	Taux de rotation des inventaires (Nombre de tours par année)	TO_i	21

6.1.1 Respect des délais clients (RD_{CC})

Dans le modèle de simulation, les commandes des clients sont en fait des besoins en composantes. En ce sens, ce délai est le temps s'étant écoulé entre l'émission de l'ordre de fabrication chez le donneur d'ordres jusqu'à l'envoi dans l'entrepôt des produits finis en attente d'être expédiés. L'entreprise a établi ses délais envers ses principaux clients en fonction d'un temps de passage de trois semaines dans son usine. Le présent indicateur consistera donc à calculer la proportion des commandes livrées à temps sur le nombre total de commandes livrées. Le niveau de service actuel pour l'ensemble des familles de produits est de 95 %, ce qui signifie que le donneur d'ordres respecte le délai de trois semaines dans 95% des cas.

Le niveau de service actuellement offert par le donneur d'ordres est acceptable pour ses différents clients. L'objectif de l'étude ne portant pas sur la réduction du délai de livraison aux consommateurs, les temps de passage de la situation actuelle serviront de valeur de référence plancher.

6.1.2 Nombre de pénuries par composante ($\overline{BOP_j}$ & $\overline{BOC_i}$)

Le nombre de pénuries jour par composante représente le nombre moyen de composantes en pénurie par jour. Par exemple, si pendant une simulation de 100 heures, deux composantes ont été manquants pendant 10 heures, cela fait 20 composantes en pénurie heure pour le total de la simulation. Le rapport sera de 0,20. Cet indicateur peut être utile pour déterminer si le niveau des points de commande considère bien le temps de passage. La présence de pénuries entraînera inévitablement des retards de production chez le donneur d'ordres et, éventuellement, des délais excessifs pour le passage des commandes clients. Un calcul indépendant a été effectué pour les composantes et pour les panneaux.

Composantes ($\overline{BOC_i}$)

Le nombre moyen de composantes en pénurie observé lors de la simulation de la situation initiale est de 0,9 composante par famille. Ce nombre indique qu'il y a eu, au cours de la simulation, en moyenne 0,9 composante manquant par famille de produits. Bien entendu, la répartition des pénuries n'est pas uniforme pour toutes les familles.

Panneaux ($\overline{BOP_j}$)

La situation initiale ne comporte aucun panneau en inventaire chez le fournisseur principal, ce dernier fonctionnant sur commande. Aucune pénurie ne peut alors être considérée.

6.1.3 Temps de passage réseau (TP_R)

Le temps de passage réseau est le temps écoulé entre le lancement d'une commande dans le réseau de sous-traitance et sa réception chez le donneur

d'ordres sous forme de composantes. Cet indicateur est très utile pour mesurer la capacité de répondre rapidement aux commandes des clients. De plus, un temps de passage court permet de réduire les inventaires.

Le temps de passage réseau observé lors de la simulation de la situation initiale est de 5,11 semaines. Il s'écoule donc, en moyenne pour chaque commande de composantes, 5,11 semaines entre l'émission de la commande jusqu'à sa réception en composantes prêtes à être assemblées chez le donneur d'ordres.

Les variations de cet indicateur peuvent aussi grandement affecter la performance du réseau. Pour cette raison, son écart type sera étudié dans une prochaine section.

6.1.4 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

Le temps de passage des commandes dans les usines des sous-traitants est directement relié à la taille des lots de production et à la charge de travail chez le sous-traitant responsable de l'usinage des composantes en cause. Ce délai ne représente qu'une petite fraction du temps de passage à l'intérieur de la chaîne d'approvisionnement ou du réseau.

Un temps de passage usine rapide propose un système manufacturier simple, ou encore, un processus efficace. Le présent document ne s'intéressera pas à l'étude de l'efficacité des planchers de production. Cet indicateur ne servira que de base de comparaison pour l'analyse des scénarios, notamment celui introduisant les règles de priorité.

Le temps de passage usine moyen observé est d'une semaine avec un coefficient de variation de 47 %. Les sous-traitants sont donc capables de produire les composantes commandées à l'intérieur d'une semaine.

Toutefois, les délais administratifs encourus par la mise en production, l'approvisionnement en matière première et les transports génèrent des délais, de sorte que, malgré la présence d'un système manufacturier simple, il n'est pas toujours possible de produire selon des délais permettant la production sur commande, par exemple.

6.1.5 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage panneau est le temps s'écoulant entre le lancement d'une commande chez le fournisseur jusqu'à la réception chez le sous-traitant des panneaux bruts nécessaires à la fabrication des composantes commandées par le donneur d'ordres. Le temps de passage des panneaux a donc un impact important sur le temps de passage réseau des commandes de composantes.

Le temps de passage des panneaux moyen est de 2,85 semaines avec un coefficient de variation de 17 %. Compte tenu du temps de passage réseau précédemment présenté de 5,11 semaines, on peut affirmer que le temps de passage des panneaux représente 55 % du temps de passage réseau. Le coefficient de variation se situe à un niveau acceptable et ne varie pas beaucoup d'une composante à l'autre.

6.1.6 Rotation des inventaires (TO_i)

Cet indicateur a pour but d'identifier l'efficacité avec laquelle l'espace d'entreposage est utilisé chez le donneur d'ordres. Plus le rapport est élevé, plus l'espace réservé à l'entreposage des composantes est efficacement utilisé.

La valeur moyenne du taux de rotation des inventaires est de 21. Cette dernière peut être interprétée selon laquelle l'inventaire sera complètement renouvelé 21 fois pendant une année.

6.1.7 Valeur globale des inventaires dans le réseau (TP_U)

Le positionnement de la valeur des inventaires dans un réseau de sous-traitance peut varier en fonction de la stratégie adoptée. En effet, la différenciation retardée a comme impact de déplacer l'inventaire en fin de processus en amont, soit avant les étapes finales d'assemblage et de finition. Afin d'évaluer les scénarios sur une même base, il est important de considérer l'inventaire présent à chaque étape de la chaîne de valeur. Cet indicateur est donc séparé en quatre, soit une partie pour les inventaires de composantes, une pour les inventaires de panneaux, une pour les encours de composantes et une autre pour les encours de panneaux.

Inventaire de composantes

Le tableau 15 résume la valeur de l'inventaire moyen pour chaque famille de composantes.

Tableau 15 : Valeur de l'inventaire en fonction des familles de produits

FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN	FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN
361	17 000 \$	442	24 068 \$
364	11 058 \$	481	34 191 \$
381	22 712 \$	540	9 881 \$
384	10 777 \$	600	13 747 \$
400	8 759 \$	601	14 903 \$
421	48 488 \$	4230	8 272 \$
424	29 950 \$	4231	3 035 \$
440	7 735 \$	Total :	264 576\$

À la lumière de ces résultats, on peut affirmer qu'il y avait initialement en moyenne 264 576 \$ en inventaire de composantes de dessus de tables chez le donneur d'ordres.

Encours de composantes

Les encours de production moyens sont directement reliés au temps de passage moyen des commandes. Plus le temps de passage est long, plus les encours s'accumulent. Le tableau 16 résume la valeur moyenne présente en encours sur les planchers de production des différents sous-traitants.

Tableau 16 : Valeur des encours de composantes

NOMBRE DE COMPOSANTES ENCOURS	VALEUR MOYENNE COMPOSANTE	VALEUR TOTALE
1031	116,14 \$	119 740 \$

Inventaire de panneaux

Aucun inventaire de panneaux n'est conservé dans la situation initiale. En ce sens, l'inventaire de ces derniers est nulle.

Encours de panneaux

Les encours de panneaux représentent les commandes en cours de production chez le fournisseur de panneaux. La valeur totale de ces derniers est présentée dans le tableau 17.

Tableau 17 : Valeur des encours de panneaux

NOMBRE DE PANNEAUX ENCOURS	VALEUR MOYENNE	VALEUR TOTALE
2140	89,41 \$	191 337 \$

Valeur totale de l'inventaire

La valeur totale de l'inventaire constitue le principal point de repère pour l'évaluation des scénarios sur la base monétaire. Certains d'entre eux suggèrent l'ajout d'inventaires de panneaux dans le but de réduire les temps de passage. Ces réductions pourront permettre une diminution des niveaux d'inventaire de composantes chez le donneur d'ordres. Les chiffres résumant cette observation sont présentés au tableau 18.

Tableau 18 : Valeur de l'inventaire global dans le réseau

TYPE D'INVENTAIRE	VALEUR TOTALE
Composantes	264 576 \$
Encours de composantes	119 740 \$
Panneaux	0 \$
Encours de panneaux	191 337 \$
TOTAL :	575 653 \$

6.1.8 Variation de la charge de travail (*VAR*)

Malgré une production stable chez le donneur d'ordres, d'assez grandes fluctuations dans le niveau des commandes à l'intérieur du réseau peuvent être observées. Les variations dans la charge de travail constituent une grande difficulté pour les sous-traitants et les fournisseurs. La planification et la gestion des ressources humaines et matérielles doivent constamment s'adapter aux nouvelles commandes. Il en résulte une utilisation non efficace des ressources en générant des heures supplémentaires, une semaine et des périodes creuses, la suivante. Le tableau 19 résume les niveaux de variation observés. Ces derniers sont évalués par un coefficient de variation dans le but de les rendre faciles à comparer les uns aux autres.

Tableau 19 : Tableau résumé de la variation dans la charge de travail

	ENCOURS PLANCHER DONNEUR D'ORDRES	ENCOURS PLANCHER SOUS-TRAITANTS	ENCOURS PLANCHER PANNEAUX
ÉCART TYPE	0	333	390
MOYENNE	800	1 031	2 140
COEFFICIENT DE VARIATION (%)	0 %	32 %	18 %

La production chez le donneur d'ordres est stable et fixée à 800 tables par semaine. La variation y est donc nulle. Toutefois, le niveau de commande chez les sous-traitants fluctue de 32 %. Cette différence est principalement attribuable au mode de production utilisé.

En effet, la production de type ATO entraîne la présence d'inventaires chez le donneur d'ordres. Comme cet inventaire est géré en fonction de points de commande, le réseau situé en aval (responsable de fournir les composantes) est sujet à un effet coup de fouet ou d'amplification des variations. Le graphique présenté à la figure 29 illustre cette amplification.

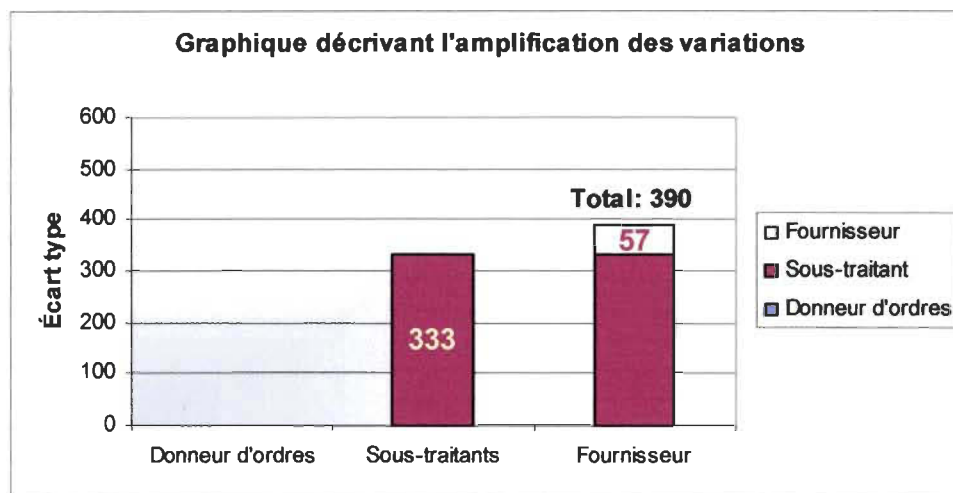


Figure 29: Graphique représentant l'effet coup de fouet en fonction du niveau dans le réseau

Les causes inhérentes au comportement désordonné du réseau sont multiples. La taille des lots, les délais administratifs ainsi que la stratégie de production ne sont que quelques facteurs générant ces fluctuations. Le tableau 20 met en lumière l'amplification générée par le changement d'un niveau à un autre. La plus grande amplification se trouve sans conteste entre les niveaux un et deux. Le mode de gestion sur stock joue un rôle de premier plan dans l'amplification des commandes. En effet, imaginons une semaine où l'on consomme 800 dessus de tables chez le donneur d'ordres dont la répartition est telle qu'aucun point de commande n'est atteint. Plusieurs points de commande différents seront simultanément atteints la semaine suivante. Le niveau de commande pourra donc passer de zéro à 1500, toujours pour le même niveau de production chez le donneur d'ordres. La faible amplification observée entre les niveaux deux et trois est attribuable au mode de gestion des commandes de panneaux. Ces derniers sont gérés selon un système de type « Make to orders », soit sur commande. Le ratio est donc de un pour un.

Tableau 20 : Tableau résumé de la variation de la charge de travail entre les différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement.

Niveau	1	2	3
1	-	-	-
2	32 %	-	-
3	18 %	3 %	-

Par exemple, l'amplification de la variation des commandes au niveau 2 par rapport au niveau 1 est de 32 %. Un écart de 18 % a été observé entre les niveaux 3 et 1 et 3 % entre les niveaux 3 et 2. Ces valeurs doivent donc provenir des fluctuations dans les délais de livraison et des différences de capacité entre le fournisseur de panneaux et les sous-traitants.

6.1.9 Utilisation des équipements ($UCNC_j$)

L'utilisation des équipements permet de déterminer la capacité du système à subir les contrecoups inhérents aux fluctuations mises en lumière au point précédent. Plus le niveau d'utilisation des équipements critiques est élevé, moins il reste de capacité pour absorber les variations dans la charge de travail. En contrepartie, la sous-utilisation des équipements ayant une grande valeur peut rendre difficile leur amortissement. Le tableau 21 présente l'utilisation des équipements.

Tableau 21 : Tableau résumé de l'utilisation des équipements critiques chez les différents sous-traitants

SOUS-TRAITANT	% UTILISATION
A	52 %
B	92 %
C	51 %

6.2 Présentation des résultats des scénarios

La section qui suit présente les résultats obtenus lors de la simulation des trois scénarios

6.2.1 Scénario 1 : Règles de priorité chez le sous-traitant

Lors de la simulation du scénario 1, seules les règles de priorité furent changées. Ces dernières étaient appliquées à la fois sur les planchers des sous-traitants et du fournisseur de panneaux bruts. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 22 ci-dessous.

Tableau 22 : Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario 1

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	DIFFÉRENCE ANTICIPÉE		DIFFÉRENCE OBSERVÉE %		
			NON PRIO	PRIO	NON PRIO	PRIO	GLOBALE
Fiabilité	Respect des délais clients (Commandes livrées à temps par le donneur d'ordres / Nombre totales de commandes traitées)	RD_{CC}	↘	↗	+ 4,2	+ 1,4	+ 3,5
	Nombre de pénuries jour – composantes (Quantité de composantes manquantes * La durée de la pénurie)	\overline{BOC}_i	↗	↘	- 11	- 40	- 23
	Nombre de pénuries jour – panneaux (Quantité de panneaux manquants * La durée de la pénurie)	\overline{BOP}_j	N-A	N-A	N-A	N-A	N-A
Réactivité	Temps de passage réseau (Semaines)	TP_R	↗	↘	-1,4	+ 0,3	- 0,8
	Temps de passage usine sous-traitant (Semaines)	TP_U	↗	↓	+ 2,0	- 8,6	- 1,5
	Temps de passage panneaux (Semaines)	TP_{PAN}	↗	↓	- 1,5	- 3,7	- 2,2
Flexibilité	Écart Type du temps de passage réseau (Semaines)				- 5,2	- 2,4	- 4,2
	Variation de la charge de travail – Sous-traitant	VAR_{ST}	→	↓	- 1	N-A	N-A
	Variation de la charge de travail – Fournisseur	VAR_F	→	→	- 2	N-A	N-A
Coûts	Valeur globale de l'inventaire (\$)	V_{TOT}	→	→	- 0,5	N-A	N-A
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements (Heures d'utilisation / Heures totales disponibles)	$UCNC_j$	→	→	+ 64	N-A	N-A
	Taux de rotation des inventaires (Nombre de tours par année)	TO_i	→	→	0	0	N-A

6.2.1.1 Respect des délais clients (RD_{CC})

Une hausse dans le niveau de service des commandes clients propres aux composantes priorisées avait été anticipée tandis qu'une baisse avait été prévue pour les composantes non priorisées. La simulation a toutefois révélé une hausse du niveau de service propre aux deux types de commandes (+4,2 % Non Priorisées et +1,4 % Priorisées). Cette situation peut être attribuable à la différence de la taille des lots de fabrication entre les composantes priorisées et les autres. En effet, les composantes traitées prioritairement ont été choisis en fonction de leur faible niveau de consommation. Or, ces derniers affectent la taille des lots de fabrications lancés dans le système. La taille des commandes des composantes priorisées était donc plus petite que la taille des commandes des autres composantes. La nouvelle règle de priorité peut donc s'apparenter à une règle de type « Shortest Process Time » ou SPT.

De plus, la baisse de l'écart type du temps de passage des commandes à l'intérieur du réseau peut avoir joué un rôle important en diminuant les délais extrêmes. Ces derniers favorisent les pénuries qui, à leur tour, engendrent des délais supplémentaires au temps de passage des commandes client. La proportion des commandes livrées dans les délais prescrits diminue donc.

La mise en place de règles de priorité sur les planchers de production favorisant le passage des commandes comportant de plus petites quantités peut donc jouer un rôle dans l'augmentation du niveau de respect des délais pour la fabrication des commandes clients.

6.2.1.2 Nombre de pénuries-jour – Composantes $\overline{BOC_i}$

Les raisons expliquant cette hausse dans le niveau de service sont les même que pour le point précédent.

6.2.1.3 Temps de passage réseau (TP_R)

Les règles de priorité ne sont appliquées qu'aux files d'attente des machine, sur les planchers de production. Le faible taux d'utilisation observé chez deux des

trois sous-traitants (50%) laisse croire que les files d'attente étaient, dans la plupart des cas, vides et que les règles de priorité n'avantageaient que très rarement les commandes priorisées.

De plus, le temps de passage des commandes sur les planchers de production ne représente qu'une faible proportion du temps de passage réseau. L'impact de l'adoption de telles règles de priorité se voit donc grandement dilué à l'échelle du réseau. Tout de même, une légère diminution du temps de passage global a été observée. En effet, il est passé de 5,11 à 5,01 semaines. La création de deux niveaux de priorité parmi les produits a aussi fait diminuer la variation dans le temps de passage de chacun des types de composante produit. Il est passé de 0,73 à 0,70.

La très légère fluctuation positive du temps de passage réseau (+0,3 %) des commandes priorisées peut être attribuable au fait que toutes les commandes nécessitent le même temps pour la mise en production, les transports et la saisie des commandes. En ce sens, cette augmentation correspond simplement au fruit du hasard et ne peut être interprétée comme significative.

La diminution du temps de passage réseau des commandes non priorisées (1,4 %) est surprenante. Toutefois, tout comme pour le temps de passage des commandes priorisées, la différence observée ne peut être interprétée comme significative.

6.2.1.4 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

Le temps de passage des commandes sur le plancher chez les sous-traitants est directement relié au nombre de commandes présentes dans le réseau. Plus il y a de commandes, plus le taux d'utilisation des équipements sera élevé et plus il y aura de commandes en attente devant les machines. Or l'impact de la mise en place de règles de priorité est directement relié à la présence d'encours sur le plancher de production ou au niveau d'utilisation des équipements. Le tableau 23 résume les gains en terme de temps de passage usine chez les sous-traitants en fonction du niveau d'occupation des équipements critiques.

Tableau 23 : Tableau comparatif entre le taux d'utilisation des équipements critiques et les gains en terme de temps de passage sur le plancher d'usine des sous-traitants

Sous-Traitant	Taux d'Utilisation	Variation Moyennes
A	51 %	-4,3 %
B	89 %	-17,7 %
C	50 %	-2,5 %

Le taux d'utilisation des équipements a bel et bien joué un rôle important dans le temps de passage des commandes sur le plancher des sous-traitants. Les gains sont donc de 17,7 % chez le sous-traitant présentant le plus haut taux d'utilisation et de 2,5 % chez celui étant le moins occupé.

La mise en place de règles de priorité touchant seulement les planchers de production a entraîné de légères diminutions des temps de passage des commandes sur le plancher des sous-traitants, non seulement pour les composantes priorisées, mais aussi pour l'ensemble des commandes. En effet, une diminution de 1,5 % en moyenne a été observée pour le temps de passage des commandes sur le plancher d'usine des sous-traitants.

6.2.1.5 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage des panneaux est le temps écoulé entre l'envoi de la commande chez le fournisseur de panneaux et sa réception sous forme de panneaux chez le sous-traitant. La simulation du scénario 1 impliquait une production de panneaux sur commande, c'est-à-dire qu'aucun inventaire de panneaux prêts à être livrés chez les sous-traitants n'était disponible chez le fournisseur. Ce dernier devait fabriquer les panneaux sur commande et accordait le même niveau de priorité à ces commandes que le sous-traitant chez lui. Le temps de passage des commandes priorisées dépendait alors beaucoup du niveau d'utilisation des équipements.

Le poste goulot ou critique chez le fournisseur de panneaux est le délignage. Ce dernier a un taux d'utilisation de 84 %. Comme toutes les commandes doivent passer par ce poste, l'impact de l'adoption de règles de priorité peut se faire sentir sur le temps de passage des panneaux pour l'ensemble des produits.

En plus du niveau d'utilisation des équipements, la taille des lots de fabrication joue aussi un rôle important dans le temps de passage des commandes. Le scénario 1 implique une production sur commande où on regroupe ces dernières par même famille pour ne former qu'un seul lot. Il peut donc y avoir d'importantes fluctuations dans la taille des lots de production chez le fournisseur de panneaux, et donc, d'importantes différences de temps de passage pour une même famille de produit.

La simulation du scénario 1 a permis d'observer une diminution du temps de passage des commandes panneaux de 3,65 % pour les commandes dont les composantes sont priorisées et de 1,46 % pour les autres. Les gains en terme de temps de passage pour les commandes non priorisées sont attribuables au hasard, car aucun facteur ne peut justifier cette variation.

Pour conclure, la mise en place de règles de priorités sur un plancher de production ne permet pas de réduire de manière significative le temps de passage réseau. De plus, les faibles gains potentiels qu'offre cette stratégie peuvent être rapidement effacés lorsque le volume de commandes diminue.

6.2.2 Scénario 2 : Règles de priorité et ajout d'un inventaire de panneaux bruts.

Lors de la simulation du scénario 2, en plus des règles de priorité ajoutées précédemment, un inventaire de panneaux bruts, constituant la matière première des sous-traitants, a été créé chez le fournisseur de panneaux. Les commandes sont donc passées chez le fournisseur qui envoie directement chez les sous-traitants les panneaux bruts selon leurs commandes.

Le tableau 24 qui suit résume les données recueillies lors de la simulation du scénario 2.

Tableau 24 : Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario 2

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	DIFFÉRENCE ANTICIPÉE		DIFFÉRENCE OBSERVÉE %		
			NON PRIO	PRIO	NON PRIO	PRIO	GLOBALE
Fiabilité	Respect des délais clients (Commandes livrées à temps par le donneur d'ordres / Nombre total de commandes traitées)	RD_{CC}	↑	↑	+ 5,5	+ 1,3	+ 4,5
	Nombre de pénuries jour – composants (Quantité de composants manquants * La durée de la pénurie)	\overline{BOC}_i	↓	↓	- 98	- 59	- 98
	Nombre de pénuries jour –panneaux (Quantité de panneaux manquants * La durée de la pénurie)	\overline{BOP}_j	→	→	+ 0,72	N-A	N-A
Réactivité	Temps de passage réseau (Semaines)	TP_R	↓	↓	- 51	- 50	- 51
	Temps de passage usine sous-traitant (Semaines)	TP_U	↗	↓	- 2,9	- 6,3	- 4,1
	Temps de passage panneaux (Semaines)	TP_{PAN}	↓	↓	- 88	- 86	- 87
Flexibilité	Écart Type du temps de passage réseau (Semaines)		↗	↗	- 31	- 30	- 31
	Variation de la charge de travail – Sous-traitant	VAR_{ST}	→	N-A	- 5	N-A	N-A
	Variation de la charge de travail – Fournisseur	VAR_F	↑	N-A	+ 20	N-A	N-A
Coûts	Valeur globale de l'inventaire (\$)	V_{TOT}	↑	N-A	+ 81	N-A	N-A
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements (Heures d'utilisation / Heures totales disponibles)	$UCNC_j$	→	N-A	+ 65	N-A	N-A
	Taux de rotation des inventaires (Nombre de tours par année)	TO_i	→	N-A	- 53	- 45	N-A

6.2.2.1 Respect des délais clients (RD_{cc})

Le scénario 2 suggère la mise en place d'un inventaire de panneaux bruts entre les sous-traitants et leurs fournisseurs. Cet inventaire aura comme effet une nette diminution du temps de passage des commandes de panneaux et une forte augmentation de la valeur de l'inventaire global. Cette augmentation est attribuable à deux facteurs : la valeur des panneaux eux-mêmes, et la valeur de l'inventaire des composantes qui sera augmentée par la diminution des temps de passage. Une réévaluation des points de commande sera en ce sens suggérée dans la proposition finale.

Le respect des délais des commandes clients est directement relié au temps de passage réseau et au point de commande pour chaque composante. Ces derniers n'ont pas été modifiés dans la simulation du scénario 2 tandis que le temps de passage réseau a subi une baisse de 51% pour l'ensemble des commandes. Cette combinaison explique donc la hausse dans le niveau de service offert pour les commandes clients.

6.2.2.2 Temps de passage réseau (TP_R)

Le temps de passage réseau comprend plusieurs délais administratifs et de production dont le temps pour l'acquisition de la matière première nécessaire pour l'usinage des composantes chez les sous-traitants. Ce délai représente plus de 51 % du temps de passage réseau. La mise en place d'un inventaire de panneaux visant la réduction du temps d'acquisition des panneaux laissait présager une forte diminution du temps de passage réseau.

En effet, les commandes priorisées passent la moitié moins de temps dans le réseau tandis que les commandes non priorisées y passent 51 % plus rapidement. Ces gains en terme de temps de passage réseau font chuter de 98 % en moyenne le nombre de pénuries jour pour les composantes, mais du même coup, gonflent la valeur de l'inventaire de 81 %.

6.2.2.3 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

Le temps de passage usine chez les sous-traitants n'a pas changé de manière significative entre les scénarios 1 et 2, ce qui est en ligne avec les résultats anticipés.

6.2.2.4 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage des commandes panneaux est sans contredit l'indicateur ayant subi le plus grand changement entre sa situation initiale et celle observée lors de la simulation. La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts entre les sous-traitants et leur fournisseur a eu comme impact une réduction du temps de passage des commandes panneaux de 88 % pour les composantes non priorisées et 86 % pour les composantes prioritaires. Le gain légèrement plus important pour les composantes non favorisées par les règles de priorité peut s'expliquer par la taille des lots de fabrication des panneaux dans la situation initiale. Les commandes non priorisées sont commandées en lots plus importants que les commandes favorisées par les nouvelles règles. En fonctionnant sur commande, le fournisseur de panneaux regroupe toutes les commandes par famille. La taille des lots de production chez les fournisseurs de panneaux était alors augmentée. Le temps de passage des commandes ainsi créées chez le fournisseur de panneaux était donc du même coup augmenté.

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts a donc permis de réduire le délai de livraison des commandes de panneaux bruts de 87% en plus de permettre un meilleur contrôle de la taille des lots de production à l'intérieur de l'usine de panneaux.

6.2.2.5 Variation de la charge de travail (VAR_F) : Fournisseur

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts a comme effet positif une réduction notable du temps de passage moyen des commandes dans le réseau. Cette réduction a toutefois des répercussions à priori cachées.

La production en réseau peut parfois créer un effet coup de fouet. Cet effet se caractérise par de fortes fluctuations dans le niveau des commandes circulant dans le réseau.

Ce nouveau mode de production adopté par le fournisseur de panneaux vise une production sur stock. La stabilité du carnet de commandes sur son plancher de production en est donc grandement affectée. En effet, imaginons une semaine où les stocks de panneaux sont consommés de manière uniforme faisant en sorte qu'aucun point de commande n'est atteint. Aucune commande ne sera alors lancée sur le plancher de production du fournisseur. Ce dernier aura alors du mal à planifier ses besoins en main d'œuvre. La semaine qui suit, plusieurs points de commandes pourront être atteints simultanément, faisant en sorte que les commandes à fabriquer dépasseront largement la capacité du fournisseur. Ce dernier sera alors constamment en sur ou en sous capacité, entraînant alors de nombreux gaspillages et de la confusion chez le personnel.

La scénario 2 a révélé que le niveau de variation des commandes en production chez le fournisseur augmente de 20 % lorsque l'on place des panneaux en inventaire. La variation du niveau des commandes en cours chez les sous-traitants a pour sa part diminuée de 5 %.

L'amplification de la variation du niveau de commandes peut être reliée aux niveaux précédents. Pour cette raison, l'indicateur soustrait l'écart type du niveau précédent à son propre écart type de manière à calculer l'amplification réelle entre les deux niveaux. La figure 30 est un graphique illustrant la répartition des écarts type observés lors de la simulation du scénario 2.

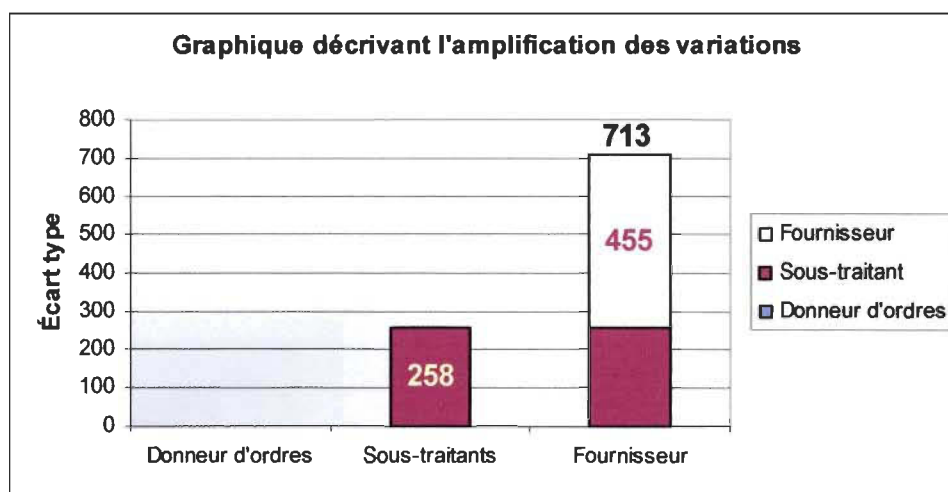


Figure 30: Graphique illustrant la variation de la charge de travail aux trois niveaux de la chaîne d'approvisionnement

La variation totale de la charge de travail chez le fournisseur est donc le résultat des fluctuations aux niveaux précédents ajouté à sa propre amplification.

6.2.3 Scénario 3 : Règles de priorité, inventaire de panneaux bruts et réduction des délais administratifs

Le scénario 3 propose une réduction des délais administratifs pour les cinq composantes priorisées. Ces délais sont composés du temps nécessaire pour recevoir la commande, la traiter et la mettre en production. Initialement, les commandes étaient accumulées pendant une semaine avant d'être traitées et mises en production le lundi suivant. Dans ce scénario 3, les commandes seront traitées deux fois par semaine et mises en production instantanément si elles sont priorisées. Le tableau qui suit résume les résultats observés lors de la simulation du scénario 3.

Tableau 25 : Tableau comparatif des indicateurs de performance pour le scénario 3

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	DIFFÉRENCE ANTICIPÉE		DIFFÉRENCE RÉELLE %		
			NON PRIO	PRIO	NON PRIO	PRIO	GLOBALE
Fiabilité	Respect des délais clients (Commandes livrées à temps par le donneur d'ordres / Nombre total de commandes traitées)	RD_{CC}	↑	↑	+ 5,6	+ 2,2	+ 4,7
	Nombre de pénuries jour – composantes (Quantité de composantes manquantes * La durée de la pénurie)	\overline{BOC}_i	↓	↓	- 100	- 60	- 80
	Nombre de pénuries jour – panneaux (Quantité de panneaux manquants * La durée de la pénurie)	\overline{BOP}_j	→	→	0		
Réactivité	Temps de passage réseau (Semaines)	TP_R	↓	↓	- 54	- 62	- 57
	Temps de passage usine sous-traitant (Semaines)	TP_U	↗	↓	- 2,8	- 6,2	- 4,0
	Temps de passage panneaux (Semaines)	TP_{PAN}	↓	↓	- 88	- 86	- 87
Flexibilité	Écart Type du temps de passage réseau (Semaines)		↗	↗	- 36	- 24	- 30
	Variation de la charge de travail – Sous-traitant	VAR_{ST}	→		+26		
	Variation de la charge de travail – Fournisseur	VAR_F	↑		+36		
Coûts	Valeur globale de l'inventaire (\$)	V_{TOT}	↑		+84		
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements (Heures d'utilisation / Heures totales disponibles)	$UCNC_j$	→		- 65		
	Taux de rotation des inventaires (Nombre de tours par année)	TO_i	→		- 54	- 47	

6.2.3.1 Respect des délais clients (RD_{CC})

Le scénario 3 visait à quantifier les gains potentiels que pourrait apporter une réduction de certains délais administratifs tels que la prise en charge plus rapide des commandes ainsi qu'une mise en production plus rapide pour les commandes prioritaires. Ces dernières respectent le délai de trois semaines fixé pour les commandes clients dans 2,15 % de plus des cas tandis que les commandes non prioritaires le font dans 5,64 % de plus. Le scénario 3 présente donc des gains en terme de capacité de livrer les commandes clients dans les délais prescrit, et ce, aussi bien pour les commandes prioritaires que pour les commandes non prioritaires. Toutefois, si l'on compare les résultats avec ceux obtenus lors de la simulation du scénario 2, les commandes prioritaires sont livrées à temps dans 0,6 % de plus des cas. Les commandes non prioritaires enregistrent quant à elles des gains de 0,3 %. Ces gains ne sont pas significatifs et ne permettent pas d'affirmer qu'une réduction des délais administratifs permet d'améliorer substantiellement le respect des délais clients.

6.2.3.2 Temps de passage réseau (TP_R)

Le temps de passage réseau est constitué de deux principaux délais administratifs soit la réception de la commande et la planification de la production. Ces délais sont attribuables aux moyens de communication et aux outils de planification employés. Le scénario 3 propose d'étudier l'impact d'une diminution substantielle de ces délais sur le temps de passage réseau. Le tableau 26 rappelle les délais initiaux ainsi que ceux proposés par le scénario.

Tableau 26 : Tableau comparatif des délais administratifs inhérents à la situation initiale et ceux déterminés pour le scénario 3

NIVEAU PRIORITÉ	TEMPS RÉCEPTION COMMANDE (JOURS)			TEMPS PLANIFICATION (HEURES)		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
DÉLAIS INITIAUX	1	3	9	24	60	72
DÉLAIS POUR LES COMMANDES PRIORISÉES	0,5	1	1,5	4	8	12

Les résultats de la simulation du scénario 3 indiquent une réduction du temps de passage de 54% pour les composantes non priorisés et de 62 % pour les composantes favorisées par les nouveaux paramètres. Le scénario 2 présentait des améliorations de 51 % pour les composantes non prioritaires et de 50 % pour les composantes prioritaires. La réduction des délais peut donc affecter de manière positive le temps de passage réseau des commandes.

6.2.3.3 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

La réduction des délais administratifs n'a pas d'impacts sur le temps de passage sur le plancher d'usine des sous-traitants.

6.2.3.4 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Tout comme le temps de passage sur le plancher d'usine des sous-traitants, le temps d'acquisition des panneaux n'a pas subi de changements par rapport au scénario 2.

6.2.4 Conclusion sur les 3 scénarios

Les trois scénarios proposés permettent tous de réduire le temps de passage réseau des commandes. Toutefois, ces modifications, de la manière avec laquelle la chaîne d'approvisionnement fonctionne, nécessitent des coûts relatifs au changement des équipements et au transport. Une étude coût-bénéfice devrait donc être lancée avant la mise en place d'une ou plusieurs propositions.

6.3 Analyse comparative des trois scénarios

La section qui suit analyse les résultats de la simulation des différents scénarios par indicateur de performance.

6.3.1 Respect des délais clients (RD_{CC})

Le respect des délais clients est directement relié à la capacité du donneur d'ordres à assembler et finir les commandes provenant des détaillants dans les délais prescrits. Il est donc important de s'assurer d'un bon niveau de service en tentant d'approcher la valeur de l'indicateur le plus près possible de 100 %. La figure 31 présente un graphique résumant l'augmentation du niveau de respect des délais clients pour les trois scénarios présentés précédemment.

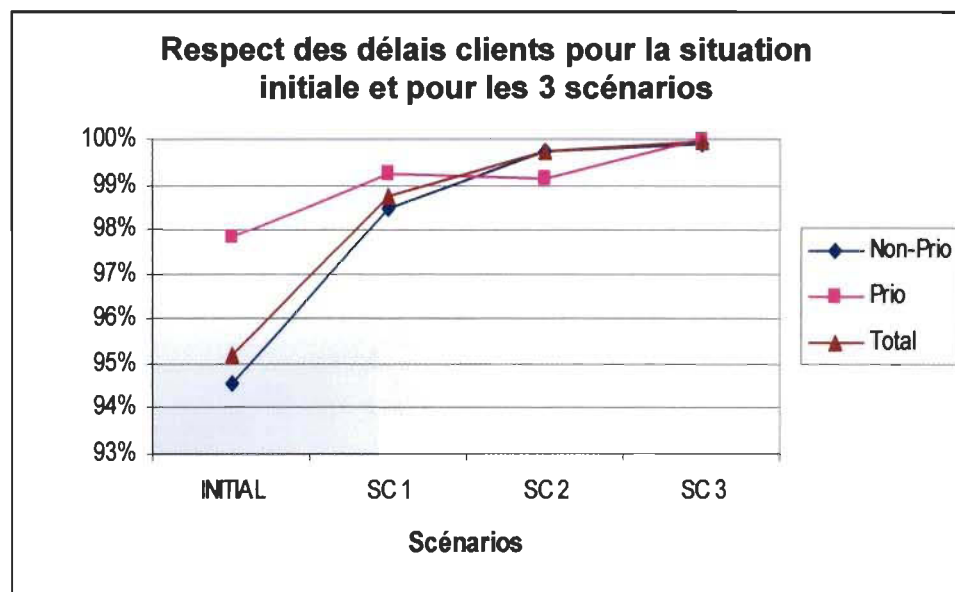


Figure 31: Graphique représentant la valeur de l'indicateur Respect des délais Clients en fonction des scénarios proposés

Ironiquement, les gains en terme de respect des délais clients semblent plus importants pour les composantes non priorisées. Cette situation s'explique par le fait qu'initialement, le respect des délais clients (niveau de service) des composantes qui allaient être priorisées était déjà élevé. L'hypothèse selon laquelle les gains sont plus difficiles à obtenir lorsqu'on se rapproche de 100 % peut donc être posée.

Malgré les gains en terme de temps de passage réseau pour chaque scénario, les points de commande n'ont pas été révisés afin de diminuer les inventaires. On observe donc une augmentation du niveau de service pour les commandes clients. Le scénario 3 présente le meilleur potentiel d'amélioration avec une augmentation globale de 4,26 % du respect du délai de livraison des commandes clients.

6.3.2 Temps de passage réseau (TP_R)

La figure suivante résume les gains en terme de temps de passage réseau des commandes pour chaque scénario et pour chaque famille de produit.

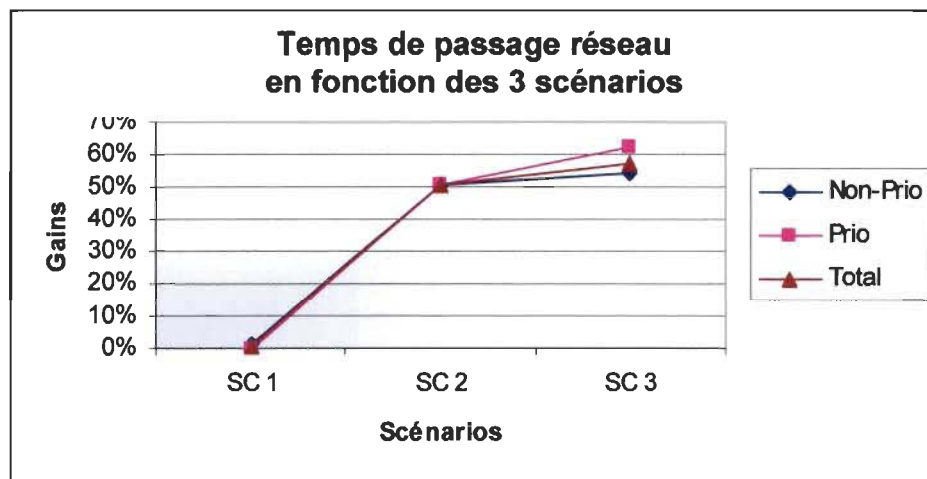


Figure 32: Graphique représentant les gains en termes de temps de passage réseau des commandes

Les gains en terme de temps de passage des composants favorisés par les nouvelles règles de priorité sont marginaux s'ils sont comparés aux autres gains des autres scénarios. Cette stratégie ne peut donc pas, à elle seule, diminuer de manière substantielle les temps de passage dans le réseau.

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts chez le fournisseur des sous-traitants, permis une réduction de plus de 50 % du temps de passage global des commandes.

La réduction des délais administratifs, a pour sa part, joué un rôle important dans la diminution du temps de passage réseau lors de la simulation 3. En effet, on note une diminution moyenne de plus de 56 % du temps de passage réseau lors de l'analyse des résultats.

Le calcul du niveau d'inventaire des composantes chez le donneur d'ordres est fait en tenant compte des variations dans les délais d'obtention des composantes, donc des variations du temps de passage réseau. Plus les variations du temps de passage réseau seront grandes, plus l'inventaire devra être grand pour maintenir le même niveau de service aux clients. La figure 33 consiste en un graphique présentant les différents gains en terme de diminution de la variabilité du temps de passage observés lors de la simulation des scénarios.

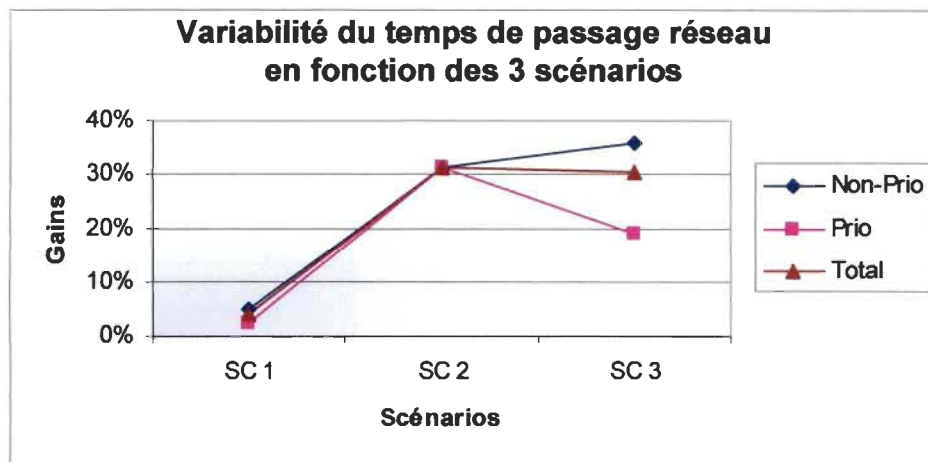


Figure 33 : Illustration graphique de la variabilité du temps de passage réseau en fonction des trois scénarios.

6.3.3 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

L'adoption de règles de priorité, ne s'appliquant que sur le plancher de production des sous-traitants et du fournisseur, ne joue pas un rôle de premier plan au niveau du temps de passage réseau. Toutefois, parmi les membres du réseau, l'adoption de ces règles influence nettement le temps de passage usine. La figure 34 illustre les gains en terme de temps de passage usine en fonction des différents scénarios proposés.

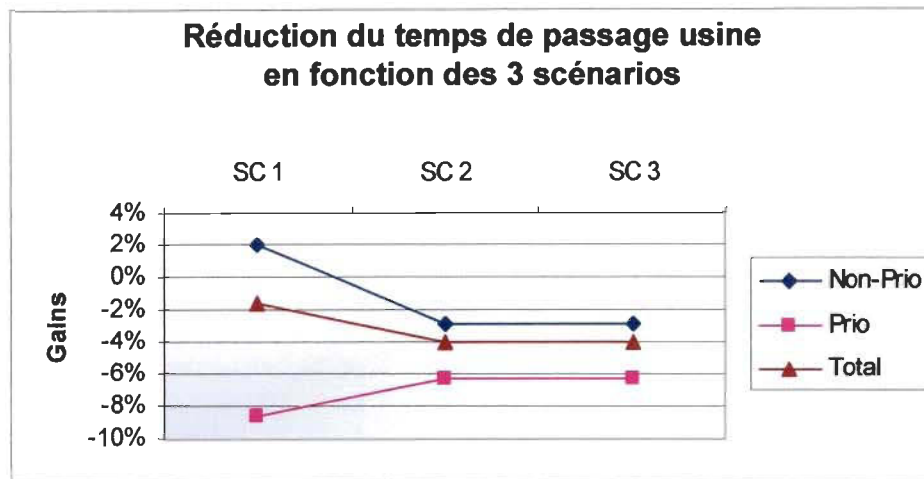


Figure 34: Graphique représentant la réduction du temps de passage usine des commandes en fonction des scénarios.

Le scénario 1 présente les meilleurs résultats pour la réduction du temps de passage des composants priorisés avec 8,6 % de gains (référence tableau 22). En même temps, elle se trouve à être la pire solution pour les composants non priorisés avec une augmentation du temps de passage usine de 2 %, ce qui est explicable par la nature même des changements dans les règles de priorité.

6.3.4 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage des panneaux représente une partie importante du temps de passage réseau. Sa diminution pourrait jouer un rôle de premier plan dans la réduction des inventaires de composants. La figure 35 représente sous forme de graphique les gains relatifs au temps de passage panneaux en fonction des scénarios.

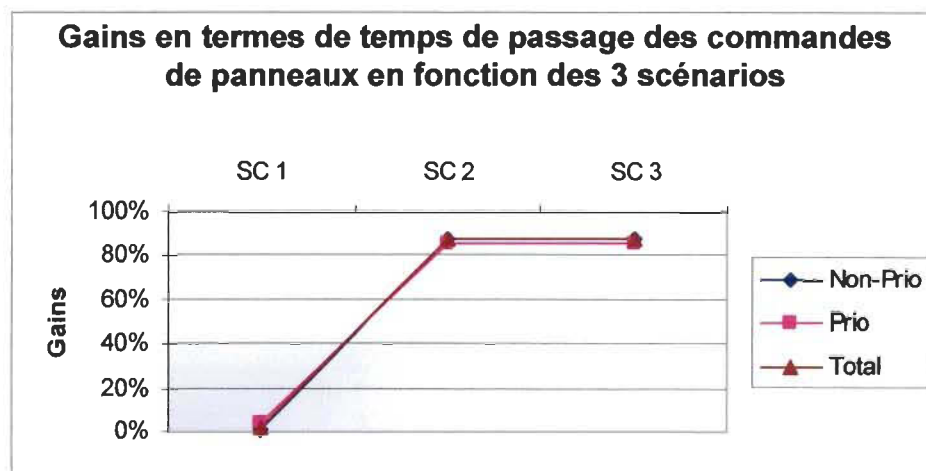


Figure 35: Graphique représentant les gains en termes de temps de passage des panneaux en fonction des scénarios.

Ce chapitre a permis d'évaluer, en se basant sur les mêmes indicateurs de performance, trois scénarios. Le meilleur potentiel d'amélioration réside dans les scénarios 2 et 3, soit ceux qui suggèrent la mise en place d'un inventaire de composantes chez le fournisseur de panneaux. En effet, cette stratégie laisse voir une diminution de 87 % du temps de passage des commandes de panneaux. Cette réduction du temps de passage se fait néanmoins au prix d'une augmentation de la variabilité dans la charge de travail dans la chaîne d'approvisionnement. Ces fluctuations induiront des temps de passage avec des écarts-types plus élevés nécessitant du même coup plus d'inventaire de composantes chez le donneur d'ordres pour conserver le niveau de service initial.

La section qui suit évalue si les gains en terme de niveau d'inventaire de composantes chez le donneur d'ordre pourront justifier l'ajout d'un stock de panneaux chez le fournisseur.

CHAPITRE 7 : RECOMMANDATIONS

La simulation des scénarios avait comme objectif de déterminer l'impact de l'adoption de différentes stratégies manufacturières dans un réseau de sous-traitance. Les conclusions tirées de ces simulations ont ensuite permis de mettre au point une proposition finale permettant une diminution de l'inventaire chez le donneur d'ordres sans compromettre le niveau de service offert aux clients finaux.

Proposition finale : Révision des paramètres opérationnels pour tenir compte des nouveaux temps de passage.

Les changements proposés dans la section précédente avaient comme objectif une réduction du temps de passage afin d'offrir une possibilité de réduction des inventaires de composantes de meubles. Les gains en espace pourront alors être utilisés pour l'ajout de nouveaux produits à la gamme actuellement offerte par le donneur d'ordres.

La présente proposition consiste en une révision des différents paramètres opérationnels, principalement composés des points de commande pour les différentes composantes.

7.1 Nouveaux paramètres

7.1.1 Point de commande pour les composantes

La réduction des temps de passage a fait augmenter les niveaux d'inventaire des composantes chez le donneur d'ordres. Une révision des points de commande est donc nécessaire afin de minimiser les coûts d'entreposage globaux dans le réseau. L'équation 29 qui suit décrit le calcul effectué pour déterminer le nouveau point de commande.

$$PCCOMP_i = (TPR_i * D_i) + (D_i * \sigma TP_i * Z) \quad (29)$$

$PCCOMP_i$: Point de commande pour la composante i (unités);

TPR_i : Temps de passage pour la composante i (semaines);

σTP_i : Écart type du temps de passage de la composante i (semaines);

D_i : Demande pour la composante i (unités par semaine);

Z : Niveau de service voulu (1,96 = 97,5 %).

7.1.2 Point de commande pour les panneaux

Les points de commande initiaux pour les panneaux ont été déterminés en fonction des anciens temps de passage des commandes chez le fournisseur. La production de panneaux en lots fixes, contrairement à la production sur commande initialement présente, a comme avantage de diminuer la variabilité des temps de passage des commandes. Les stocks de sécurité nécessaires sont alors diminués.

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts en fin de processus chez le fournisseur de ces derniers a donc changé de manière notable la mécanique inhérente au passage des commandes de panneaux. Pour cette raison, les points de commande initialement déterminés ont dû être réévalués. L'équation 30 qui suit résume la méthode employée.

$$PCPAN_j = (TP_j * D_j) + (D_j * \sigma TP_j * Z) \quad (30)$$

$PCPAN_j$: Point de commande pour les panneaux j (unités);

TP_j : Temps de passage pour les panneaux j (semaines);

σTP_j : Écart type du temps de passage des panneaux j (semaines);

D_j : Demande des panneaux j (unités par semaine);

Z : Niveau de service voulu (1,96 = 97,5 %).

Les variations dans la charge de travail chez le fournisseur de panneaux ont comme impact une augmentation de l'écart type du temps de passage sur le plancher de production de panneaux. Cette augmentation nécessite, par la suite, une hausse du niveau d'inventaire pour maintenir le niveau de service initial.

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts a donc entraîné un déplacement de la valeur de l'inventaire du donneur d'ordres vers le fournisseur de panneaux. La diminution du temps de passage réseau et de sa variation s'est donc faite en augmentant la variation du temps de passage chez le fournisseur de panneaux.

7.1.3 Taille des lots

Le plus petit lot de production actuellement lancé est de 10 dessus de tables. Cette quantité est la limite inférieure estimée de rentabilité pour les sous-traitants. Les mises en course sont constituées de deux phases dont la plus longue est destinée à la mise en place du gabarit pour l'ensemble de la famille de dessus de tables. Une planification permettant la production regroupée des commandes d'une même famille permet donc d'éviter un certain nombre de mises en course.

Peu d'études de type SMED ont été conduites afin de diminuer les temps de mise en courses sur les centres d'usinage à contrôle numérique chez les sous-traitants. Il reste donc un bon potentiel d'amélioration pouvant mener à d'importantes réductions des temps de mises en course sur ces équipements.

Il devient donc envisageable de produire, dans le futur, selon des lots de taille réduite de manière substantielle. Le lot minimal qui sera testé dans cette proposition est de cinq unités.

Il n'est pas logique d'adopter une taille de lot inférieure à la consommation pendant le délai de livraison. En ce sens, la taille des lots pour les composantes traités selon une logique de MTO sera déterminée par la plus grande valeur entre le nouveau lot minimal acceptable et la consommation nette pendant le délai d'approvisionnement. L'équation qui suit décrit le calcul :

$$: \quad LOT_i = \text{Max}[LMA; (TPR_i * D_i)] \quad (31)$$

LOT_i : Taille du lot pour la composante i (unités);

LMA : Lot minimal acceptable (en occurrence 5) (unités);

TPR_i : Temps de passage réseau de la composante i (semaines);

D_i : Demande pour la composante i (unités par semaine);

7.1.4 Déclenchement des commandes

La fréquence à laquelle les commandes sont émises dans le réseau de sous-traitants influence grandement le temps de passage réseau. Dans une situation où l'on veut minimiser l'inventaire d'une certaine partie des composantes, il devient intéressant d'évaluer l'impact d'une augmentation de la fréquence de l'émission des commandes. Cette augmentation entraînera une diminution des délais administratifs tout en rendant la chaîne d'approvisionnement plus réactive.

Les commandes sont actuellement lancées une fois par semaine, soit toutes les 120 heures ouvrables. La recommandation propose une évaluation des besoins à toutes les 24 heures pour les composantes considérés comme étant MTO. Cette stratégie aura comme impact de mieux répartir la charge de travail tout au long de la semaine.

7.1.5 Traitement des commandes chez le donneur d'ordres

Aucune distinction entre les commandes priorisées et non priorisées n'est actuellement faite chez le donneur d'ordres. Les ordres de fabrication passent donc dans le système selon la règle du premier arrivé, premier servi. Dans le cas où une diminution des inventaires de composants serait envisagée, il serait intéressant d'étudier l'attribution d'ordres de priorité favorisant le passage des commandes priorisées. Il serait alors possible de diminuer davantage les inventaires de composants prêtes à être assemblées.

7.2 Analyse des résultats de la proposition

La simulation de la proposition a comme objectif de démontrer de manière quantitative les gains potentiels auxquels le réseau pourrait s'attendre en adoptant les paramètres suggérés. Les chiffres, bien que fiables, ne doivent être considérés qu'à titre indicatif. Le tableau 27 suivant résume les données recueillies à la suite de la simulation de la proposition.

Tableau 27 : Tableau résumé des résultats de la simulation de la proposition

CATÉGORIE	INDICATEUR	SYMBOLES	VALEURS INITIALES	VALEURS PROPOSÉES		DIFF % GLOBALE
				NON PRIO	PRIO	
Fiabilité	Respect des délais clients	RD_{CC}	95,2 %	99,2 %	96,8 %	+ 3,5 %
	Nombre de pénuries jour moyen par famille	\overline{BOC}_i	0,9	0,84	0,73	- 10 %
	Nombre de pénuries jour –panneaux (composantes / famille)	\overline{BOP}_j				
Réactivité	Temps de passage réseau (sem)	TP_R	5,11	2,31	1,80	- 58 %
	Temps de passage usine sous-traitant (sem)	TP_U	0,99	0,98	0,64	- 13 %
	Temps de passage panneaux (sem)	TP_{PAN}	2,85	0,24	0,23	- 92 %
Flexibilité	Écart Type du temps de passage réseau	σTP_R	0,66	0,48	0,07	- 34 %
	Variation de la charge de travail – Sous-traitant	VAR_{ST}	32 %	29 %		- 3 %
	Variation de la charge de travail – Fournisseur	VAR_F	18 %	42 %		+ 24 %
Coûts	Valeur globale de l'inventaire	V_{TOT}	583 448 \$	772 997 \$		+ 32 %
Utilisation des actifs	Utilisation des équipements	$UCNC_j$	65 %	65 %		0 %
	Taux de rotation des inventaires	TO_i	21	45	40	+ 15 %

7.2.1 Respect des délais clients (RD_{cc})

Le niveau de service initial était de 95,2 %. Afin de conserver une marge de manœuvre, les nouveaux paramètres ont été fixés en accordant un niveau de service de 97,5 %. Or, la valeur globale recueillie lors de la simulation est de 98,7 %, ce qui est au dessus de nos espérances. Ce haut niveau de service signifie que le réseau est sous contrôle sous les paramètres suggérés.

Les commandes priorisées présentent un plus faible niveau de service que les commandes non priorisées. Cette observation est attribuable au niveau d'inventaire ayant été déterminé au préalable. Les niveaux d'inventaire sont plus bas pour les composantes priorisées puisque leur consommation et le délai de réapprovisionnement sont plus faibles. L'effet coup de fouet généré par la mise en place d'un inventaire de panneaux bruts influence à la hausse la variabilité dans la charge de travail et donc dans les délais, dans le réseau.

7.2.2 Nombre de pénuries

Composantes ($\overline{BOC_i}$)

Le recalcul des points de commande pour les composantes a permis de diminuer de manière substantielle la valeur moyenne de l'inventaire du scénario 3, c'est-à-dire de 1 067 710\$ à 772 997\$, une diminution de 27,6%. Toutefois, il faut s'assurer que cette diminution n'entraîne que peu de pénuries ou de retards dans la livraison des commandes clients. Le tableau 28 résume le nombre de pénuries observées lors de la simulation de la proposition et ce, pour chaque famille de produit.

Tableau 28 : Tableau résumé du nombre d'composantes en pénurie

FAMILLE	NOMBRE D'COMPOSANTES MOYEN EN PÉNURIE	FAMILLE	NOMBRE D'COMPOSANTES MOYEN EN PÉNURIE
361	0,00	442	10,07
364	10,51	481	3,71
381	2,27	540	0,24
384	0,10	600	0,04
400	0,00	601	5,51
421	3,83	4230	0,00
424	4,05	4231	3,91
440	4,07	TOTAL :	48,31

Il devient donc possible d'affirmer que 48,31 composantes ont été manquantes en moyenne pendant la simulation de la proposition, soit 3,2 par famille en moyenne.

Panneaux ($\overline{BOP_j}$)

La situation initiale ne comportait aucun panneau en inventaire chez le fournisseur de ces derniers. Le nombre de pénuries jour de la proposition sera donc comparé à celui observé lors de la simulation du scénario 2, soit 0,75 panneaux par famille, ou 9 panneaux. Le tableau suivant résume le nombre de pénuries jour par famille pour la situation proposée.

Tableau 29 : Tableau résumé du nombre de panneaux en pénurie

FAMILLE	NOMBRE D'COMPOSANTES MOYEN EN PÉNURIE	FAMILLE	NOMBRE D'COMPOSANTES MOYEN EN PÉNURIE
3711	0,00	4502	1,36
3911	3,33	4911	0,00
4101	0,00	5501	0,00
4311	3,21	6101	0,00
4312	0,23	6111	1,56
4313	0,07		
4501	0,00	Total :	9,76

7.2.3 Temps de passage réseau (TP_R)

Le temps de passage réseau est le temps écoulé entre le lancement d'une commande dans le réseau de sous-traitance et sa réception chez le donneur d'ordres. Le tableau 30 illustre les données recueillies lors de la simulation de la proposition.

Tableau 30 : Tableau résumé du temps de passage réseau des commandes

FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)		FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)	
	\bar{X}	σ		\bar{X}	σ
361	2,29	0,43	442	2,61	0,62
364	1,40	0,30	481	1,50	0,42
381	2,83	0,91	540	1,54	0,26
384	2,50	0,52	600	1,42	0,38
400	2,32	0,39	601	2,63	0,54
421	2,82	0,60	4230	1,61	0,45
424	2,65	0,58	4231	1,65	0,25
440	2,41	0,45	MOYENNE	2,15	0,47

Le temps de passage des commandes à l'intérieur du réseau ayant subi les modifications suggérées dans le cadre de la proposition est donc de 2,15 semaines en moyenne. Le temps de passage initial était de 5,11 semaines. L'écart type du temps de passage réseau a aussi grandement chuté. Il est passé de 0,66 à 0,44 semaine soit une diminution de 34 %. Le comportement du réseau est donc plus stable permettant par le fait même une diminution de l'inventaire.

7.2.4 Temps de passage usine des sous-traitants (TP_U)

Le temps de passage des commandes dans les usines des sous-traitants est directement relié à la taille des lots de production et à la charge de travail chez le sous-traitant responsable de l'usinage des composantes en cause.

La mise en place de règles de priorité favorisant le passage de certaines familles de produits peut aider à diminuer leur temps de passage à l'intérieur d'une usine. Le tableau qui suit résume les temps de passage pour chacune des familles.

Tableau 31 : Tableau résumé du temps de passage des commandes sur le plancher d'usine des sous-traitants

FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)		FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)	
	\bar{X}	σ		\bar{X}	σ
361	0,86	0,27	442	0,84	0,22
364	0,52	0,22	481	0,59	0,33
381	1,18	0,65	540	0,71	0,13
384	0,84	0,17	600	0,53	0,28
400	0,88	0,17	601	0,92	0,18
421	1,32	0,47	4230	0,70	0,11
424	1,10	0,42	4231	0,72	0,11
440	0,90	0,20	MOYENNE GLOBALE	0,86	0,38

La réduction du temps de passage ne s'est pas limitée aux familles de produits priorisés. Les temps de passage d'autres composantes ont aussi été diminués. Le temps de passage global est donc passé de 0,99 semaine à 0,86 semaine, une diminution de 13 %.

7.2.5 Temps de passage des panneaux (TP_{PAN})

Le temps de passage des commandes de panneaux à l'intérieur du réseau a grandement été diminué par la mise en place d'un inventaire chez le fournisseur de ces derniers. Voici un tableau résumé des temps de passage panneaux pour chacune des 15 familles de composantes.

Tableau 32 : Tableau résumé du temps de passage des panneaux chez le fournisseur de ces derniers

FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)		FAMILLE	TEMPS PASSAGE (SEM)	
	\bar{X}	σ		\bar{X}	σ
361	0,28	0,34	442	0,58	0,47
364	0,20	0,36	481	0,11	0,31
381	0,28	0,42	540	0,12	0,30
384	0,29	0,37	600	0,31	0,36
400	0,25	0,36	601	0,17	0,36
421	0,27	0,40	4230	0,38	0,33
424	0,14	0,34	4231	0,14	0,30
440	0,10	0,33	MOYENNE	0,24	0,35

Le temps de passage des commandes de panneaux qui était initialement de 2,85 semaines est maintenant de 0,24 semaine en moyenne, soit une réduction de 89 %.

7.2.6 Rotation des inventaires de composantes (TO_i)

La rotation des inventaires illustre l'efficacité de l'utilisation de l'espace d'une usine. Plus la valeur de cet indicateur est élevée, meilleure est l'utilisation du plancher. Le tableau 33 résume le taux de rotation des inventaires propre à chaque famille.

Tableau 33 : Tableau résumé du taux de rotation annuel des inventaires

FAMILLE	ROTATION OBSERVÉE	FAMILLE	ROTATION OBSERVÉE
361	39	442	28
364	44	481	16
381	45	540	50
384	13	600	49
400	73	601	101
421	39	4230	5
424	28	4231	5
440	64	MOYENNE	40

La valeur initiale accordée aux points de commande ne tenait pas compte du temps de passage des commandes à l'intérieur du réseau. Les inventaires étaient donc parfois trop élevés, parfois trop bas. Pour cette raison, suite à la réévaluation des points de commande, le taux de rotation des inventaires est passé de 21 à 40, soit une augmentation de 90 %. Les inventaires sont donc renouvelés deux fois plus souvent, en moyenne, par année.

7.2.7 Valeur globale des inventaires dans le réseau (V_{TOT})

La réduction du temps de passage réseau ainsi que la diminution des variations de ce dernier permettent une réduction marquée de l'inventaire de composantes chez le donneur d'ordres. Toutefois, l'inventaire de panneaux créé chez le fournisseur a comme impact de faire augmenter la valeur globale de l'inventaire. Le tableau 34 résume la valeur des inventaires pour chaque famille de produit chez le donneur d'ordres.

Tableau 34 : Tableau résumé de la valeur des inventaires

FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN	FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN
361	8 589 \$	442	19 584 \$
364	9 544 \$	481	19 877 \$
381	30 983 \$	540	12 678 \$
384	5 022 \$	600	16 401 \$
400	6 183 \$	601	13 209 \$
421	29 983 \$	4230	6 235 \$
424	14 462 \$	4231	1 421 \$
440	8 326 \$	TOTAL :	202 498 \$

La valeur de l'inventaire de composantes identifiée lors de la simulation de la situation initiale était de 264 576 \$. La proposition suggère donc une réduction de 62 079 \$, soit 24 % de moins que la valeur initiale des inventaires de composantes.

Encours de composantes

La présence d'encours de composantes dans le système est directement liée au temps de passage chez les sous-traitants. Plus ce délai est élevé, plus on retrouve d'encours de production de composantes chez les sous-traitants. La valeur des encours dans la situation initiale était de 127 535 \$. La simulation de la proposition a identifié une valeur d'encours de 128 644 \$, soit une légère augmentation de 0,9 %. Cette légère augmentation est attribuable au hasard.

Inventaire de panneaux

La situation initiale ne présentait aucun inventaire de panneaux. La valeur de l'inventaire ne se trouvait alors que chez le donneur d'ordres. Le tableau 35 résume le niveau d'inventaire moyen pour chaque type de panneaux au cours de la simulation de la proposition.

Tableau 35 : Tableau résumé de la valeur de l'inventaire de panneaux

FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN	FAMILLE	VALEUR DE L'INVENTAIRE MOYEN
3711	23 315 \$	4502	12 362 \$
3911	40 066 \$	4911	29 278 \$
4101	11 818 \$	5501	18 450 \$
4311	56 431 \$	6101	13 314 \$
4312	1 799 \$	6111	19 397 \$
4313	2 920 \$		
4501	23 932 \$	TOTAL :	253 0812\$

La valeur totale des inventaires de panneaux est donc de 253 082 \$.

Encours de panneaux

Le temps de passage des panneaux influence grandement le nombre d'encours de panneaux présents sur le plancher de production. Les modifications suggérées n'influent toutefois pas le temps de passage des panneaux à l'intérieur de l'usine du fournisseur de panneaux.

Pour cette raison, la valeur des encours de panneaux n'a pas subi de grande modification lors de la simulation de la proposition. La valeur des encours de panneaux est passée de 191 337 \$ à 188 774 \$, soit une diminution de 1,4 %.

Valeur totale de l'inventaire

La valeur totale de l'inventaire est détaillée dans le tableau 36.

Tableau 36 : Tableau résumé de la valeur des inventaires dans le réseau

TYPE D'INVENTAIRE	VALEUR TOTALE
Composantes	202 498 \$
Encours de composantes	128 644 \$
Panneaux	253 081 \$
Encours de panneaux	188 774 \$
TOTAL :	772 997 \$

La diminution de la valeur de l'inventaire de composantes a été éclipsée par la forte hausse de la valeur de l'inventaire de panneaux. La valeur globale de l'inventaire dans le réseau est donc passée de 583 448 \$ à 772 997 \$, soit une augmentation de 32 %.

7.2.8 Variation de la charge de travail (*VAR*)

La production de tables chez le donneur d'ordres est stable. Il y a donc une quantité fixe de 800 tables qui y sont fabriquées générant ainsi une demande constante en dessus de table. Toutefois, la présence d'un inventaire géré selon des points de commande entraîne des fluctuations majeures dans la chaîne d'approvisionnement des dessus de tables. Le niveau des commandes en production dans le réseau n'est donc pas stable mais en perpétuelle fluctuation.

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts a donc eu comme répercussion d'augmenter les fluctuations des niveaux de commandes en production chez le fournisseur de ces derniers.

Les plancher d'usine ainsi soumis à de fortes fluctuations entraînent à leur tour des fluctuations dans le temps de passage des commandes. Ce phénomène est nommé effet coup de fouet.

Le calcul des points de commande proposé est basé sur la consommation de panneaux pendant le temps de passage moyen des commandes chez le fournisseur. À cette valeur est ensuite ajouté un stock de sécurité calculé en fonction de l'écart type du temps de passage des commandes dans l'usine du fournisseur. Un système manufacturier subissant de grandes fluctuations a alors besoin davantage de panneaux en stock de sécurité afin de s'assurer d'un niveau de service acceptable.

Le tableau 37 résume les variations observées dans le réseau responsable de la fabrication des dessus de tables.

Tableau 37 : Tableau résumant les variations dans la charge de travail dans le réseau

	ENCOURS PLANCHER DONNEUR D'ORDRES	ENCOURS PLANCHER SOUS-TRAITANTS	ENCOURS PLANCHER FOURNISSEUR
ÉCART TYPE	0	299	880
MOYENNE	800	1 040	2 111
COEFFICIENT DE VARIATION	0 %	29 %	42 %

Aucune variation n'est présente chez le donneur d'ordres mais que le niveau d'encours sur le plancher de production des sous-traitants varie de 29%. Chez le fournisseur de panneaux, la variation atteint 42 %.

Dans un tel système, les fluctuations s'additionnent de niveau en niveau. Il est donc logique d'observer une plus grande variation chez le fournisseur de panneaux que chez le sous-traitant. L'indicateur de performance déterminé en début de projet tient cependant compte de cette amplification et isole les effets à chaque niveau. Le tableau 38 résume les résultats obtenus et les compare avec ceux issus de la simulation de la situation initiale.

Tableau 38 : Tableau résumé de l'amplification de la variation dans la charge de travail en fonction du niveau

	PROPOSÉ			INITIAL			DIFFÉRENCE		
NIVEAU	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	29 %	-	-	32 %	-	-	+3 %	-	-
3	42 %	28 %	-	18 %	3 %	-	+24 %	+25 %	-

La mise en place d'un inventaire de panneaux bruts a donc fait augmenter l'écart type relatif à la variation de la charge de travail de 25 % chez le fournisseur de panneaux. Ces variations se traduisent donc par la nécessité d'avoir un inventaire de panneaux supérieur à celui requis dans un environnement où le niveau de commande serait plus stable. Le tableau 39 illustre que malgré la présence d'inventaires élevés, le nombre de panneaux en pénurie demeure relativement haut.

Tableau 39 : Tableau résumé du nombre de panneaux en pénurie

FAMILLE	INVENTAIRE MOYEN	NIVEAU DE PÉNURIE MOYEN	FAMILLE	INVENTAIRE MOYEN	NIVEAU DE PÉNURIE MOYEN
3711	383	0	4502	119	1
3911	479	3	4911	313	0
4101	209	0	5501	168	0
4311	567	3	6101	90	0
4312	23	0	6111	171	2
4313	38	0			
4501	294	0	TOTAL :	2854	9

7.2.9 Utilisation des équipements ($UCNC_j$)

Dans un contexte où la demande demeure constante, l'utilisation des équipements est directement influencée par la taille des lots de production. La solution proposée ne suggère toutefois pas de changements majeurs dans le calcul de la taille des lots de production. Le tableau 40 résume le taux d'utilisation des centres d'usinage à contrôle numérique chez les trois sous-traitants.

Tableau 40 : Tableau résumé de l'utilisation des équipements critiques chez les 3 sous-traitants

SOUS-TRAITANTS	% UTILISATION
B	52 %
C	92 %
A	51 %

7.2.10 Conclusion

La proposition finale suggère un changement dans le mode de gestion du réseau de sous-traitants. Plutôt que voir à l'optimisation locale des paramètres régissant l'efficacité avec laquelle chacun des sous-traitants fonctionnent, une stratégie d'optimisation globale a été envisagée. Un inventaire de sous-composantes sur lequel peu de valeur a été ajoutée fut introduit dans la chaîne d'approvisionnement. Ceci avait pour but une réduction du temps de passage réseau des composantes. Cette réduction permet à son tour de diminuer le niveau d'inventaire de produits semi-finis chez le donneur d'ordres.

Toutefois, la présence d'un effet coup de fouet dans le réseau augmente la variabilité dans le temps de passage des composantes, nécessitant par le fait même des niveaux d'inventaire plus élevés.

La réduction du temps de passage réseau des composantes a donc été réalisée en augmentant la valeur globale des inventaires à l'intérieur de la chaîne d'approvisionnement.

CHAPITRE 8 : CONCLUSION ET AVENUES FUTURES DE RECHERCHE

8.1 Conclusion

L'objectif du présent travail était l'évaluation de l'adoption de stratégies hybrides de production dans un réseau de sous-traitance soumis à une demande fixe. Des scénarios représentant ces différentes avenues ont été testés à l'aide d'un modèle de simulation. Cette reproduction d'une réelle chaîne d'approvisionnement a notamment nécessité plusieurs mois de prises de données, d'analyse et de modélisation. Les résultats issus de ces expérimentations ont ensuite été utilisés pour formuler une proposition finale. Cette dernière fût en premier lieu testée et les résultats obtenus comparés à ceux initialement observés dans le réseau. Des gains substantiels en termes de temps de passage ont alors été notés. Toutefois, il fut observé une légère hausse de la valeur de l'inventaire global dans le réseau. Ce bilan négatif amené par la proposition finale est principalement occasionné par la hausse de la variabilité des temps de passage réseau qui est engendré par un effet coup de fouet.

Les limites de la présente étude consistaient à faire varier les paramètres touchant les niveaux d'inventaire à maintenir, l'ordre de priorité des types de composantes et la présence de stock de panneaux entre différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement. À la lumière des résultats obtenus, il ne semble pas possible de maintenir une valeur globale des inventaires à l'intérieur d'une chaîne d'approvisionnement à un niveau égal ou inférieur à celui initialement observé tout en réduisant de manière substantielle le temps de passage.

8.2 Avenues futures de recherche

Une investigation détaillée des causes menant à l'effet coup de fouet observé dans la présente étude constituerait une avenue future de recherche des plus intéressantes. En effet, il serait alors possible d'envisager des scénarios dans lesquels le temps de passage dans le réseau diminuerait sans toutefois augmenter le niveau d'inventaire. Cette étude pourrait porter sur la taille des lots de fabrication minimisant les inventaires tout en maintenant un niveau de service acceptable pour les clients.

L'évaluation du niveau de standardisation a aussi un impact majeur sur l'effet coup de fouet. L'analyse du niveau de standardisation sur l'effet coup de fouet pourrait constituer une avenue future de projet probante.

Dans un marché mondial en constante transformation, l'augmentation du niveau de flexibilité des manufacturiers canadiens et québécois n'est désormais plus une option, mais une nécessité. En ce sens, la diminution du temps de passage à l'intérieur des réseaux de sous-traitance est un enjeu majeur. Ces gains ne peuvent toutefois pas se faire qu'en augmentant les inventaires dans la chaîne d'approvisionnement.

Le secteur manufacturier québécois compte beaucoup de petites entreprises spécialisées entretenant d'étroites relations les unes avec les autres. Les connaissances tacites émanant de cette caractéristique propre au Québec doivent être exploitées de manière songée et avec une vision sectorielle. La réelle problématique est de conserver cet esprit entrepreneurial tout en améliorant la qualité des échanges entre les intervenants de la chaîne d'approvisionnement. La notion de chaîne de valeur est certes au goût du jour, mais recèle peut-être la solution à ce dilemme entre l'intégration des entreprises ou leur collaboration.

Ce mémoire a permis la modélisation d'une chaîne de valeur réelle. Le modèle qui en résulte peut alors être utilisé afin de tester plusieurs autres hypothèses pouvant améliorer et ainsi permettre aux entrepreneurs Québécois de capitaliser sur leurs forces, soit le réseau avec lequel ils font affaires.

BIBLIOGRAPHIE

Arreola-Risa, A. and G. A. DeCroix (1998). "Make-to-order versus make-to-stock in a production-inventory system with general production times.", IIE Transactions **30**(8): 705-713.

Bonvik, A. M., C. E. Couch, *et al.* (1997). "A comparison of production-line control mechanisms." International Journal of Production Research **35**(3): 789-804.

Disney S.M., Towill D.R. (2003). "On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy.", The international Journal of Management Science **31** (2003) 157-167.

Federgruen A., Katalan Z. (1999), "The impact of adding a make-to-order item to a make-to-stock production system", Management science **45**(7).

Gupta, D. and S. Benjaafar (2004). "Make-To-Order, Make-To-Stock, or Delay Product Differentiation? A Common Framework for Modeling and Analysis." IIE Transactions **36**(6): 529-546.

Gupta, M. and D. Zhender (1994). "Outsourcing and Its Impact on Operations Strategy." Production & Inventory Management Journal **35**(3): 70-76.

June M.A., Linda K. Nozick, Jeffrey D. Tew, Lynn T. Truss, Theodore Costy (2004). "Modeling the effect of the custom and stock orders on supply-chain performance." Production planning & Control **15**(3): 282-291.

Hameri, A.-P. and A. Paatela (2005). "Supply network dynamics as a source of new business." International Journal of Production Economics **98**(1): 41-55.

Huang, S. H., S. K. Sheoran, *et al.* (2005). "Computer-assisted supply chain configuration based on supply chain operations reference (SCOR) model." Computers & Industrial Engineering **48**(2): 377-394.

Jiang, L. and J. Geunes (2005). "Impact of introducing make-to-order options in a make-to-stock environment." European Journal of Operational Research **In**

- Layek, A-M., Tarathorn, K., *et al.* (2004). "A framework for comparing outsourcing strategies in multi-layered supply chains." International journal of production economics **97** (2005). 318-328.
- Lehtinen, U. (1996). "Partnership among Finnish manufacturers." European Journal of Purchasing & Supply Management **2**(4): 161-167.
- Mason-Jones, R. and D. R. Towill (1999). "Total cycle time compression and the agile supply chain." International Journal of Production Economics **62**(1-2): 61-73.
- Mol, M. J., R. J. M. van Tulder, *et al.* (2005). "Antecedents and performance consequences of international outsourcing." International Business Review **14**(5): 599-617.
- Lee, Hau L., Padmanabhan V., Whang Seungjin (1997). "The Bullwhip Effect In Supply Chains.", Sloan Management Review **38**(3): 93-102
- Prater, E., M. Biehl, *et al.* (2001). "International supply chain agility." International Journal of Operations & Production Management **21**(5): 823.
- Poulin Marc, Montreuil Benoît, Martel Alain (2006). "Implication of personalization offers on demand and supply network design: A case from the golf club industry." European Journal of Operational Research **169**: 996-1009
- Reiner, G. (2005). "Customer-oriented improvement and evaluation of supply chain processes supported by simulation models." International Journal of Production Economics **96**(3): 381-395.
- Salvador, F., M. Rungtusanatham, *et al.* (2004). "Supply-chain configurations for mass customization." Production Planning & Control **15**(4): 381-397.
- Sanchez, A. M. and M. P. Pérez (2005). "Supply chain flexibility and firm performance: A conceptual model and empirical study in the automotive industry." International Journal of Operations & Production Management **25**(7): 681-700.

Young Hae Lee, Min Kwan Cho, Seo Jin Kim, Yun Bae Kim (2002). "Supply Chain Simulation With Discrete-Continuous Combined modeling." Computer And Industrial Engineering **43** 375-392

Yusuf, Y. Y., E. O. Adeleye, *et al.* (2003). "Volume flexibility: the agile manufacturing conundrum." Management Decision **41**(7): 613-624.

Zammuto, R. F. (1985). "MANAGING DECLINE Lesson from the U.S. Auto Industry." Administration & Society **17**(1): 71.