

FABIÁN CID YÁÑEZ

**ÉVALUATION DES STRATÉGIES À FLUX TIRÉ ET
FLUX POUSSÉ DANS LA PRODUCTION DE BOIS
D'ŒUVRE**

Une approche basée sur des agents

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences du bois
pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DE SCIENCES DU BOIS ET DE LA FORÊT
FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2008

Résumé

L'objectif de l'étude est d'évaluer des stratégies en flux tiré et flux poussé pour la planification de la production en utilisant comme cas d'étude une usine de sciage située au Québec. Un outil de planification de la production (APS, Advanced Planning and Scheduling System), basé sur une architecture logicielle distribuée, simule les divers processus de production et planification des opérations de la scierie (approvisionnement, sciage, séchage, rabotage, entreposage et distribution) en les représentant comme des agents logiciels spécifiques. Pour les expériences, des configurations de pilotage définies par deux facteurs contrôlables sont utilisées, à savoir : la position du point de découplage et les niveaux des contrats pour une famille de produits. Ensuite, des scénarios ont été définis par deux facteurs non contrôlables : la qualité de l'approvisionnement et le différentiel des prix pour les produits visés par les contrats. Ces configurations et ces scénarios génèrent un plan d'expériences de niveaux mixtes avec cinquante-quatre expériences. Pour chacun des 54 plans de production générés par l'APS trois indicateurs de performance sont calculés : le taux de service, le niveau de stock de produits en-cours et le profit potentiel de la production (Potential Monetary Throughput). Les résultats montrent une relation directe entre le niveau de pénétration du point de découplage, le flux tiré et le taux de service, pour chaque niveau de demande des produits tirés par les contrats. Ainsi, une planification qui incorpore le flux tiré génère en moyenne une augmentation de performance de 100% dans le niveau de service, par rapport à une planification en flux poussé pour tous les niveaux de contrats. Cette augmentation de la performance du niveau de service a un coût financier d'approximativement 7% du profit potentiel, lequel devrait être compensé par de meilleures conditions des contrats (un premium payé sur le prix marché) et des coûts de stockage plus bas. Ce « compromis » s'avère un résultat direct de la divergence dans la production de bois d'œuvre. Ainsi, dans un contexte d'affaires qui privilégie la qualité du service et où les clients sont prêts à payer pour ce service, l'utilisation de ces stratégies de planification de la production, où le point de découplage est situé en amont de la chaîne, est une opportunité possible d'avantage concurrentiel.

Abstract

The objective of this study is the evaluation of pull and push strategies in lumber production planning using a Quebec sawmill as case study. An Advanced Planning and Scheduling System (APS), based on a distributed software architecture, simulates the main operations planning and production processes of the sawmill (sourcing, sawing, drying, finishing, warehousing and delivery) representing them as autonomous software agents. Push and pull strategies are simulated using different penetration positions of the demand information decoupling point over the value chain. To set experiments, configurations are defined by two controllable factors, namely: the decoupling point position and the level of contracts for a product family. Following, a set of scenarios are generated by two uncontrollable factors: the quality of supply and market prices differential for products under contracts. These configurations and scenarios leads to a mixed levels experimental design with fifty four runs. Three performance indicators: orders fill rate, work in process, and potential monetary throughput; are calculated for every one of the 54 production plans generated by the APS. Results show a direct relation between the orders fill rate and the position of the decoupling point, pull strategy, for the three levels of demand on products under contract. Accordingly, at every demand level, production plans under pull strategies generate improvements of 100% compared with equivalent plans under push strategy. This service level performance improvement has a financial cost of about 7% of the Potential Monetary Throughput which should be compensated externally with better contract conditions and internally by lower costs of inventory management. This trade-off seems to be a direct consequence of the divergent nature of lumber production. Consequently, in a business context that privileges service quality and where customers are willing to pay for it, the use of this kind of demand driven strategies in production planning represents a source of competitive advantage.

Avant-propos

Ce mémoire, écrit en modalité d'insertion d'article, comprend une introduction, deux chapitres et une conclusion générale. Le premier chapitre présente une revue de littérature approfondie sur le sujet traité dans l'article et elle est complémentaire à celui-ci. Le deuxième chapitre est composé de l'article intitulé « Agent-Based Simulation and Analysis of Demand-Driven Production Strategies in the Lumber Industry ». Cet article a été accepté dans *International Journal of Production Research*. L'article est coécrit avec Jean-Marc Frayret, François Léger et Alain Rousseau. Dr. Frayret est membre du Consortium FORAC et professeur adjoint au Département de mathématique et génie industrielle de l'École polytechnique de Montréal. Il a participé en tant que directeur de recherche, réviseur et correcteur des manuscrits. Dr. François Léger, professeur associé au Département de génie mécanique et à celui des sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval, est co-auteur de par son support en tant que codirecteur de recherche. Enfin, M. Rousseau a collaboré en tant que directeur des projets industriels au Consortium de recherche FORAC et principal responsable du développement de l'outil de planification. La responsabilité de mener à terme ce projet reposait sur le candidat qui présente ce mémoire. Les résultats de ce travail ont été présentés dans deux congrès (Forest Products Society 59th International Convention et 19th International Conference on Production Research).

Arrivé à ce point c'est le moment précis, et précieux, pour remercier toutes les personnes et entités qui ont contribué à la réalisation et au succès de ce qui est façonné dans ce mémoire et capitalisé dans mon expérience.

Tout d'abord, c'est l'occasion de reconnaître l'effort déployé par mon directeur pour arriver à bon port avec ce projet. Jean-Marc, je suis très reconnaissant des sacrifices que tu as faits pour me soutenir dans cette tâche, merci. Ces remerciements je les adresse aussi à Alain Rousseau et M. Léger : merci particulièrement pour votre temps et votre support. Je remercie aussi Sophie D'Amours pour avoir eu la vision de donner naissance au Consortium Forac et la force de caractère pour le faire vivre.

Tout au long du projet j'ai côtoyé des personnes qui ont su prendre le temps de m'aider. Je les remercie, en commençant par l'équipe Forac en général et Pascale Plamondon en particulier, pour leur travail toujours professionnel et leur humour naturel, toujours « a flor de piel ». Je tiens aussi à remercier Forintek et Francis Fournier en particulier pour son support avec Optitek. En même temps, en la personne d'Yves Lemieux, je veux faire extensifs mes remerciements à la compagnie et aux personnes qui m'ont accueilli et ont facilité l'accès aux données pour configurer notre étude de cas. J'aimerais aussi remercier le personnel enseignant et de support au Département de sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval pour nous aider à faire de la vie d'étudiant une expérience enrichissante.

Dans le domaine plus personnel, je veux témoigner d'une reconnaissance spéciale aux copains d'études que j'ai eu la chance de rencontrer lors de ces études de maîtrise. Leur courage est toujours un exemple motivant pour avancer dans ce chemin, leur compagnie un souvenir qui m'accompagnera toujours. Comment ne pas se sentir chanceux de se promener en Chine, Iran ou Brésil tout en profitant du terroir québécois ? Je repars de cette aventure avec un beau nombre d'amis.

Finalement, ma gratitude pour toi Fabienne, qui m'a accompagné, soutenu et réjoui tout au long de cette belle période.

*Pour tous ceux qui m'ont donné leur temps,
pour marcher, pour apprendre, pour rire,
pour aimer et pour vivre.*

Table des matières

| | |
|---|------|
| Résumé..... | i |
| Abstract..... | ii |
| Avant-propos | iii |
| Table des matières | vi |
| Liste des tableaux..... | vii |
| Liste des figures..... | viii |
| Introduction..... | 1 |
| Chapitre 1. Stratégies de pilotage des flux de production : revue de littérature..... | 4 |
| 1.1 Dynamique des flux de matières dans la chaîne de création de valeur..... | 5 |
| 1.2 Stratégies pour planifier et piloter les flux de production : pousser ou tirer?..... | 9 |
| 1.2.1 Techniques d'implémentation des stratégies | 12 |
| 1.2.2 Outils de recherche et d'application industrielle | 14 |
| 1.3 Planification de la production de bois d'œuvre | 20 |
| Références..... | 22 |
| Chapitre 2. Agent-Based Simulation and Analysis of Demand-Driven Production Strategies in the Lumber Industry..... | 28 |
| 2.1 Abstract..... | 28 |
| 2.2 Résumé..... | 29 |
| 2.3 Introduction..... | 29 |
| 2.4 Research context..... | 31 |
| 2.4.1 Characterization of the lumber production process | 31 |
| 2.4.2 Production planning and control in the lumber industry | 33 |
| 2.4.3 Decoupling point strategies | 35 |
| 2.5 Research objective, method, and tools..... | 37 |
| 2.5.1 Introduction to supply chain simulation | 38 |
| 2.5.2 Research objective and method overview | 39 |
| 2.5.3 Experimentation platform | 40 |
| 2.6 Experimental case definition | 44 |
| 2.6.1 Sawmill case study modeling | 44 |
| 2.6.2 Modeling of the decoupling point positions | 45 |
| 2.7 Experimental design and simulation..... | 47 |
| 2.7.1 Experimental design | 47 |
| 2.7.2 Performance measurement framework | 49 |
| 2.8 Results and discussion | 52 |
| 2.8.1 Logistic performance | 52 |
| 2.8.2 Financial performance | 56 |
| 2.9 Conclusion | 59 |
| 2.10 Acknowledgements..... | 60 |
| Conclusion générale..... | 61 |
| Bibliographie | 62 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1-1 : Caractéristiques des stratégies de production avant et après le PDD, selon Olhager (2003)..... | 11 |
| Tableau 1-2 : Classement générique des techniques de planification et contrôle de la production | 14 |
| Tableau 1-3 : Relation entre les différents outils et méthodes appliqués aux problèmes liés à la planification de la production | 18 |
| Table 2-1: Advanced planning tools features | 43 |
| Table 2-2: Case study general characteristics..... | 45 |
| Table 2-3: Configuration and scenario elements | 48 |
| Table 2-4: ANOVA Tables..... | 55 |
| Table 2-5: Loss and premium calculations for 60 days of production | 59 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1-1 : Éléments retenus pour évaluer la performance de la dynamique de la chaîne de création de valeur..... | 8 |
| Figure 1-2 : Facteurs affectant le positionnement du PDD. Olhager (2003)..... | 11 |
| Figure 1-3 : Matrice de la chaîne de création de valeur (Meyr <i>et al.</i> 2005) | 15 |
| Figure 1-4 : Outils d'application et recherche sur la matrice de planification de la chaîne . | 16 |
| Figure 2-1: Product flow divergence in sawmilling | 32 |
| Figure 2-2: Tested decoupling point positions | 37 |
| Figure 2-3: Modeling of the decoupling point strategies..... | 42 |
| Figure 2-4: Agent coordination protocol | 47 |
| Figure 2-5: Performance assessment framework..... | 50 |
| Figure 2-6: Weighted Fill Rate performance..... | 53 |
| Figure 2-7: Coefficient of variation of WFR..... | 54 |
| Figure 2-8: Daily Average WIP performance (<i>DAWIP</i>) | 56 |
| Figure 2-9: Potential Monetary Throughput (PMT) | 57 |

Introduction

Lors de l'arrivée d'une crise, l'expérience nous indique qu'on peut prendre deux chemins : une mise en garde passive pour minimiser les risques, ou une prise de position active pour profiter des opportunités. Dans ce travail, on suit la deuxième logique pour la recherche de solutions à la situation de crise que traverse l'industrie forestière au Québec actuellement. Les opportunités que l'on veut exploiter dans cette recherche passent par l'innovation des façons de faire dans la gestion des flux de matières des agents de création de valeur de l'industrie du bois d'œuvre. Notre approche découle d'une valorisation des modèles d'affaires centrés client. Ces modèles permettent que l'information de demande du marché détermine plus fortement les décisions opérationnelles de production.

Historiquement, les façons d'améliorer la performance dans l'industrie du bois d'œuvre québécoise ont fortement reposé sur une recherche continue d'une plus grande efficacité tant au niveau du coefficient de transformation -pmp (pied mesure de planche) de produit par m³ consommés- que de la productivité globale. Cette recherche s'est principalement matérialisée en termes de technologies très performantes pour augmenter le rendement matière des usines de sciage tout en composant avec des billes chaque fois plus petites. Or, ces logiques d'efficacité marchent très bien dans des conditions de marché fortement standardisées où la demande est assurée, quelques soient les produits transformés. Cependant, les marchés d'aujourd'hui ne répondent plus exactement à ces caractéristiques. Les nouveaux contextes d'affaires demandent des réponses plus ajustées et des relations plus collaboratives. Par exemple, les grands acheteurs commerciaux veulent étendre l'application des relations d'approvisionnement du type *VMI (Vendor Managed Inventory)* pour partager les risques associés à la gestion du stock. En même temps, les conditions chaque fois plus complexes dans le marché des États-Unis, marqué par les quotas, la forte valeur du dollar canadien ou la concurrence accrue des producteurs fortement compétitifs sur les prix, obligent les producteurs québécois à innover dans la façon d'y placer leurs produits. Cela implique que les conditions qui agissaient comme gagnantes de marché (*market winners*), tel que le coût ou le volume, sont devenues des conditions qualifiantes de marché (*market qualifiers*). Leur place devrait être prise par des facteurs tels que la vitesse

de réponse ou la fiabilité du service, comme cela arrive déjà dans d'autres marchés (Maness et Norton; 2002; Todoroky et Rönqvist, 2002; Gustafsoon, 2003; Palmer et Selen 2004; Vila *et al.*, 2005). De plus, les conditions d'opération des usines deviennent de plus en plus difficiles avec des coûts d'approvisionnement qui augmentent, la fibre qui se raréfie et la qualité de la matière première qui diminue (Coulombe *et al.*, 2004). Dans ce contexte, il est nécessaire d'explorer des mécanismes de gestion de la production qui facilitent un meilleur positionnement concurrentiel et aident à mieux cibler le marché.

Il s'agit alors d'étudier l'adoption d'une vision de chaîne de création de valeur intégrée et capable de répondre efficacement aux nouveaux besoins du marché. Pour ce faire, les principes d'affaires des philosophies centrées client, accompagnés de l'utilisation de méthodes de recherche opérationnelle et d'une forte composante de technologies de l'information et de communication pour la prise de décision, peuvent contribuer à aider l'industrie du bois d'œuvre. Ainsi, une des façons d'incorporer des approches centrées clients sur la chaîne de création de valeur est à travers des stratégies qui permettent que les flux d'information liés à la demande circulent en amont pour la prise de décisions. De cette façon, l'hypothèse de ce travail se base sur la possibilité d'améliorer la performance et atteindre des meilleurs niveaux de service en incorporant des stratégies de flux tiré, tout en diminuant les niveaux d'inventaires présents dans la chaîne de création de valeur de l'industrie. Cependant, le système productif du bois d'œuvre possède la complexité d'être divergent. Ce phénomène génère des flux de produits concurrents, ce qui peut diminuer les avantages potentiels des pratiques basées sur le flux tiré comparé au cas de processus de production discrète. C'est d'ailleurs dans ce dernier type d'industrie que les approches de planification et contrôle de la production basées sur des logiques en flux tiré voient le plus d'applications (Sendil Kumar et Panneerselvam, 2007).

Dans ce travail nous avons utilisé un logiciel de simulation pour comparer une approche centrée client, pour gérer les flux de produits dans une usine de sciage, aux approches traditionnelles en flux poussé. Ce logiciel, la plateforme Forac, est basé sur une technologie distribuée, où chaque processus de la scierie est représenté par un agent logiciel ayant une certaine autonomie pour planifier sa production en fonction de l'information disponible. Ainsi, les stratégies de flux sont implémentées par l'entremise du positionnement du point

de découplage à différents endroits sur la chaîne de création de valeur. Le point de découplage (PDD) représente le point dans la chaîne de création de valeur où les flux de matériaux ou d'information changent de logique de circulation de flux poussé à flux tiré. Il est aussi un point où les décisions se déconnectent dû au changement de responsabilité sur les flux. Il en ressort que ce point dans la chaîne peut être identifié par une forte présence de matériaux ou d'information stockés.

L'objectif est d'évaluer la performance du système de production avec différentes configurations du point de découplage dans des contextes variés de contrats de ventes. Plus généralement, l'évaluation des impacts logistiques et financiers permet de mettre en évidence les compromis à faire pour arriver à tirer profit de l'introduction d'une approche centrée client dans un processus de production divergent.

Chapitre 1. Stratégies de pilotage des flux de production : revue de littérature

Trouver les causes des problèmes ou faiblesses dans la performance de la chaîne de création de valeur, et formuler des stratégies pour les résoudre, demande une compréhension accrue de la complexité des phénomènes liés à la dynamique de ce système. Malheureusement, dans l'industrie de bois d'œuvre, la littérature sur des aspects liés à la gestion de la chaîne de création de valeur est rare, en particulier au niveau nord américain. Les premiers travaux publiés sur ce sujet datent du début des années quatre-vingt. Ils présentent des recherches pour résoudre des problèmes spécifiques liés à l'optimisation des flux dans les différents sous-processus : débitage ou séchage (Faaland et Briggs, 1984; Rensi et Weintraub, 1988). On passe ensuite aux travaux de Reinders et Hendriks (1989) et Maness et Adams (1991), mais toujours avec un effort pour résoudre des problèmes ponctuels et localement. Au contraire, dans ce travail des sources variées sont utilisées afin d'introduire la problématique des flux de matières en général et dans la production de bois d'œuvre en particulier.

Dans la gestion de la chaîne de création de valeur, et en particulier dans la planification de la production, les logiques de mobilisation de ressources prennent un rôle fondamental pour la performance du système. Selon Chopra et Meindl (2001), la profitabilité d'une chaîne de création de valeur est étroitement liée à sa mission, ses stratégies fonctionnelles et la gestion des flux à l'intérieur de la chaîne. D'ailleurs, la stratégie opérationnelle doit correspondre parfaitement à la stratégie d'affaires et les autres stratégies fonctionnelles pour que la chaîne de création de valeur puisse générer de la valeur pour tous. De ce point de vue, les stratégies de gestion des flux devront être choisies en prenant expressément compte des autres stratégies et du contexte opérationnel dans lequel la chaîne existe (Lampel et Mintzberg, 1996; Fisher, 1997; Olhager et Rudberg, 2002; Jonsson, 2003). Pour cette raison, les stratégies proposées dans ce travail devront être analysées selon la compagnie et sa stratégie d'affaires pour choisir celle qui correspond le mieux aux objectifs. Ainsi, la préoccupation centrale de cette recherche est l'évaluation de la

dynamique des flux de matières et d'information à l'intérieur de la chaîne de création de valeur du bois d'œuvre, et leur influence sur la performance de réponse aux contrats en vue de suivre une stratégie centrée client.

Cette étude de la littérature a été réalisée en analysant trois thèmes. D'abord, nous abordons le sujet par une étude de la dynamique de flux de produits, des facteurs qui l'influencent et des mesures de performance pour l'évaluer. Ensuite, nous étudions les stratégies servant à la gestion des flux de produits dans une chaîne de création de valeur et les méthodes appliquées dans la recherche et les domaines d'affaires pour les mettre en place. Finalement, des références particulières de planification et contrôle de la production dans l'industrie de bois d'œuvre et ses particularités en tant qu'industrie de processus sont présentées.

1.1 Dynamique des flux de matières dans la chaîne de création de valeur

La dynamique des flux de matières dans la chaîne de création de valeur est une équation complexe, résultat du contexte opérationnel, des décisions associées à la production et le stockage, de l'émission de commandes dans le système, ainsi que des flux d'information, de capital et des ressources. Quand de telles décisions sont prises dans une seule organisation, qui constitue à elle même la chaîne au complet (intégrée verticalement), la coordination des flux de matières est en quelque sorte facilitée (du moins en théorie, car les objectifs sont normalement alignés). Par contre, si les chaînons du réseau sont autonomes ou guidés par des objectifs indépendants, voire contradictoires, les défis de coordination sont plus grands. Il arrive ainsi que les flux de matières soient découplés et potentiellement mal coordonnés. Ce manque de coordination devient plus sensible dans des contextes de marchés volatils et hautement concurrentiels comme ceux d'aujourd'hui. Pour éviter des problèmes liés à cette dynamique, des mécanismes de coordination des flux sont nécessaires. En pratique, cette coordination se fait à l'aide de différents mécanismes de collaboration impliquant, par exemple : des échanges d'information, des mécanismes de

consultation et de prise de décisions conjointes, ainsi que la définition de processus de gestion centrés sur le client final. Or, bien que la coordination des flux de matières soit déterminée tant par les décisions stratégiques que tactiques et opérationnelles, dans ce travail on s'intéresse surtout aux deux derniers niveaux décisionnels et leur coordination.

Du point de vue logistique, les premiers à essayer d'expliquer la dynamique des flux de matières dans les réseaux de création de valeur, ont été les économistes. En fait, les premières références disponibles sur le sujet apparaissent avec l'installation définitive de la révolution industrielle qui entraîne une forte augmentation des flux mobilisés dans les chaînes d'approvisionnement. Par exemple, une des principales thèses de Smith dans son ouvrage « *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* » (Smith, 1776) est le potentiel créé par la possibilité de séparer les processus dans la production de biens grâce à la division du travail et leur standardisation. Ce paradigme représente une évidente modification de la dynamique des chaînes de création de valeur. Ce seront les mêmes principes que reprendront Taylor et Ford pour augmenter l'efficacité dans leurs systèmes productifs. L'approche dominante pour mobiliser les ressources est alors celle de pousser la production en aval, étant donnée la grande disponibilité de ressources à mobiliser, la main d'œuvre économique venue des campagnes, les sources d'énergie accessibles, les restrictions environnementales presque nulles et des clients avides de progrès.

Toutefois, les premiers essais modernes pour analyser et expliquer le comportement de la dynamique des flux des matières dans une chaîne d'approvisionnement proviennent de l'étude de problèmes de stocks (Wilson, 1934, Hansmann, 1959; Clark et Scarf, 1960; Zymelman, 1965) et plus précisément, de l'étude de la dynamique des systèmes industriels (Forrester, 1958). Ce dernier travail met en évidence les problèmes qui surgissent du manque de coordination dans le système, dû à des stratégies de désagrégation sans coordination des acteurs dans la chaîne de création de valeur. À partir de là, il est possible de trouver des travaux qui analysent les aspects liés à l'intégration et aux différents mécanismes de coordination des flux de matières (Hax et Meal, 1973; Aggarwal, 1985). Stadtler (2005) présente une bonne revue de l'évolution de ce domaine de recherche. Ainsi, l'évolution des recherches de solutions de management semble être passée d'une préoccupation pour une haute performance dans la microstructure de la chaîne (efficacité et

coordination intra-entreprise), vers une compréhension de l'importance de la macrostructure (coordination extra-entreprise) et une intégration des deux niveaux.

Prenant la définition de Mentzer *et al.* (2001), une chaîne de création de valeur peut être synthétisée comme un ensemble de trois, ou plus, entités (organisations ou individus) directement impliqués dans le transfert, en aval et en amont, des flux de produits, services, finances, ressources et/ou informations depuis une source et jusqu'à un client, tout en considérant les interactions avec l'environnement. Ainsi, la dynamique des flux de matières est, en fin de comptes, exprimée en termes de mesures de performance du réseau sous plusieurs perspectives (entre autres) : efficacité et efficience, volume et service, en plus des mesures financières. En conséquence, les objectifs visés par le management d'une organisation requièrent des compromis. Alors, il faut trouver un mécanisme d'évaluation de la performance équilibré et aligné avec la vision stratégique de l'entreprise.

Beamon (1999) présente un excellent résumé des mesures de performance utilisées pour évaluer la dynamique de la chaîne de création de valeur. Elle propose trois groupes de mesures : de résultat, de ressources et de flexibilité, et fait remarquer, en même temps, le besoin d'une vision intégrée pour évaluer la performance de la chaîne. Gunasekaran *et al.* (2001) utilisent l'approche des processus Supply Chain Operation Reference (SCOR), du Supply Chain Council (2006) et proposent un cadre de référence aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel; on note qu'il manque des mesures intégrées tout au long de la chaîne. D'un autre côté, dans la Théorie de contraintes (TOC), Goldratt (1990), propose un ensemble de trois mesures opérationnelles monétarisées : Throughput (débit ou sortie de production), inventaire et frais d'exploitation. Avec ces mesures il est possible de calculer des indicateurs financiers globaux tels que le rendement du capital investi ou le résultat net. Ainsi, pour construire un bon système de mesure de la performance il faut tenir compte de la nature complexe de la chaîne et utiliser des indicateurs balancés dans les principales perspectives : efficience, clients, finances. Dans la Figure 1-1 l'approche retenue dans cette étude pour évaluer la performance de la dynamique des flux de matières sur la chaîne de création de valeur est présentée. L'idée derrière cette approche est de tenir compte des trois perspectives de mesure de performance qui nous intéressent le plus en relation avec

l'influence de la stratégie sur : le débit total valorisé, les niveaux de stock et le niveau de service.

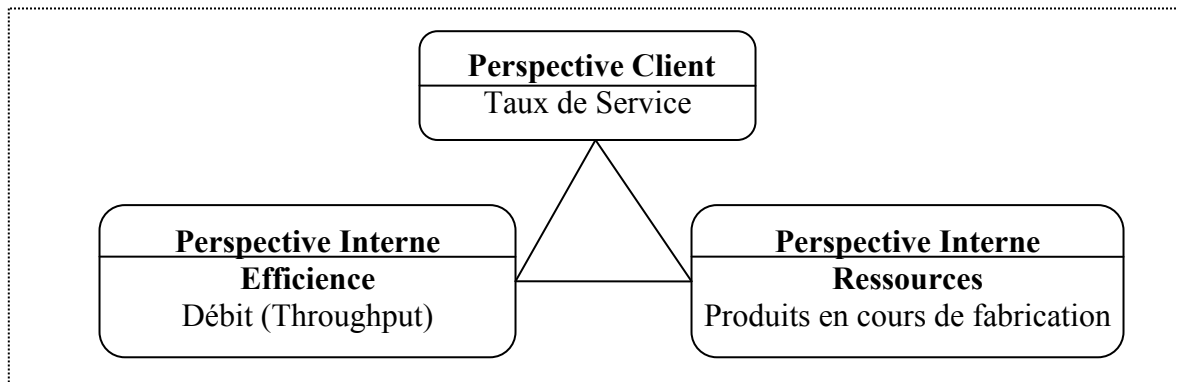


Figure 1-1 : Éléments retenus pour évaluer la performance de la dynamique de la chaîne de création de valeur.

La dynamique des flux de matières est aussi le résultat des décisions de commercialisation, des décisions financières, stratégiques et économiques en général, qui peuvent parfois être en conflit. Par exemple, l'organisation en unités stratégiques d'affaires génère de petites entités plus faciles à gérer mais qui demandent des efforts de coordination majeurs au niveau de la satisfaction du client final et de la gestion de la chaîne de création de valeur. D'un autre côté, l'externalisation de certains services logistiques (outsourcing) demande un effort d'apprentissage et d'adéquation initial pour donner leur meilleur résultat selon la perspective du client.

Les principaux problèmes documentés dans la dynamique des flux de produits à travers la chaîne de création de valeur, tel que l'effet coup de fouet (bullwhip effect), trouvent leur cause dans les difficultés de coordination des différents flux sur la chaîne, comme par exemple la définition de la taille de lots de transfert ou l'alignement stratégique, tactique et opérationnel des décisions.

1.2 Stratégies pour planifier et piloter les flux de production : pousser ou tirer?

Les stratégies pour planifier et coordonner les flux de production rentrent dans le domaine des stratégies d'opération. D'après Lawson (2002), ces types de stratégies peuvent être définis comme :

« ... major decisions about, and strategic management of core competencies, capabilities and processes; technologies; resources; and key tactical activities necessary in any supply network, in order to create and deliver products or services and the value demanded by a customer. »

À ce qu'on peut ajouter « et aider à garantir le futur de l'entreprise », pour prendre compte du long terme. De cette façon, les approches de flux tiré et flux poussé, ou n'importe quelle combinaison des deux, peuvent être considérées comme des stratégies aux trois niveaux décisionnels : stratégique, tactique ou opérationnel, dans l'optique où elles déterminent des façons de prendre des décisions ou d'agir pour mobiliser les différents flux sur la chaîne.

Ainsi, dans tout contexte d'affaires, les entreprises ont besoin de mobiliser des ressources, tangibles ou non. Elles peuvent être plus ou moins performantes, dépendamment de la logique appliquée pour la mobilisation des ressources et du cadre utilisé pour évaluer la performance. Seely et Hagel (2005) reprennent cette idée pour construire une thèse de ce qu'eux considèrent comme les deux paradigmes possibles pour mobiliser des ressources. D'un côté, un système marqué par une approche en flux poussé, dont la principale caractéristique est la quête de l'efficacité dans l'utilisation des ressources de production et des matières premières en considérant comme axiome une connaissance anticipée des conditions futures (prévisions de demande, principalement). Et d'un autre côté, un système géré par une approche en flux tiré qui a pour but la mobilisation des ressources (de production et matière) en réponse aux signaux quand ils se produisent effectivement, qu'ils proviennent de l'intérieur ou l'extérieur de l'entreprise. Cette théorie des deux paradigmes représente une extension des deux dynamiques analysées dans ce travail. Ici, on étudie

l'influence de ces approches sur les flux de production et leur implantation comme des éléments centraux des stratégies d'opérations pour la production de bois d'œuvre.

Chopra et Meindl (2001) indiquent que le principal défi de la gestion de la chaîne de création de valeur consiste à parvenir à l'équilibre stratégique, c'est-à-dire, arriver à l'accord parfait entre la stratégie compétitive et la stratégie opérationnelle. Précisément c'est en grande partie dans les décisions de planification quotidiennes que se joue principalement cet accord. Les décisions du niveau stratégique sont considérées hors de la portée de cette étude. Alors, pour planifier les flux de matières, il est question de définir stratégiquement l'approche ou la logique qui guidera les décisions des flux des produits dans le cadre de la stratégie d'opérations au niveau tactique. Dans ce contexte, il existe un certain accord dans la littérature par rapport au rôle central que les approches de flux poussé et flux tiré occupent dans la stratégie opérationnelle. Il revient aux gestionnaires de choisir le point de découplage, ou la frontière, des deux approches dans la chaîne pour gérer les risques associés aux flux de produits et au niveau de service (Lampel et Mintzberg, 1996; Fisher, 1997; Cachon, 2004). Selon la position du PDD les chaînes sont classées comme des chaînes de fabrication sur stock (Make To Stock, MTS), de fabrication à la commande (Make To Order, MTO) ou hybrides. Ainsi, pour aider à choisir le type de stratégie, plusieurs auteurs fournissent des cadres d'aide à la décision basés sur les facteurs qu'ils considèrent clefs dans le contexte et la stratégie de l'organisation. Olhager (2003) identifie le marché, le produit et la production comme des éléments importants pour faire ce choix et il résume cela avec la Figure 1-2. De plus, il présente un sommaire des conditions associées aux différents facteurs et qui caractérisent l'application de chacune des stratégies, poussé ou tiré, (voir Tableau 1-1). Une extension à la production de bois d'œuvre peut être faite. En général, la considération des dits facteurs en plus du système de mesure de la performance guidera le choix stratégique.

Le type de stratégie et les techniques pour la mettre en place dans la gestion des flux de production seront principalement déterminés par le positionnement du point de découplage dans les différentes chaînes de création de valeur de l'entreprise.

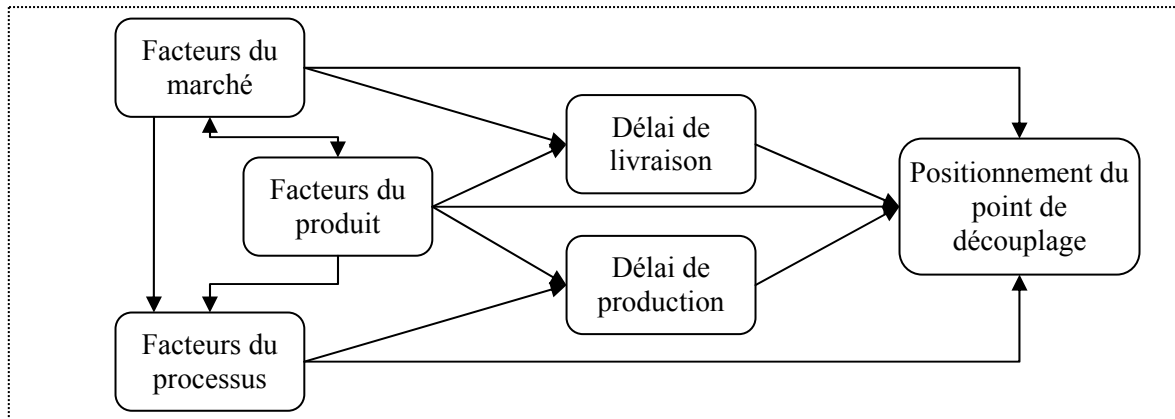


Figure 1-2 : Facteurs affectant le positionnement du PDD. Olhager (2003)

Tableau 1-1 : Caractéristiques des stratégies de production avant et après le PDD, selon Olhager (2003)

| Attribut | Operations avant le PDD (poussé) | Operations après le PDD (tiré) |
|--|---|---|
| Marché et produits | | |
| Type de produit | Standard, commodité | Spécial, personnalisé |
| Gamme de produits | Prédéterminée, limitée | Etendue |
| Demande | Haut volume, prévisible | Bas volume, volatile |
| Gagnants de marché | Prix | Design, flexibilité, vitesse de livraison |
| Qualifiants de marché | Design, qualité, volume | Prix, qualité, livraison en temps |
| Production (catégories de décision) | | |
| Processus | Ligne, grosse taille de lots | Atelier multi-gamme, petite taille de lots |
| Capacité | Lag/track (réactive, elle suit la production) | Lead/track (anticipative, elle doit prévoir la production) |
| Installations | Centrées produit | Centrées processus |
| Intégration verticale | <ul style="list-style-type: none"> • Relations fournisseurs, • Stock tampon au PDD / post opérations –PDD | <ul style="list-style-type: none"> • Relations clients • PDD buffer/ pré opérations –PDD |
| Qualité | Centrée sur la qualité des processus | Centrée sur la qualité des produits |
| Organisation | Centralisée, hiérarchique | Décentralisée, coordonnée |
| Pilotage de la production | <ul style="list-style-type: none"> • Stratégie S&OP nivelée (capacité fixe) • Promesse de livraison basée sur la disponibilité des stocks | <ul style="list-style-type: none"> • Stratégie S&OP Chase (capacité variable) • Promesse de livraison basée sur la disponibilité des stocks |
| Mesure de la performance | Coût, productivité | Temps de livraison, Flexibilité |

Donc, la réponse à la question « pousser ou tirer », en tant que stratégie d'affaires ou de production, n'est pas une réponse automatique. Elle est plutôt le fruit d'une analyse détaillée des facteurs et choix stratégiques de l'entreprise.

1.2.1 Techniques d'implémentation des stratégies

Étant donnée la grande variété d'éléments qui traversent une chaîne de création de valeur, et les multiples cycles et sous-cycles internes qui s'y génèrent, un classement général pour les différents stratégies, techniques et outils de pilotage de la production, dans le type poussé ou tiré, n'est pas évident et il faut y aller par partie. Effectivement, ce n'est pas clair puisqu'ils se trouvent rarement à opérer de façon purement théorique (Bonney *et al.*, 1999). Il faut donc utiliser des définitions précises pour les différencier selon leur approche et leur portée. Dans un des premiers travaux essayant de classer les techniques de pilotage de la production, De Toni *et al.* (1988) classent les deux techniques les plus connues à l'époque : planification de besoin matières (MRP), de l'approche hiérarchique; et kanban, de l'approche juste à temps (JIT), comme étant des techniques poussé et tiré, respectivement. Hirakawa *et al.* (1992) proposent la même classification et ils y ajoutent une approche hybride avec des éléments des deux autres approches pour des systèmes à étapes multiples. Spearman et Zazanis (1992) admettent la classification antérieure, mais, au même temps, ils notent les nuances existant au moment de classer les outils dans des contextes stratégiques juste à temps (JIT) comme purement à flux tiré. Certains auteurs testent les techniques à flux tiré ou poussé aussi bien dans des contextes MTS (Masuchun *et al.*, 2004) que MTO (Stevenson *et al.*, 2005). En ce faisant, ils obtiennent, normalement, des résultats qui confirment que la technique pour gérer le système de planification de la production performe mieux sous son stratégie équivalente. Les cas échéant, les techniques les plus performantes sont les techniques hybrides.

Entretemps, la théorie des contraintes (TOC) se consolide et propose la technique cadence-tampon-lien (Drum-Buffer-Rope, DBR) pour mieux exploiter la contrainte du système. Koh et Bufin (2004) comparent DBR et une autre méthode, le CONWIP (Constant Work In

Progress) et rapportent des meilleurs résultats pour DBR dans un système non balancé évalué selon les mesures de performance de la TOC. De cette façon, les comparaisons sont nombreuses et, selon le contexte ou les mesures de performance utilisées, une technique peut performer mieux que l'autre. Un ensemble de problèmes de référence, qui permette une évaluation plus standard, pourrait être intéressante pour départager les approches et leur performance. La revue de littérature de Graves *et al.* (1995) résume les ressemblances et différences des différentes techniques et certaines de leurs variations selon leur concentration sur la capacité ou la production.

Les définitions des stratégies retenues dans ce travail ressemblent à celles proposées par Bonney *et al.* (1999) basées sur les flux d'information. D'abord, une technique fonctionne sous une stratégie poussée si la production est déclenchée selon des signaux générés en amont du flux des produits. Ensuite, la technique fonctionnera en mode tiré si le déclenchement est dû à des signaux en aval du flux de produits, ce qui est équivalent à la définition retenue ici pour les stratégies correspondantes. Ces définitions permettent de classer les techniques classiques de pilotage des flux de production. Ainsi, pour les techniques MRP on retient leur classification comme étant essentiellement de type poussé, voir Tableau 1-2. Maintenant, pour évaluer la performance globale des techniques de pilotage des flux de matières, la plupart des analyses se limitent, malheureusement, à des mesures de performance de stockage, associées aux ressources. C'est pour cela que l'évaluation réalisée dans cette recherche porte sur trois perspectives (Figure 1-1).

Les avantages de l'utilisation des différentes techniques dépendront de l'ajustement de celles-ci avec la stratégie opérationnelle, le contexte d'affaires et les mesures de performance pertinentes. En fait, une fois la stratégie choisie - poussée, tirée ou hybride -, le nombre d'options des techniques se rétrécit et les options vont être choisies en termes de la faisabilité technique de leur implémentation. Les techniques qui demandent de l'information provenant de l'aval de la chaîne de production semblent légèrement plus complexes à mettre en place (Diehl et Sterman, 1995), mais ces difficultés peuvent être surmontées à l'aide des outils qui seront présentés dans la prochaine section.

Finalement, dans l'analyse, il semble nécessaire de faire une claire séparation entre la stratégie poussée, tiré ou autre, et la ou les techniques implémentées dans toute la chaîne ou à différents chaînons, car les combinaisons peuvent être multiples.

Tableau 1-2 : Classement générique des techniques de planification et contrôle de la production

| Technique | Centré sur : | Associé principalement à : |
|-----------|--|----------------------------|
| MRP | Utilisation de la capacité | Push |
| KANBAN | Limitation du WIP localement | Pull |
| CONWIP | Limitation du WIP globalement | Pull |
| DBR | Contrôle du WIP au Goulot d'étranglement | Pull-Push |
| Hybride | Combinaison des facteurs | Approches combinés |

1.2.2 Outils de recherche et d'application industrielle

Dans ce contexte, les outils de recherche ou d'application industrielle sont les formes concrètes dans lesquelles les stratégies, modèles d'affaires ou techniques sont implémentés pour gérer ou résoudre une problématique spécifique, occasionnelle ou récurrente, dans la dimension opérationnelle de la gestion de la chaîne de création de valeur. La Figure 1-3 présente une version simplifiée des différentes dimensions dans la gestion de la chaîne de création de valeur, en termes de temps, d'espace et de direction des flux. Dans le cas de la planification et contrôle de la production, le nombre et la variété d'outils sont très clairement marqués par l'évolution des technologies de l'information et de la communication ainsi que par le développement des méthodes de recherche opérationnelle. En fait, cela a facilité une extension de l'utilisation des outils (voire systèmes) de planification de la production dans les grandes entreprises, principalement, mais aussi dans les petites et moyennes entreprises, ainsi que dans la recherche. D'ailleurs, il existe des outils qui vont de très simples, comme les feuilles de calcul ou feuilles d'enregistrement, en passant par l'optimisation classique jusqu'aux systèmes APS intégrés ou des outils multiagent. Ainsi, au fur et au mesure que les outils se sont sophistiqués, les possibilités de traiter des problèmes plus complexes ont augmentés. De cette manière, la complexité des tâches abordées dans l'actualité fait qu'un outil de recherche ou d'application devient un ensemble intégré de règles d'affaires, architecture informatique et moteurs transactionnels

ou d'optimisation pour appuyer la prise de décisions et le déploiement des activités. Dans la pratique, les outils d'aide à la décision les plus communs sont les systèmes ERP (Enterprise Resource Planning) avec une composante chaque fois plus importante de systèmes APS, lesquels sont à leur tour munis de moteurs optimiseurs pour améliorer les transactions.

Dans ce travail interviennent plusieurs outils de recherche. Tout d'abord, la simulation, puisque les stratégies pour gérer le système de production sont évaluées par simulation de la planification de la production en fonction d'un plan d'expérience. Ensuite, le système basé sur des agents qui élabore et traite les plans. En troisième lieu, les modèles mathématiques utilisés par les agents. Enfin, le système d'information qui intègre tous ces éléments pour en faire un outil de planification de la production.

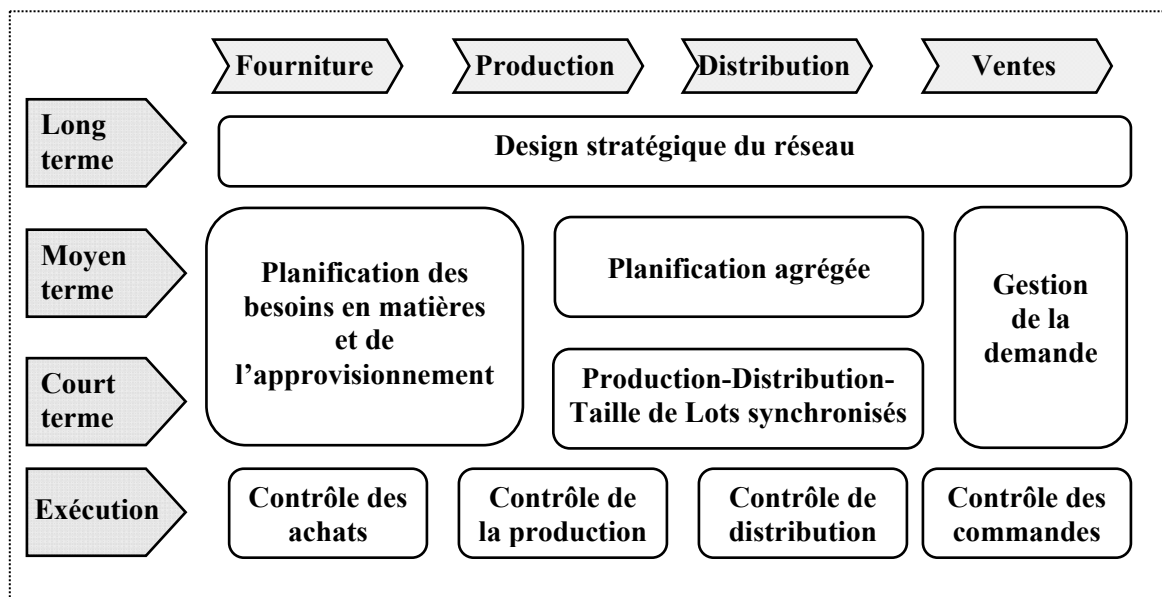


Figure 1-3 : Matrice de la chaîne de création de valeur (Meyr et al., 2005)

Dans ce cadre complexe qui représente la gestion de la chaîne de création de valeur, du design du réseau au déploiement des techniques de pilotage et exécution de la production et de la distribution, existent de nombreux outils pour la gestion et d'aide à la décision. Ainsi, la Figure 1-4 présente une superposition de ces outils à la matrice de la Figure 1-3 pour les

situer tels qu'ils sont couramment employés en gestion des problématiques de la chaîne d'approvisionnement.

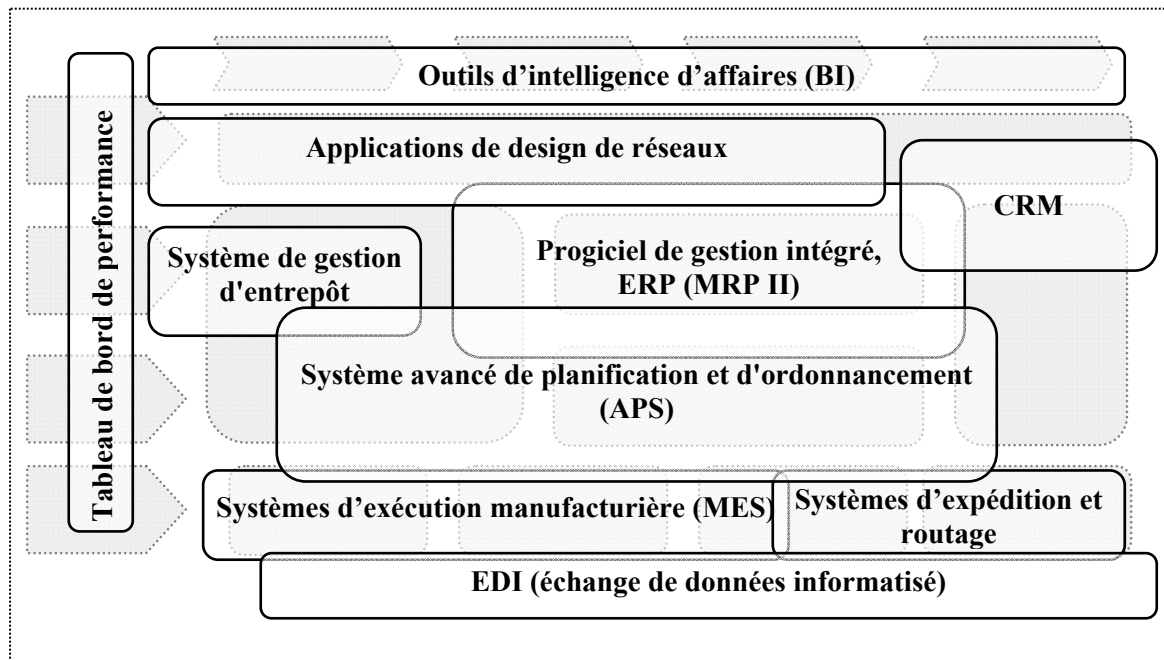


Figure 1-4 : Outils d'application et recherche sur la matrice de planification de la chaîne (adaptée de Meyr *et al.*, 2005)

Classification des outils de planification de la production

Dans le cadre global de la chaîne de création de valeur, Beamon (1998) utilise une classification basée sur la nature de données et l'objectif des modèles pour différencier les outils en quatre catégories : a) modèles déterministes analytiques; b) modèles stochastiques analytiques; c) modèles économiques (dans lesquels elle place les modèles de la théorie des jeux); et d) modèles de simulation. D'un autre côté, Mula *et al.* (2006) révisent une série de modèles utilisés dans la littérature pour développer des outils qui permettent de mettre en place des techniques ou des stratégies pour résoudre des problèmes liés à la planification de la production dans plusieurs contextes manufacturiers assujettis à des perturbations aléatoires. Cette revue de la littérature se centre principalement sur les outils appliqués en

recherche. Ils classent les modèles supportant les différents outils de recherche en quatre groupes, à savoir : a) modèles conceptuels, b) modèles basés sur l'intelligence artificielle, c) modèles analytiques et, d) modèles de simulation. Dans ce contexte, les systèmes à base d'agents ou multiagent sont classés comme modèles d'intelligence artificielle. Par contre, Tang *et al.* (2001), utilisent une classification différente et s'en servent pour l'étude des problématiques dans la production d'acier. Ils classent les méthodes basées sur des agents dans une catégorie propre, à laquelle ils ajoutent trois autres : a) méthodes de recherche opérationnelle (programmation mathématique), b) d'intelligence artificielle (systèmes experts, recherche intelligente et satisfaction de contraintes) et c) méthodes de coordination homme-machine. D'un autre côté, dans le contexte de modélisation de la chaîne d'approvisionnement, Min et Zhou (2002) offrent une taxonomie des modèles appliqués à la chaîne de création de valeur qui mélange indistinctement outils et modèles.

Dans la même ligne d'analyse de la littérature, Schmidt et Wilhelm (2000) présentent une revue des modèles de programmation mathématique utilisés pour les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles, mais visant les réseaux internationaux et mettant en évidence le besoin de construire des modèles intégrés permettant d'appuyer la prise des décisions à tous les niveaux de la dimension temporelle.

Dans ce travail, il est nécessaire de faire la différence entre l'outil, le modèle, et la méthode d'implémentation. Ainsi, si l'outil est multiagent, les modèles sous-jacents peuvent être soit des modèles analytiques mathématiques soit des modèles logiques. Par exemple, même si MRP est une technique essentiellement transactionnelle, sa fonction peut être munie de moteurs d'optimisation basés sur la programmation mathématique, des heuristiques ou d'autres modèles. Ainsi, Voß et Woodruff (2006) présentent différents modèles pour implémenter le MRP dans des APS selon l'objectif à privilégier ou la technique de solution.

Maintenant, si l'on considère la planification et le contrôle de la production (le pilotage), la plupart des applications se font à partir de modèles quantitatifs basés sur différentes méthodes de recherche opérationnelle. Normalement les outils basés sur des techniques de dynamique de systèmes ou de simulation sont utilisés pour la recherche, quoiqu'avec leur avancement et l'incorporation de routines d'optimisation, leur utilisation industrielle devient plus courante et périodique.

Outils basés sur des agents

Cette catégorie d'outils mérite une place spéciale dans cette revue de la littérature car le logiciel utilisé pour l'évaluation des stratégies de planification de la production est un outil basé sur une architecture du type agent. Cette architecture permet d'émuler fidèlement le comportement du système sociotechnique réel.

En effet les possibilités ouvertes par l'approche agent pour simuler des systèmes réels sont un axe de recherche très prolifique aujourd'hui (Zhang et Xie, 2007). Cela trouve sa justification dans les avantages que l'approche agent et son niveaux d'abstraction présentent pour la modélisation des contextes autonomes coopératifs comme les chaînes de création de valeur (Barbuceanu et Fox, 1996).

En essence, l'approche agent profite des capacités computationnelles pour émuler ou même améliorer les comportements des systèmes complexes, tels que les chaînes de création de valeur, en utilisant des modèles d'abstraction de haut niveau. Frayret *et al.*, (2008) présentent les différentes approches agent utilisées pour modéliser et simuler les comportement des chaînes de création de valeur.

Une des avantages de l'approche agent est que l'autonomie des différentes composantes permet non seulement d'appliquer et tester des stratégies à l'intérieur de chaque agent mais aussi entre eux, ce qui facilite le développement de mécanismes de coordination plus performants (van der Zee, 2006). De plus, les agents peuvent être « équipés » des moteurs avancés d'aide à la décision ou d'optimisation pour enrichir le comportement du système qu'ils émulent.

1.3 Planification de la production de bois d'œuvre

Planifier la production de bois d'œuvre requiert de stratégies, de techniques et d'outils spécifiques. Étant donné que cette industrie correspond à une industrie de processus, ses dynamiques font que les développements normalement disponibles, pour les contextes de manufacture discrète, ne soient pas bien adaptés aux singularités présentes dans ce type d'industrie (Fransoo, 1993; Crama *et al.*, 2001). Cela dit, une des principales difficultés de ce contexte de production est la présence des coproduits dans les recettes de production. Ces coproduits compétitionnent pour les ressources du système avec les produits en principe recherchés et, en ce faisant, génèrent des flux parallèles sur la chaîne de création de valeur. Ce phénomène est aussi connue sous le nom divergence (Vila *et al.*, 2006).

En général, dans les industries de processus il existe une importante variété de configurations de production (Dennis et Meredith, 2000). Dans ce contexte, l'industrie du bois d'œuvre peut être classée comme une industrie divergente (de désassemblage), aussi appelée en V, c'est-à-dire, avec un nombre de produits finis sensiblement supérieur au nombre ou variété de matières premières. Dans certains cas, la production s'articule par lots de production, dans d'autres, les flux tendent à être continus. Dans tous les cas, le processus de séchage est forcément organisé par lots de production, étant donné la grande taille des séchoirs normalement utilisés.

À cause de la divergence à différents points sur le processus de production, de la variabilité naturelle de la matière première et des pratiques de commercialisation, les plans de production de bois d'œuvre vont connaître beaucoup d'exceptions et rarement, dans le contexte québécois, la production sera organisée en fonction d'engagements préalables. À la place, les usines planifient la disponibilité du système et l'approvisionnement pour avoir la capacité de traiter le bois qui rentre et pousser les produits les plus recherchés en aval de la chaîne. Dans ce cas, les méthodes d'aide à la planification se concentrent sur des problèmes locaux ou ponctuels, tel que le tronçonnage (Larose, 1999), le débitage (Todoroki, 2001; Bhandarkar *et al.*, 2002), ou le séchage (Rensi et Waintraub, 1988; Joines *et al.*, 2007), et les solutions intégrées sont moins recherchées. Toutefois, certains

chercheurs présentent des travaux qui visent à développer des solutions pour aborder les problèmes de planification de la production de bois d'œuvre, résineux principalement, d'une façon plus intégrée. Beauregard *et al.* (1994, 1997), par exemple, présentent une approche de modélisation systémique des usines de sciage pour tenir compte de leur complexité au moment de développer des modèles d'affaires. D'un autre côté, le groupe de recherche du professeur Maness a développé une série de travaux pour intégrer des outils basés sur la programmation mathématique pour résoudre de problèmes de planification de la production (Maness et Adams, 1991; Donald *et al.*, 2001; Maness et Norton, 2002). Ces travaux, ainsi que ceux de Todoroki (2001; Todoroki et Rönnqvist, 1999; 2002) se concentrent principalement sur l'optimisation du débitage. Les travaux essaient, pour le moment, de composer avec la divergence et de limiter les niveaux de stock, tout en gardant de niveaux élevés de rendement matière. Dans le projet Forac, le but est d'intégrer les possibilités d'optimisation des différents processus pour en arriver à des solutions coordonnées.

Finalement, d'un point de vue holistique qui contemple la chaîne de création de valeur au complet pour l'industrie des produits du bois, les solutions à développer doivent considérer les différentes problématiques associées à la forêt (Rönnqvist, 2003) ainsi qu'à la transformation du bois.

Références

- Aggarwal, S. C. (1985). MRP, JIT, OPT, FMS. *Harvard Business Review*, 63(5), 8-16.
- Barbuceanu, M., et Fox, M. S. (1996). Coordinating multiple agents in the supply chain. *Proceedings of the 5th International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE'96)*: IEEE Computer Society. 134.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294.
- Beamon, B. M. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3-4), 275-292.
- Beauregard, R., Beaudoin, M., Aitkadi, D., et Mongeau, J. P. (1994). A Systemic Approach to Consider Complexity in Sawmill Modeling. *Wood and Fiber Science*, 26(3), 421-437.
- Beauregard, R., Beaudoin, M., AitKadi, D., & Mongeau, J. P. (1997). A systemic modeling approach to reengineering sawmills: A supplier's perspective. *Forest Products Journal*, 47(2), 38-46.
- Bhandarkar, S. M., Faust, T. D., & Tang, M. J. (2002). Design and prototype development of a computer vision-based lumber production planning system. *Image and Vision Computing*, 20(3), 167-189.
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C., et Barson, R. J. (1999). Are push and pull systems really so different? *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 53-64.
- Cachon, G. P. (2004). The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts. *Management Science*, 50(2), 222-238.
- Chopra, S., et Meindl, P. (2001). *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. New Jersey: Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Clark, A. J., et Scarf, H. (1960). Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem. *Management Science*, 6(4), 475-490.
- Coulombe, G., Szaraz, G., Arsenault, J., Liboiron, M. A., Bernard, J.-T., Bouchard, A., Bauce, É., et Huot, J. (2004). Rapport de la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Québec: Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise.

- Crama, Y., Pochet, Y., & Wera, Y. (2001). A Discussion of Production Planning Approaches in the Process Industry. *Core Discussion Paper*. Liège, Belgium, 37.
- De Toni, A., Caputo, M., and Vinelli, A. (1988). Production Management Techniques: Push-Pull Classification and Application Conditions. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(2), 35-51.
- Dennis, D., et Meredith, J. (2000). An empirical analysis of process industry transformation systems. *Management Science*, 46(8), 1085-1099.
- Diehl, E., et Serman, J. D. (1995). Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision-Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62(2), 198-215.
- Donald, W. S., Maness, T. C., et Marinescu, M. V. (2001). Production planning for integrated primary and secondary lumber manufacturing. *Wood and Fiber Science*, 33(3), 334-344.
- Faaland, B., et Briggs, D. (1984). Log Bucking and Lumber Manufacturing Using Dynamic-Programming. *Management Science*, 30(2), 245-257.
- Fisher, M. L. (1997). What Is the Right Supply Chain for Your Product? *Harvard Business Review*, 75(2), 12.
- Forrester, J. W. (1958). Industrial Dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*(July-August), 30.
- Fransoo, J. C. (1993). *Production Control and Demand Management in Capacitated Flow Process Industries*, Technische Universiteit Eindhoven.
- Frayret, J.-M., D'Amours, S., Rousseau, A., Harvey, S., Gaudreault, J. 2007. Agent-based Supply Chain Planning in the Forest Products Industry, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 19(4), pp 358-391.
- Goldratt, E. M., (1990) *The haystack syndrome: sifting information out of the data ocean*. North River Press
- Graves, R. J., Konopka, J. M., et Milne, R. J. (1995). Literature-Review of Material Flow-Control Mechanisms. *Production Planning & Control*, 6(5), 395-403.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1-2), 71-87.
- Gustafsson, A. (2003). Logistic services as competitive means - Segmenting the retail market for softwood lumber. *Silva Fennica*, 37(4), 493-504.

- Hax, A. C., et Meal, H. C. (1973). Hierarchical integration of production planning and scheduling. *Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sloan School of Management*.
- Hirakawa, Y., Hoshino, K., & Katayama, H. (1992). A Hybrid Push/Pull Production Control System for Multistage Manufacturing Processes. *International Journal of Operations & Production Management*, 12(4), 13.
- Joines, J., Culbreth, C., et Schultz, S. (2007). The Lumber Procurement and Kiln Scheduling Problem: A Hybrid-Ga Approach. *Wood and Fiber Science*, 39(4), 628-638.
- Jonsson, P., et Mattsson, S. A. (2003). The implications of fit between planning environments and manufacturing planning and control methods. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(7-8), 29.
- Krajewski, L. J., King, B. E., Ritzman, L. P., et Wong, D. S. (1987). Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment. *Management Science*, 33(1), 39-57.
- Koh, S. G., et Bulfin, R. L. (2004). Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations. *International Journal of Production Research*, 42(2), 391-404.
- Lampel, J., et Mintzberg, H. (1996). Customizing customization. *Sloan Management Review*, 38(1), 10.
- Laroze, A. (1999). A linear programming, tabu search method for solving forest-level bucking optimization problems. *Forest Science*, 45(1), 108-116.
- Lowson, R. H. (2002). Operations strategy: genealogy, classification and anatomy. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(9-10), 1112-1129.
- Lee, H. L., et Billington, C. (1993). Material management in decentralized supply chains. *Operations Research*, 41(5), 835.
- Maness, T., & Adams, D. (1991). The Combined Optimization of Log Bucking and Sawing Strategies. *Wood and Fiber Science*, 23(2), 296-314.
- Maness, T. C., et Norton, S. E. (2002). Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(5), 460-471.
- Masuchun, W., Davis, S., et Patterson, J. W. (2004). Comparison of push and pull control strategies for supply network management in a make-to-stock environment. *International Journal of Production Research*, 42(20), 4401-4419.

- Meyr, H., Wagner, M., et Rohde, J. (2005). Structure of Advanced Planning Systems. In H. Stadler, & C. Kilger (Eds.), *Supply Chain Management and Advanced Planning*: Springer, 109-115.
- Min, H., et Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2), 231-249.
- Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J. P., et Lario, F. C. (2006). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 271-285.
- Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics* 85(3): 319-329.
- Olhager, J., et Rudberg, M. (2002). Linking manufacturing strategy decisions on process choice with manufacturing planning and control systems. *International Journal of Production Research*, 40(10), 2335-2351.
- Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. *Production Planning & Control*, 11(3), 210-222.
- Palmer, P., & Selen, W. (2004). A Customer-Oriented Profitability Model for an Australian Timber Company. *Second World Conference on POM an 15th Annual POM Conference*. Cancun, Mexico.
- Reinders, M. P., et Hendriks, T. H. B. (1989). Lumber Production Optimization. *European Journal of Operational Research*, 42(3), 243-253.
- Rensi, G., et Weintraub, A. (1988). Using dynamic programming to obtain efficient kiln-drying schedules. *Wood and Fiber Science*, 20(2), 215-225.
- Rönnqvist, M. (2003). Optimization in forestry. *Mathematical Programming*, 97(1-2), 267-284.
- Schmidt, G., et Wilhelm, W. E. (2000). Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: a review and discussion of modelling issues. *International Journal of Production Research*, 38(7), 1501-1523.
- Schneeweiss, C., et Zimmer, K. (2004). Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 687-703.
- Seely, J., et Hagel, J. (2005). From push to pull: The next frontier of innovation. *McKinsey Quarterly*, 2005(3), 9.
- Sendil Kumar, C., et Panneerselvam, R. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3/4), 393-408.

- Smith, A. (1776). *Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, 1776. Edited by S.M. Soares. MetaLibri Digital Library, 2007.
- Spearman, M. L., et Zazanis, M. A. (1992). Push and Pull Production Systems - Issues and Comparisons. *Operations Research*, 40(3), 521-532.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., et Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553 - 564.
- Stadtler, H. (2005). Supply Chain Management — An Overview. *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 9-35.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., et Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43(5), 869-898.
- Supply Chain Council (2006), *Supply-Chain Operations Reference-model – Overview of SCOR Version 8.0*, Supply Chain Council, Pittsburgh, PA. Disponible sur www.supply-chain.org
- Tang, L. X., Liu, J. Y., Rong, A. Y., et Yang, Z. H. (2001). A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 1-20.
- Todoroki, C. (2001). Volume and value variation with opening face position: An investigation with pruned softwood logs. *Forest Products Journal*, 51(1), 36-42.
- Todoroki, C., et Ronnqvist, M. (1999). Combined primary and secondary log breakdown optimisation. *Journal of the Operational Research Society*, 50(3), 219-229.
- Todoroki, C., et Rönnqvist, M. (2002). Dynamic Control of Timber Production at a Sawmill with Log Sawing Optimization. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(1), 79-89.
- van der Zee, D. J. (2006). Modeling decision making and control in manufacturing simulation. *International Journal of Production Economics*, 100(1), 155-167.
- Vila, D., Martel, A., et Beauregard, R. (2006). Designing logistics networks in divergent process industries: A methodology and its application to the lumber industry. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 358-378.
- Voß, S., et Woodruff, D. L. (2006). *Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain (2 ed.)*: Springer.

Wilson, R. H. (1934). A scientific routine for stock control. *Harvard Business Review*, 13(1), 116.

Zhang, W., et Xie, S. (2007). Agent technology for collaborative process planning: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3), 315-325.

Zymelman, M. (1965). A stabilization policy for the cotton textile cycle. *Management Science*, 11(5), 572-580.

Chapitre 2. Agent-Based Simulation and Analysis of Demand-Driven Production Strategies in the Lumber Industry

2.1 Abstract

This paper addresses the generic problem of production planning in a divergent lumber production environment. It aims at analyzing the performance of various demand-driven production strategies of a lumber production system. This analysis is performed using a simulation platform built on an agent-based advanced planning system. Nine production strategies configurations are evaluated under six scenarios in order to carry out a complete mixed level design of 54 simulation runs. Each of these configurations is a combination of a decoupling point position and a level of capacity that is committed to contracts with customers. Accordingly, the six scenarios are designed as a combination of supply type (i.e., log diameter distribution) and lumber market prices. Production processes and co-production yields are based on a real manufacturing system from eastern Canada. Performance is evaluated from the logistic and economic points of view. Results demonstrate that demand-driven planning approaches that propagate demand information upstream the supply chain have the potential to improve planned customer service and reduce planned inventories. Results also show that lumber companies need to receive a premium from their customers in order to compensate from the loss of potential value resulting from a more constrained planning environment.

2.2 Résumé

Cette recherche traite sur le problème de la planification de la production dans un environnement de production divergent tel que celui du bois d'œuvre. Elle a pour but d'analyser les changements dans la performance opérationnelle après l'introduction de méthodes de contrôle à flux tiré dans le système de production de bois d'œuvre. On utilise une plateforme expérimentale comme système de planification et programmation avancée basée sur une technologie agent pour simuler et évaluer la performance. Un plan d'expériences complet de niveaux mixtes avec 54 observations comprenant neuf configurations de la scierie sous six scénarios a été réalisé. Chacune des neuf configurations représente une combinaison des niveaux des deux facteurs contrôlables : la position du point de découplage et le niveau de capacité alloué aux contrats. Par conséquent, les six scénarios sont le résultat de la combinaison des niveaux des facteurs externes, à savoir : le mélange des billes et les différences relatives des prix marchés du bois. La performance est évaluée des points de vue logistique et financier dans le but de mettre en évidence les compromis dans ces deux perspectives. Les résultats démontrent que les stratégies de planification basées sur une approche tirée, qui propagent l'information de demande en amont de la chaîne de création de valeur, ont le potentiel d'améliorer le service logistique aux clients et diminuer les niveaux d'inventaire. Cependant, les résultats montrent aussi que les compagnies du bois auront besoin d'aller chercher une prime dans les prix des contrats pour compenser les pertes dans le revenu potentiel lié à l'opération en mode flux poussé.

2.3 Introduction

The forest products industry is an important business sector in Quebec, Canada. It plays a central role in its economy, providing over 115.000 direct employments and contributing about 4% of its Gross Domestic Product (QFIC, 2005). Despite its importance, the lumber industry is facing serious difficulties. Timber has become scarce in quantity and quality in

public forests, especially in eastern Canada. Furthermore, the combination of longer hauling distances and higher gas price result in constantly increasing supply costs due to higher transportation cost. Moreover, the increased concurrence in the US market, due to the emergence of low cost fiber producers, has also affected Quebec's lumber industry directly and indirectly because of its business relationship with the pulp and paper industry. Finally, the Canadian lumber industry is facing strong protectionism measures in the US market, as well as a strong Canadian dollar that impairs exports in general.

In order to face these issues, lumber producers have focused their efforts on cost reduction and potential market value recovery (i.e., price-based optimization with 3D scanning and curve sawing). The use of such push-oriented strategies also finds justification in a highly standardized and commoditized North American softwood lumber market. On the one hand, Quebec sawmills have become highly productive machines, in spite of the small diameter of the available logs (Bédard, 2002; Lévesque 2005). On the other hand, they have become inflexible to adapt to changing market needs.

Even though these make-to-stock strategies served the industry rather well when market prices were higher and competition inexistent, new market conditions are reshaping the way lumber is demanded. Value-added wood based industries, such as engineered wood products and prefabricated houses have been experiencing a sustained development for a few years and ask for more collaborative relationships with lumber producers. Instead of ordering large volume of commodity, engineered wood producers expect high quality products on demand, because they do not hold large inventory of raw material. A similar kind of pressure is emerging from the home center industry. Vendor-Managed Inventory (VMI) is becoming extensively used, forcing lumber producers to learn how to manage consigned inventories and replenish their customers with the right quantities of the right product at the right time. Contracts that enforce the delivery of certain volumes of products are also more frequently used with large retailers. Even if these contracts are profitable, they put pressure on lumber producers as they must pay important penalties, or even may lose their contract, if stores become out-of-stock.

Similar challenges have already been addressed by other industries, such as the food processing industry (Soman *et al.*, 2004). In this industry, customer centric strategies let

demand information guide production decisions. Conversely, the Quebec lumber production strategy is still mainly driven by potential value recovery and market prices. The adoption of such strategies is a difficult task for lumber producers who strongly believe that cost reduction is still the main driver in the lumber business. Although low production cost remains a barrier to access the lumber market, it becomes more and more necessary for lumber producers to adopt new strategies to improve their ability to meet market needs. The challenge is thus to find solutions to overcome the price-based push strategy that is widely accepted in the industry in North America.

This paper provides an exploratory analysis of the introduction of demand-driven (pulled by demand information) strategies in the lumber production process. In order to do this, a series of simulation experiments that exploit an agent-based advanced planning system has been carried out. The objective is to provide managerial insights concerning the design of a mix marketing strategy (i.e., contract and/or spot market) that is closely related to the production and procurement specificities of softwood sawmills.

2.4 Research context

2.4.1 Characterization of the lumber production process

The lumber industry is a process industry characterized by three main elements. First, the process routing is fixed (i.e., sawing, drying, planing and sorting). Second, raw material (i.e., log diameter distribution and quality) plays a central role in constraining the volumes and mix of product types that can be produced. Third, lumber is produced through a set of successive divergent processes with co-production (i.e., several product types are produced simultaneously, as presented in Figure 2-1) best described by recipes than bills of material (Crama *et al.*, 2001).

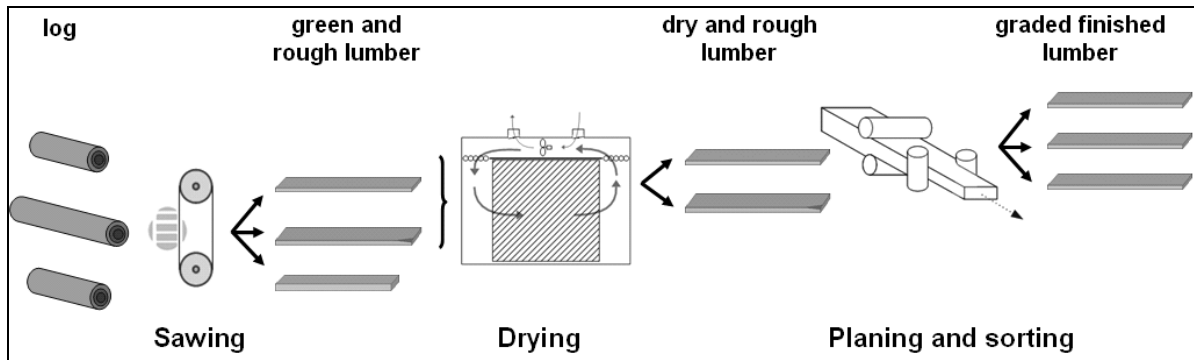


Figure 2-1: Product flow divergence in sawmilling

Lumber is thus co-produced according to multiple input-process combinations that generate several pieces of lumber from each single log. At the sawing level, the combination of input (i.e., the size, diameter and shape of a log to be processed) and sawing process (i.e., a set of log breakdown sub-processes) defines the distribution of output to expect. In practice, a price list defining the value of each co-product guides the selection of the sawing process to breakdown each log independently. This price-based optimization process is a typical local optimization, as each log is broken down independently without regards to customer demand. Some control systems take past production volume into account to select the next sawing processes, which improve output production control, and thus, demand satisfaction.

With pure price-based production control systems, the only two possible ways to influence the output is to control the mix of input logs and to adjust the price list that is fed directly into the production control optimizers. In other words, the same production control decisions apply simultaneously to all input logs and products. Consequently, the adjustment of the price list to force the production of a certain type of lumber, let's say $[t \times w; gd; l]$, where t is the thickness, w the width, gd the grading and l the length, will automatically push the flow of other co-products. This production control strategy limits the company's ability to commit with customer to deliver specific product types. Contracts are thus usually based on the mill's historical production data used to identify the reasonable volume that can be promised and delivered on time. This strategy tends to increase inventory levels due to limited control of output mix. The remaining products with less rotation are then pushed to market at a generally lower price.

The drying process is a batch-oriented production process. It can be modeled as a set of more or less independent sub-processes (i.e., air-drying, kiln drying and equalizing) that together define a drying process. Air-drying and equalizing are usually carried out in the log yard. However, kiln drying is a long and energy consuming process. A batch of pieces of lumber of similar thickness and moisture content level is loaded into the dry kiln. Although the nominal dimension of lumber is not changed during this process, the output quality (i.e., twist, internal stress, surface defaults, etc.) depends upon the combination of drying sub-processes. The careful definition of the overall drying process influences the lumber grade, which can be controlled to improve response to market needs (Gaudreault *et al.*, 2006).

Finally, the planing and sorting processes produce several grades of various dimensions of lumber. A visual inspection of each piece of lumber enables the operator to cut the piece at the most valuable length, eliminating defaults such as flash (i.e., pieces of bark at the end of a plank). Production planning of planing and sorting operations is likewise a difficult task, mainly due to the complexity arising from the co-production and the limited sorting capacity constraints (i.e., limited number of sorting bins vs. the number of possible product types). Furthermore, sawmills in Quebec generally limit the number of final products in order to produce enough volume of each single item to sell it in the lumber spot markets, where each transaction is individually negotiated.

2.4.2 Production planning and control in the lumber industry

The lumber industry is also characterized by production control principles specific to process industries. Fransoo (1993) proposes a definition of production control in this context that emphasizes profit maximization rather than cost minimization. Indeed, the author explains that a process production system is more likely to influence the profitability of the company because it is the bottleneck that defines the company's capacity to satisfy customers demand. Crama *et al.* (2001) go further and explain that the characteristics of process industries, such as the availability of raw materials, the simultaneous production of several products, and the use of expensive equipments (which is not necessarily the case in

the lumber industry), limits the flexibility of production control so that demand satisfaction cannot be enforced. Consequently, it is here necessary to allocate capacity to customer demand in order to maximize profit.

Similarly, the Quebec lumber industry is first constrained by supply availability. It is controlled, to some extent, to meet orders allocated to mills and market conditions perceived by the sales force. Although, production planning seems to be triggered by market needs, planning and control is in practice not geared up with advanced planning tools that can simultaneously consider both actual market orders and a forecast of aggregated market needs. Orders are usually allocated by corporate sales offices to mills according to their ability to produce certain types of products and according to their relative proximity to the customers. In turn, these orders influence production planning in a myopic way. In other words, the mills' production planner decides the mix of log types to transform daily, and sometimes (i.e., from once a week to once every 6 month), adjust the price list in the log sawing optimizer in order to influence output mix. It is indeed largely believed in the industry that the variability of the sawmilling process is too unpredictable to be triggered by orders or demand forecast information. However, a large part of this variability is due to poor raw material characterization and mills' inability to control divergence. Thus, the most important task of the mills' planner is to forecast output product mix and volumes based on supply availability and to communicate these production forecasts to the sales force in order to push products (i.e., forecasted available-to-promise and on-hand inventory) to the market. De Toni *et al.* (1998) classify this type of production control approach as a process with a look-back rather than look-ahead criterion, which means that it is less responsive to market fluctuations.

Furthermore, these practices are greatly encouraged by the performance measurement system metrics commonly used in the industry and indirectly validated by government policies. In such system, metrics are only concerned with lumber recovery factors (i.e., volume of lumber produced per unit volume of raw material) and productivity indicators (i.e., volume of lumber produced per shift). Consequently, it is usual for sawmills production planners not to pay attention to customer's satisfaction key performance

indicators (KPI). Inventory costs are also often neglected and inventory buffers build-up to push products to the market hiding organizational inefficiencies.

Therefore, the introduction of demand information upstream in production planning is a challenge for both, companies and designers of advanced planning systems. Demand-driven planning is indeed made even more complicated because each stage of the routing is divergent. Consequently, the ability to improve customer satisfaction seems directly related to the ability to control the output mix of each production stage.

2.4.3 Decoupling point strategies

Push and pull are two production strategies used to trigger production decisions whether at the planning or execution levels. On the one hand, push refers to the production of items according to upstream signals from input products flow, such as material release or demand forecast information. On the other hand, pull refers to the release of production orders/authorization triggered by downstream signals, such as sales orders or kanbans. Both push and pull strategies offers advantages depending on the operational environment in which they are deployed (Olhager, 2003). The pull logic implies market information flowing and driving decisions upstream the supply chain in order to improve operations coordination. This strategy contributes to reducing the inefficiencies generated by information asymmetry, such as the bullwhip effect. It is often implemented using information systems to share point-of-sale data.

Hopp and Sperman (2004) highlight that no system operates under pure push or pull strategies (i. e., moving materials according to only one pure logic). In fact, the question is where to establish the best push/pull interface (i.e., decoupling point) in the supply chain. In a multi-stage production process, it is possible to apply simultaneously both logics in order to reduce inventory and meet market response expectations. This leads to the positioning of a decoupling point within the production process. Several authors have studied this problem (Lampbel and Mintzberg, 1996; Garg and Tang, 1997; Adan and Wal, 1998; Olhager, 2003; Gupta and Benjafaar, 2004). The operations upstream from the decoupling point are planned and controlled in order to push products to the next stage (i.e.,

make-to-stock, MTS). Downstream from this point, operations are planned and controlled in order to pull products from the previous stage, except for the first operations that uses material from a buffer inventory (i.e., make-to-order, MTO; or assemble-to-order, ATO). The positioning of the decoupling point is strategically equivalent to minimizing inventory holding costs subject to response time constraints. On the one hand, the closer the decoupling point to the market, the shorter the response time and the higher the inventory levels. Production is not differentiated, in this case, to match market needs. On the other hand, the further the decoupling point is set from the market, the longer the response time and the lower the inventory levels. This approach allows producers to customize production to match customer needs.

In a divergent production process, co-products are simultaneously produced, which makes it impossible to plan and control the production system with a single strategy. Some products are indeed automatically pushed through and offered. Here, production managers must balance the production capacity used to satisfy demand and the production capacity used to process co-products in order to avoid building-up work-in-process inventories. This is particularly the case in the lumber industry. In order to address this issue, Maness and Norton (2002) propose a production planning model that allows setting a sales target for products as well as inventory and penalty costs for over or under achieving the sales targets. Such a model allows finding a trade-off between inventory cost and customer satisfaction. However, the lumber production process model is aggregated. The details of sawing, drying and finishing are omitted and only general yields are considered. Differently, Todoroki and Rönnqvist (2002) propose an optimization model that considers demand information to control production execution. Here, the sawing of each log is optimized in order to maximize the volume or the value produced, taking into account the volume of each lumber grade that remains to be produced to meet demand (i.e., the difference between previous production and demand). This approach only takes into account the detailed sawing process. Consequently, none of these approaches can be used to model a variety of production planning strategies with various decoupling point positions.

The experimentation platform used in this study models the operations planning of each production stages separately. Consequently, it is possible to configure this platform in order to model different strategies and compare their respective potential to meet demand. In the context of the lumber industry, the tested strategies are outlined in Figure 2-2.

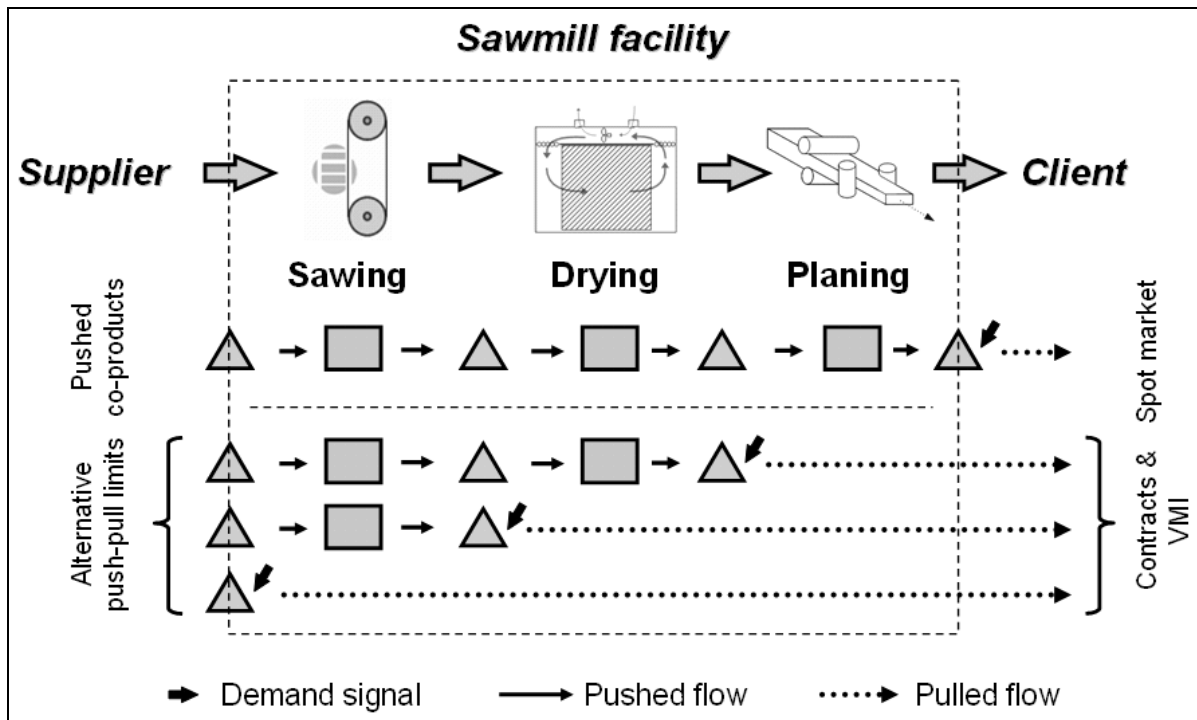


Figure 2-2: Tested decoupling point positions

2.5 Research objective, method, and tools

This section first presents an introduction to supply chain simulation techniques and applications. Next, the research objectives and method are described. Finally, the experimentation platform used to carry out this study is presented.

2.5.1 Introduction to supply chain simulation

The field of supply chain simulation is growing in interest and several studies demonstrate the usefulness of such practices in various situations. For instance, simulation is used to evaluate the value of information sharing in supply chain (Zhang and Zhang, 2007), to analyze the performance of business practices such as Vendor-Managed Inventory (Disney and Towill, 2003) or collaboration (Moyaux *et al.*, 2004), or to assess the usefulness of technologies such as Electronic Data Interchange (Machuca and Barajas, 2004). Analyzing the various streams of research in this domain, Kleijnen (2005) proposed to classify supply chain simulation into four main categories: (1) spreadsheet simulation; (2) systems dynamics; (3) discrete-event dynamic system (DEDS) simulation; and (4) business games, such as the beer game or wood supply game (Van Horne and Marier, 2005). However, to these four categories, agent-based simulation practices should be added as another category.

Indeed, along with this growing interest for supply chain simulation, the field of agent-based supply chain management is similarly growing in importance. This interest includes two main research initiatives. The first, initiated in the early 1990s, addresses the synchronization of supply chain operations through the coordination of distributed decision-making activities. Several approaches have been developed and proposed in the literature (Frayret *et al.*, 2008). The challenge with these approaches deals with the modeling and implementation of supply chain decision-support tools and interaction mechanisms used to coordinate decision-making activities. Agents are sometimes geared up with advanced planning tools based on Operations Research technology. These systems are referred to as agent-based supply chain planning systems.

Next, the conjunction of agent-based supply chain management and DEDS has created the field of agent-based supply chain simulation systems (Parunak, 1998; Swaminathan *et al.*, 1998; Strader *et al.*, 1998; Labarthe *et al.*, 2007). This field aims to study supply chain performance in stochastic environments through the design and simulation of supply chain models based on agent technology. These technologies focus on the development of

modeling and simulation environments, including modeling methods and software architectures and protocols (Umeda and Jones, 1998; Chatfield *et al.*, 2006; Iannone *et al.*, 2007). The goal is to support decision-makers to design models of their supply chain operations and decision-making processes in order to simulate and study their collective and dynamic behavior.

In a context where supply chain members use advanced planning and scheduling systems to plan their operations, it is difficult to design accurate simulation models of such complex decision-making behaviors. Consequently, some authors have undertaken the design of simulation environments that include such optimization tools (Lendermann *et al.*, 2001; Baumgaertel and John 2003). Along this stream of research, the FOR@C Research Consortium has developed an agent-based experimentation platform, which aims at optimizing supply chain operations planning and simulates operations execution in the context of the forest products industry (Frayret *et al.*, 2008). This study exploits this platform to perform various experiments in order to analyze the performance of different decoupling point positions.

2.5.2 Research objective and method overview

The main objective of this research is to study the introduction of demand information at various points in the planning process of lumber production and analyze its impacts on work-in-process inventories, delivery and business performance. In order to do so, a case study was designed based on a real manufacturing sawmill. The production system and processes of this sawmill were modeled with a commercial simulation software called Optitek® from Forintek. Optitek aims at simulating the yields of any configuration of sawmill in order to evaluate a new design or modifications of a lumber production system. Optitek also simulates the optimization process of the production controllers that optimize log breakdown. The production processes and yields respectively modeled and calculated with Optitek were then used to configure the FORAC experimentation platform.

The main advantage of using this experimentation platform is that it allows the researcher to accurately simulate complex processes of operations planning in sawmills. Nonetheless, it also allows the researcher to simulate much simpler approaches to operations planning as it is mostly the case in this industry in North America. Indeed, this platform represents a major leap forward in the domain of sawmill operations planning as such a tool is literally inexistent in practice, where operations are either not planned or planned manually at best. Consequently, the goal of this study is equivalent to the optimization of the configuration of an advanced operations planning system in different contexts, where the decoupling point position can be set at different level in the general process of lumber production.

In order to achieve this objective, an experimental design was implemented to set all the parameters of the simulation environments and scenarios. Once all scenarios and configurations of the platform were implemented, the platform was used to plan production within each context. The plans resulting from these planning runs were then studied using statistical analysis software.

2.5.3 Experimentation platform

The general modeling architecture used to carry out this study was designed to model a typical softwood sawmill. The main software components include three types of agents. Downstream the supply chain, the Deliver agent is responsible for managing the relationships with customers through the exchange of demand information. Upstream the supply chain, the Source agent is responsible for managing the procurement of logs. Next, the central part of the application is a series of three Make agents responsible for operations planning and for the coordination of their decision-making activities. These Make agents are respectively responsible for the planning of sawing, drying and finishing (i.e., planing and sorting) operations. Similarly, another Make agent referred to as the Warehouse agent, responsible for making products available to customers, was used. Each agent was designed with specialized optimization tools described in Frayret *et al.* (2008) and in Gaudreault *et al.*, (2006).

In order to simulate the lumber supply chain planning process, agents can propagate upstream and downstream information concerning demand and supply decisions. Through the propagation of this information, it is possible to configure various planning strategies by changing the point up to where demand information flows. For instance, if no demand information is passed from the Deliver agent to the Make agents, then production will be made-to-stock with the goal of maximizing the potential value recovery at each stage of production. On the contrary, if demand information is passed up to the Make agent responsible for sawing, then production is made-to-order by minimizing tardiness (i.e., late customer deliveries) at each stage of production. Therefore, the experimentation platform was configured in order to model various planning strategies from push to pull as is depicted in Figure 2-3. The dotted arrows represent information going upstream through the transmission of planned needs from one agent to the other. Bold arrows indicate the downstream transmission of supply plans. Demand plans (respectively supply plans) are composed of order quantities (respectively supply quantities) for products needs (respectively products availabilities) at certain dates. The numbers on the arrow indicate the sequence of the planning protocol activities.

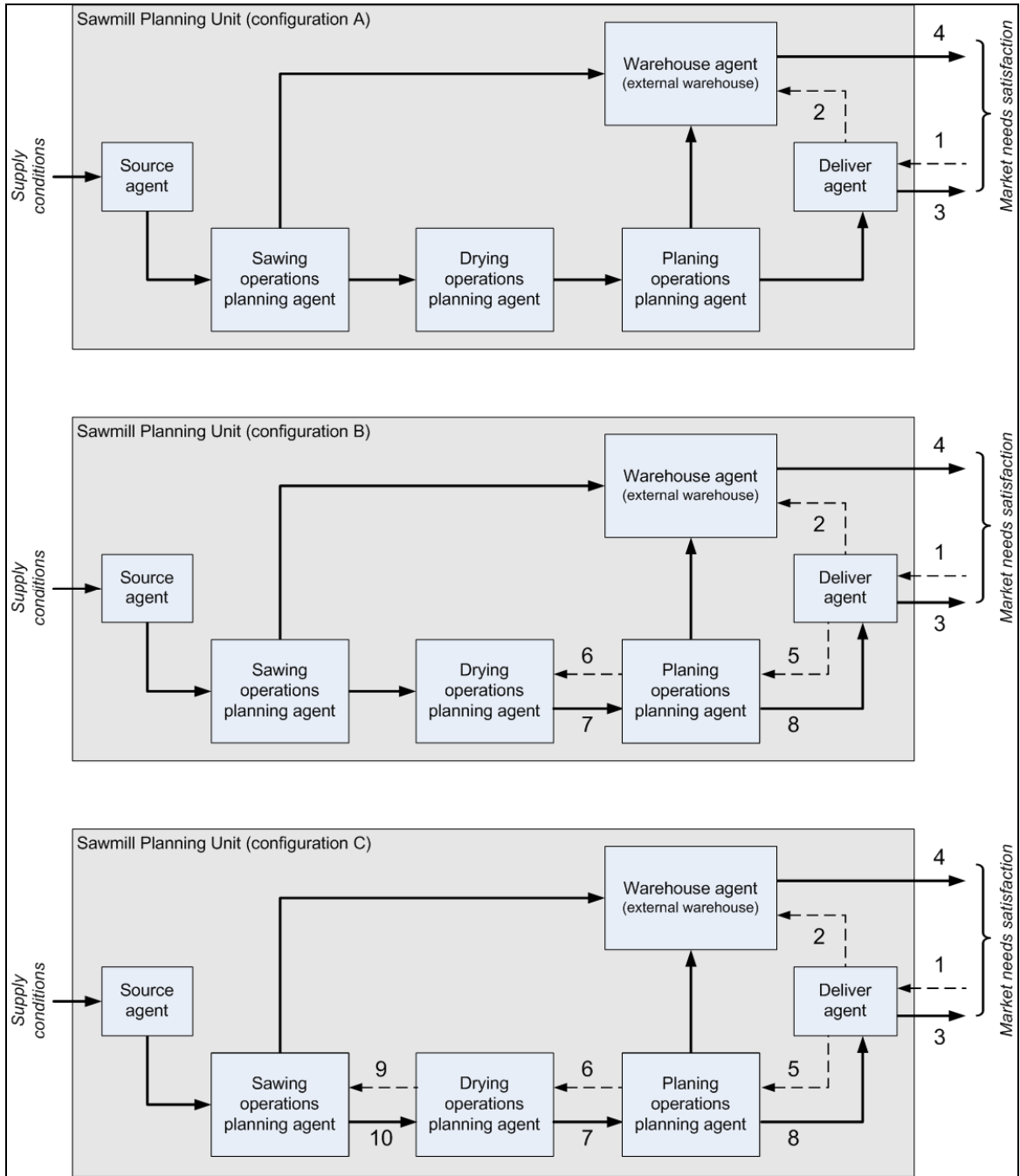


Figure 2-3: Modeling of the decoupling point strategies

In order to plan their respective operations, each Make agent is geared up with advanced planning tools. Table 2-1 introduces the main mathematical features of these tools. As shown in Table 2-1, each agent is equipped with alternative planning models that they use during the various steps of the agents' coordination process. This coordination process is

carried out through the coordination protocol presented in section 2.6.2. It is used by each agent. According to the configuration of the platform, agents used these alternatives planning models to generate and exchange with others the appropriate information (i.e., demand and supply plans) at the different steps of the coordination process. More specifically, these tools are either mix integer models solved directly with Cplex® (Ilog), or constraint programs solved with Solver® (Ilog). Because they have been specifically designed for each planning domain, these models accurately represent their planning contexts, especially with regard to their production constraints. Although they model sub-problems of the entire production system, they include specific details in order to ensure plans' feasibility. Furthermore, once instantiated, each model represents thousands of decision variables that must be solved together. The details of these models are outside the scope of this paper. Consequently, they have been voluntarily omitted for the sake of clarity. The interested reader is referred to Frayret *et al.* (2008) and Gaudreault *et al.*, (2006) for more information.

Table 2-1: Advanced planning tools features

| | Sawing agent | Drying agent | Finishing agent |
|-------------------|--|---|---|
| Objectives | <ol style="list-style-type: none"> 1. Min. tardiness (upstream and downstream phases) 2. Max. production value (downstream phase) 3. Min. costs | <ol style="list-style-type: none"> 1. Min. tardiness (upstream and downstream phases) 2. Max. production value (downstream phase) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Min. tardiness (upstream and downstream phases) 2. Max. production value (downstream phase) 3. Min. costs 4. Max. resource utilization rate |
| Parameters | Machines capacity calendar Frozen jobs Maximum sales per product Inventory cost Raw product cost | Machines capacity calendar Frozen jobs Operations costs | Machines capacity Frozen jobs Maximum sales per product Expedition windows Inventory, raw material and Setup cost |
| Method | MIP solved with Cplex | Constraint programming solved with Solver | MIP solved with Cplex |

In the context of this study, only planning decisions were simulated. In other words, the simulation of the execution of operations was not carried out. This experimental study was indeed only designed to test various configuration of planning strategies. The next section details the experimental case designed to carry out this study.

2.6 Experimental case definition

2.6.1 Sawmill case study modeling

The sawmill case study is inspired by a real forest company which owns a medium sized and stud oriented sawmill. The sawmill case study is similar to the real sawmill in terms of capacity and production processes. Its annual lumber production can rise up to 120 Million Board Feet (MMbf) or 283,000 m³, from spruce, pine and fir trees (SPF), although spruce represents more than 60% of its total raw logs inputs. Nevertheless, because the real sawmill is not geared up to pull production. The overall planning process was specifically adjusted and designed to model the tested planning strategies. For instance, in the real sawmill, there is no log classification, and all logs are sawed in a bulk process. Consequently, this practice tends to generate a wide range of green lumber types without real control over the output mix and volumes. Production is thus pushed through sawing by maximizing value recovery according to a price list. Next, green lumber is then loaded in kilns for drying, or stacked for air drying or even sold green. The sawmill has two kilns of 244 Mbf capacity and the drying time range from 40 to 70 hours depending on the species and the season. Once dried and equilibrated, lumber is planed and graded in a single line and then packed, sold and shipped mainly by train.

In order to create different planning strategies, each alternative production processes have first been modeled in order to configure the advanced planning tools of the experimentation platform. Data from a random sample of 600 3D scans of real logs and Optitek were used to model the real sawmill and its typical procurement. Next, using Optitek, the sawing of each log was simulated using actual and manipulated price lists in order to obtain the production yields of each output product. This approach also allowed us to define log classes based on output mix distribution similarities. For kiln drying, several feasible loading patterns were developed for each thickness of lumber from actual kiln drying operations. A loading pattern may include various lengths of lumber, but thickness must be the same for all pieces of lumber. Air drying, planing and sorting operations were modeled

similarly. All configurations were then translated into a XML file and fed into the platform. Table 2-2 presents the general elements of the case study configurations.

Table 2-2: Case study general characteristics

| | Structure | Assumptions |
|-----------------------------|--|--|
| Logs | <ul style="list-style-type: none"> • m³ of bulk raw logs 4.8 m (16') long. Logs are classified in 7 classes. | The randomly generated sample is used in each configuration. |
| Sawing | <ul style="list-style-type: none"> • 1 sawing line. • 47 sawing patterns. • fixed sawing speed. | Sawdust and chips produced are sent to the warehouse. |
| Green Lumber | <ul style="list-style-type: none"> • 30 products based on dimensions. | Only 2×3, 2×4, 2×6 and 2×8 in their five different lengths will go through drying. Small boards, 1×3 and 1×4 in their five lengths are transferred to warehouse as is. |
| Drying | <ul style="list-style-type: none"> • 2 kiln dryers of 576 m³ (244 Mbf) capacity plus 8 air drying locations. • 237 alternative loading patterns for kiln drying, plus the same number for air drying. | One fixed time duration for all loading patters regardless of green lumber dimensions. |
| Dry lumber | <ul style="list-style-type: none"> • 20 products based on dimensions | 2×3, 2×4, 2×6 and 2×8 in their five different lengths will go through planing and sorting. |
| Finishing | <ul style="list-style-type: none"> • One planing and sorting line • Fixed input/output relationship based on actual recovery yield. | Changeover of thickness during a shift is penalized. |
| Planed Lumber | <ul style="list-style-type: none"> • 60 products according to dimension and grading. | From these 60 products demand is placed on five of them, namely 2×4 12 RL. |
| Operation conditions | <ul style="list-style-type: none"> • Sawing and finishing have operation's schedules of 16 hours per day. Drying operates 24/7 for the sixty days planning horizon. | No downtime. Demand is visible from time zero. |

2.6.2 Modeling of the decoupling point positions

This study aims at evaluating and comparing the performance of three decoupling point positions within a lumber production system. In order to do this, the experimentation platform discussed in the previous section was configured to represent the three strategies of demand propagation that are summarized in Figure 2-3.

In configuration A, demand information is not propagated at all within the system. Consequently, each agent plans its operations in order to maximize value recovery subject to the supply constraint propagated downstream by their direct supplier. This represents the pure push strategy. It is also the closest approach to how lumber is actually produced in practice. In configuration B, demand information is propagated up to the drying agent. Consequently, both drying and finishing agents plan their operations in order to minimize the overall weighted tardiness (i.e., delay x volume demanded) subject to the supply constraint propagated downstream by their direct supplier. In this configuration, only the sawing agent plans its operations in order to maximize value recovery. Finally, in configuration C, all agents plan their operations in order to minimize the overall weighted tardiness.

Given that lumber production is a divergent process with co-production, the production generates simultaneously different volumes of several types of lumber, only part of which are actually required to fulfill orders. The remaining volumes of lumber are thus pushed to the spot market. In such a multi-stage production process, increasing the control of co-production requires, among others, the coordination of all production stages. Consequently, as discussed previously, a coordination protocol controlling the behavior of each agent was designed and implemented. According to this protocol (Figure 2-4), an agent that receives demand information first plans its operations in order to minimize tardiness with no supply constraints. From its plan, and if it is configured to propagate demand information, it derives and expresses its own dependant demand to its supplier(s). This upstream planning phase continues until demand information is sent to an agent that is not configured to propagate demand information. This agent then plans its operations in order to minimize tardiness subject to the supply constraint of the agent upstream, who is configured to propagate supply information. During this downstream planning phase, the agents that receive both supply and demand information plan their operations in two steps. In the first step, they minimize tardiness considering demand information and subject to supply constraints. Then, in the second step, they plan their operations in order to maximize value recovery using the current product price list, subject to a constraint that limits the maximum overall weighted tardiness (for the same demand) to the tardiness calculated in the first step. From this operations plan, the agents derive and send the supply information required

by their client(s). During the experiment, the production planning horizon was fixed to 60 days and one planning cycle was simulated for each simulation run.

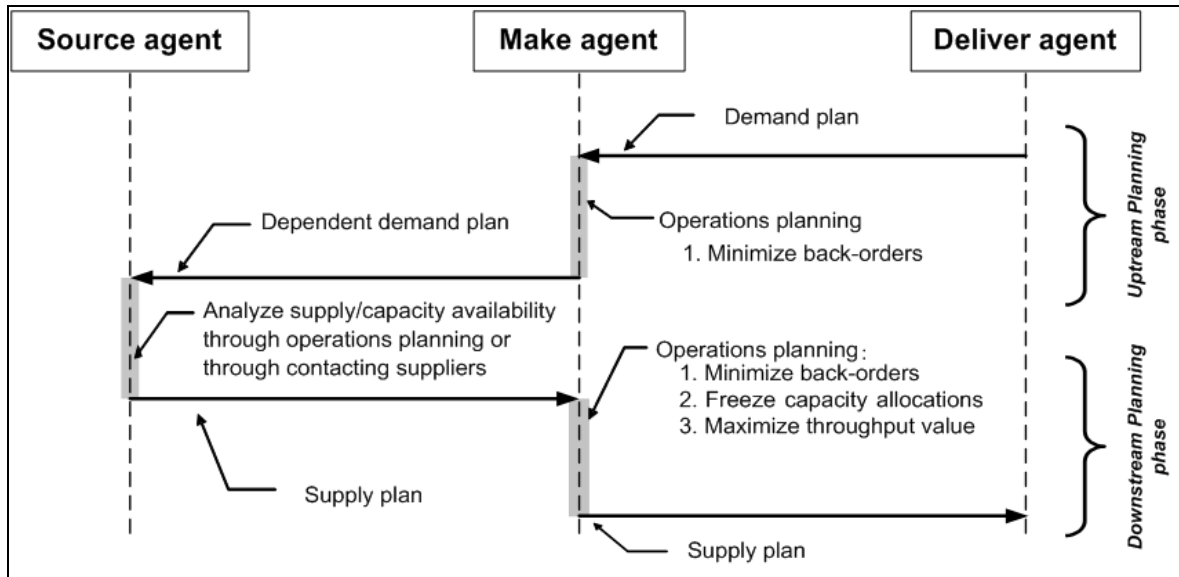


Figure 2-4: Agent coordination protocol

2.7 Experimental design and simulation

2.7.1 Experimental design

A mixed level design approach was used for the experiment. This kind of design, yet simple, is well suited for combining factors that can be controlled through structured decision-making processes (such as the decoupling point position and the level of capacity committed to contracts) and noise factors that can only be controlled within the experiment (such as supply type and market prices). Table 2-3 describes these factors and their various levels as they were set in the simulation experiments. The controllable factors represent the inner array, in other words, a complete factorial design with nine configurations. Noise factors represent the outer array, which is a complete factorial design with six scenarios. The experimental design, which comprises 54 runs, was developed using mixed levels designs.

Table 2-3: Configuration and scenario elements

| Factor | Description | Levels | |
|---|---|----------|--|
| Decoupling point position (Planning configuration) | The point upstream in the lumber supply chain up to where demand information is incorporated in production planning decisions | 3 levels | Between deliver and finishing: (configuration A) |
| | | | Between drying and sawing: (configuration B) |
| | | | Between sawing and source: (configuration C) |
| Level of contract (demand configuration) | The percentage of the maximum capacity for producing 2×4 12 R/L allocated to contracts | 3 levels | 60 % of the maximum capacity |
| | | | 80 % of the maximum capacity |
| | | | 100 % of the maximum capacity |
| Supply type (Scenario) | The main type of logs procured (surrogate for supply quality) | 2 levels | SMALL: higher distribution of small logs |
| | | | NORMAL: Typical distribution |
| Market prices (Scenario) | Price lists with differences for 2×4 12 R/L with respect to Random Lengths [®] average price for 2004 | 3 levels | -10 %: The products have lost value |
| | | | 0: Regular prices |
| | | | +10 %: The products have a better price than average |

In these configurations, the level of capacity allocated to contracts is included in the definition of a configuration in order to study the effect of production/sales commitments on performance. This level is expressed as the percentage of the maximum production capacity (i.e., total volume of production over the planning horizon) of the product sold in these contracts. In order to estimate this maximum capacity, a pure push configuration of the sawmill was set, giving a zero value to all products except this product in order to push the maximum volume of it. In the experiments, orders were simulated as a periodical set of the same quantity of products per week.

The two levels of supply factor were introduced in the experiments in order to study the influence of a small increase of the proportion of logs with smaller diameter in the procurement distribution. Furthermore, concerning the market price, three levels of variations for the product sold by contracts were considered, and so, according to 2004 average price range variations.

2.7.2 Performance measurement framework

In a traditional lumber production context, performance assessment is based on two main measures. The first measure concerns material throughput. This is the volume of production per work shift, measured in board feet per shift (bf/shift). This measure is an indirect representation of production costs per volume of lumber produced. Because lumber production is a capital intensive industry, production costs in sawmills can be considered as fixed. Consequently, the higher the throughput, the lower the production cost per board feet. The second measure concerns the lumber recovery factor, which is the volume of lumber that is produced per unit volume of raw material. This indicator is measured in board feet per m³ of logs. It is a function of raw material quality (i.e., log diameter and singularities) and transformation process efficiency. It is also an indirect representation of unit procurement cost, because the higher the recovery factor, the least the volume of raw material required per unit volume of lumber produced.

In a context where customer satisfaction is gaining importance while resource becomes scarce, sawmill production managers must consider complementary measures to better represent the overall performance of their lumber production system. More specifically, the performance assessment framework considered in the study proposes to use other Key Performance Indicators (KPI). This framework is presented in Figure 2-5. It ties the two classical measures used in practice (i.e., throughput and recovery factor) with the three measures used in this study.

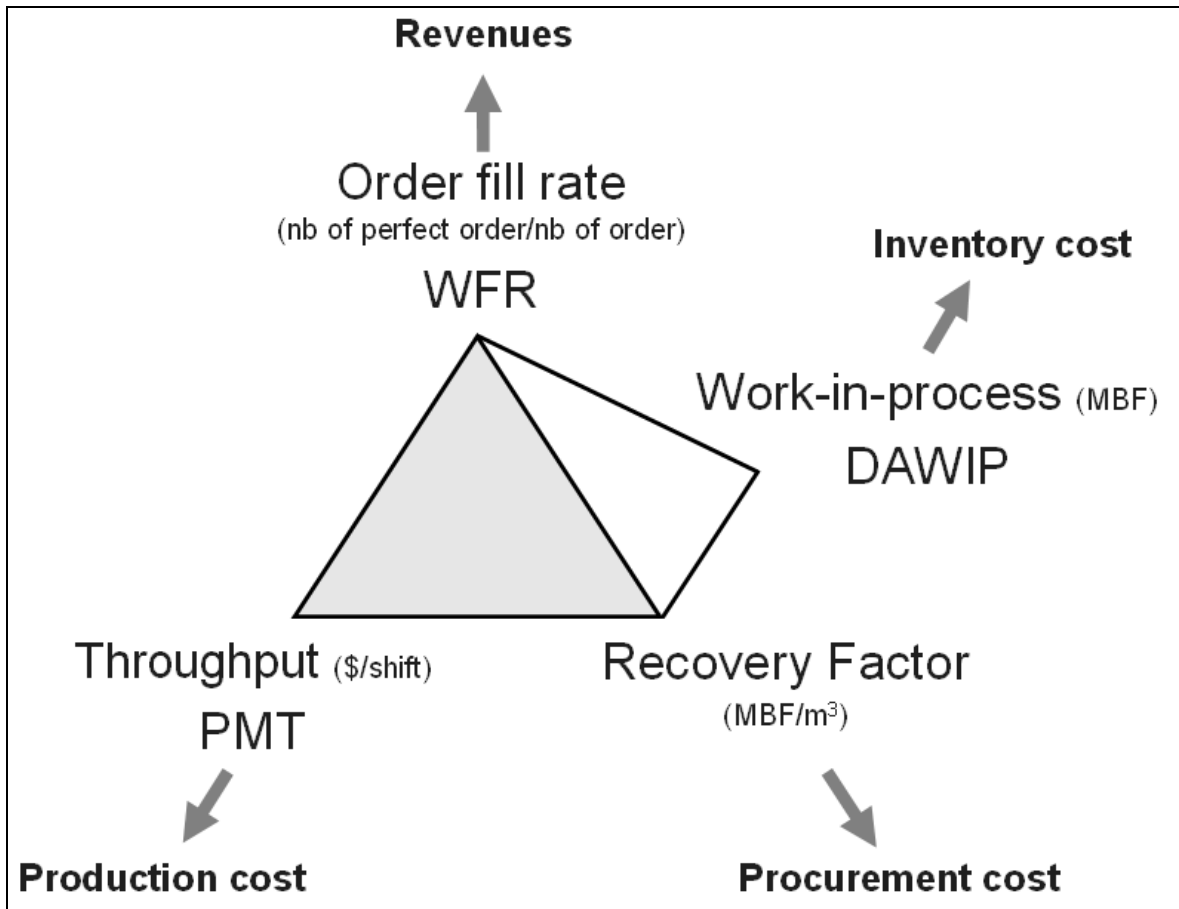


Figure 2-5: Performance assessment framework

The first complementary measure introduced concerns the daily average inventory of work-in-process (i.e., DAWIP). It is an indicator that evaluates material flow streamlines and an indirect representation of work-in-process (WIP) inventory costs. In the context of this study, it is measured using the operation plans of each agent. In other words, the planned work-in-process is calculated directly as the daily average inventory of all non-finished products (green rough and dry rough) over the entire planning horizon, see equation [1].

$$\text{DAWIP (bf/period)} = \frac{\sum_{t \in T} \sum_{p \in \text{WIP}} \text{Daily_WIP}_{p,t} \text{ (bf)}}{\bar{T} \text{ (nb of period)}} \quad [1]$$

with,

T set of all periods (days) of the planning horizon ,

WIP set of all non-finished products (work-in-process) that cannot be sold to customers ,

\bar{T} = Card(T)=Horizon size .

The second complementary measure introduced in this study is classic in supply chain management: the weighted fill rate (WFR). It is calculated once for each simulated production plan as the percentage of demanded quantities planned to be delivered on time over the planning horizon, weighted by the total demanded quantity (see equation [2]). This measure only considers planned deliveries and orders are aggregated per product. Indeed, the planning tools were not designed to consider individual orders. This measure is thus a lower bound of the actual order fill rate generally used in supply chain management because even if the aggregated daily demand is not fulfilled, individual orders may still be fulfilled on time.

$$\text{WFR (\%)} = \frac{\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} [\text{Daily_fulfilled_demand}_{p,t} \times \text{Daily_demand_quantity}_{p,t} \text{ (bf)}]}{\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \text{Daily_demand_quantity}_{p,t} \text{ (bf)}} \times 100 \quad [2]$$

with

$$\text{Daily_fulfilled_demand}_{p,t} = \begin{cases} 1 & \text{if Daily_demand_quantity}_{p,t} \text{ is fulfilled} \\ & \text{entirely at the demanded period} \\ 0 & \text{if not} \end{cases}$$

P set of all products sold to customers

The third measure, proposes to asses the throughput value generally used in practice. However, instead of measuring throughput in terms of volume of lumber produced per shift, we are rather interested in the potential monetary throughput (PMT) over the entire planning horizon. This allows us to compare the potential revenue of the overall planned production in each simulation using referential lumber market prices. This PMT assumes that the whole production can be sold, which is a common practice in this industry. Furthermore, it is calculated without subtracting raw material investment since supply costs

are similar in all scenarios. This potential value is thus calculated for each simulation run using the planned output of finished products (including all products that can be sold) multiplied by the corresponding market price (see equation [3]).

$$PMT(\$) = \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \text{Daily_production}_{p,t}(bf) \times \text{price}_p(\$ / bf) + \sum_{t \in T} \sum_{p \in WIP} \text{End_inventory}_{p,t}(bf) \times \text{price}_p(\$ / bf) \quad [3]$$

The difference between the PMT generated by the pure push strategy and the PMT of any other strategy represents an upper bound of the cost of introducing this strategy. Indeed, this measure considers that the company is able to collect this value immediately. Unfortunately, this is rarely the case. Indeed, inventory costs should be assessed by managers as proposed in the performance framework, because they also affect the company's profitability.

Finally, although it is a fundamental element of the performance assessment of any sawmill, we have not directly analyzed the recovery factor in the study, because supply quality is an uncontrollable external factor, which implies that for each given supply type procurement costs are similar for every tested configuration. Consequently, the PMT provides indirectly a rather good idea of the performance of the system in terms of raw material transformation.

2.8 Results and discussion

2.8.1 Logistic performance

First, WFR improves as the decoupling point is set upstream in the lumber production process. The ANOVA of Table 2-4.a shows that this factor explains more than 40% of WFR variation alone, and 96% when it is coupled with the contract level factor. Although this is intuitive, it indicates that lumber co-production can be controlled to a certain extent in order to match a specific demand pattern. Moreover, it also shows that the further

upstream demand information is propagated, the more accurate the control of production and, thus, the better the customer service. In particular, Figure 2-6 confirms the importance of controlling the sawing process, which sets the dimension (i.e., width and thickness) of the lumber to be produced, in order to satisfy contracts. In fact, setting the decoupling point upstream the sawing process has a more significant effect than setting it upstream the drying process, with an average of more than 120% increase in performance. In addition, the level of the production capacity committed to contracts is negatively correlated with the WFR performance. Indeed, the lower the demand level that pulls production, the more likely it is that this demand can be fulfilled on time. In practice, the levels of production capacity that are committed are maintained rather low because lumber companies do not have an accurate control of their production output mix. Consequently, historical data about production reports is used to set a reasonable volume of production that can be committed to customers.

Additionally, for a given level of contracts, the coefficient of variation of the WFR decreases as the decoupling point goes upstream (Figure 2-7). In other words, positioning the decoupling point upstream in the supply chain tends to decrease the negative effect and incertitude produced by other contextual factors.

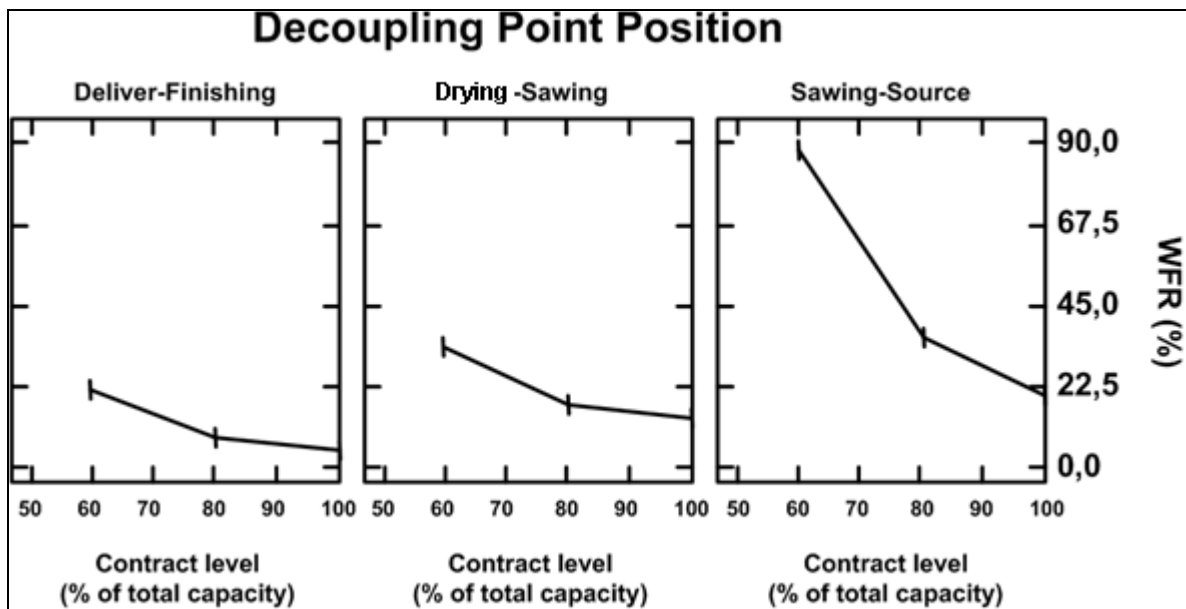


Figure 2-6: Weighted Fill Rate performance

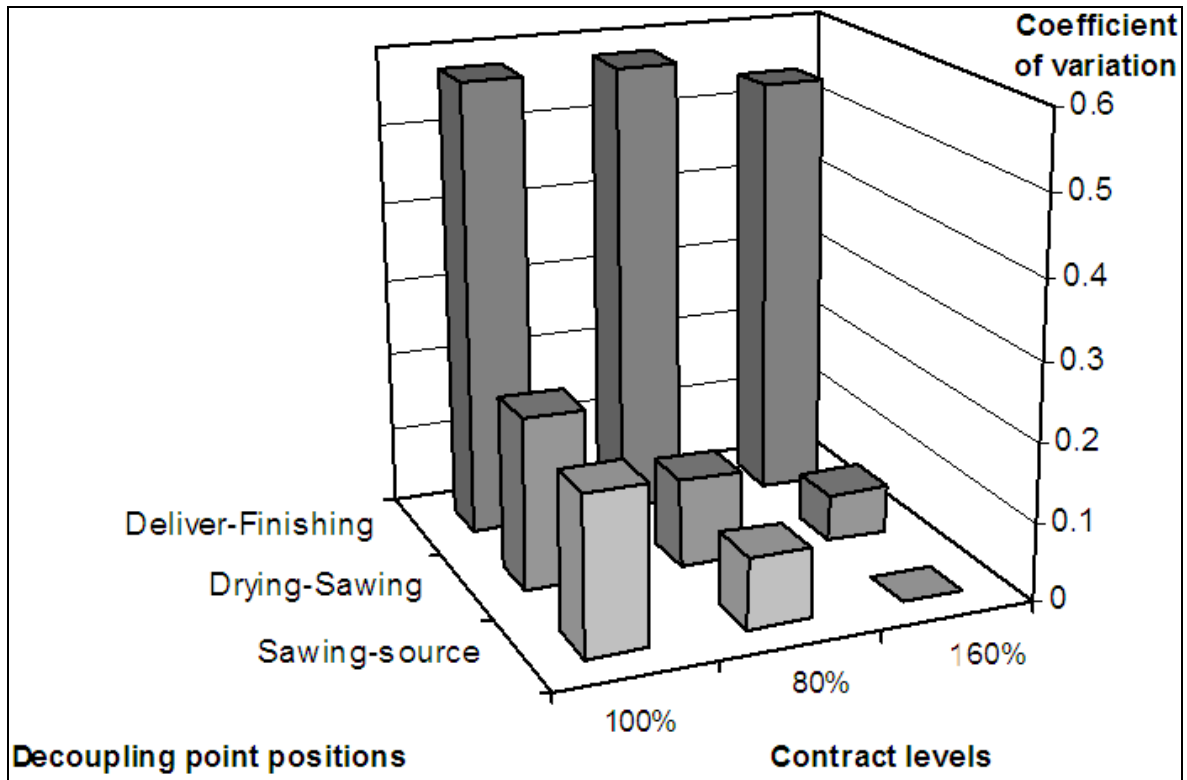


Figure 2-7: Coefficient of variation of WFR

Second, concerning *DAWIP* (Figure 2-8), the resulting planned levels of WIP are reduced when the decoupling point is set upstream the sawing process. Demand-driven planning strategies thus seem to improve inventory levels in the context of a divergent process industry. However, the results are not conclusive when the decoupling point is set between drying and sawing. Indeed, the ANOVA (Table 2-4.b) shows that the decoupling point position explains only 27% of the *DAWIP* variation. This may be explained, once again, by the nature of the sawing process that sets the main dimensions of lumber. Because demand is first specified in terms of width and thickness, once these dimensions are sawn based on price optimization, the lack of demand for these products will keep the work-in-process level high throughout the entire production system. Furthermore, compared to the pure push strategy, the impact of planning drying operations in a pull mode creates slightly more WIP of green lumber. This may be explained by the nature of the objective function of the drying agent, which is to minimize tardiness without regard to green lumber inventory. Consequently, inventory builds up because the sawing agent pushes whatever products have a good market value. This effect disappears when the sawing agent also minimizes

tardiness (i.e., plan to produce on time whatever the drying agent needs). This also demonstrates the importance of controlling the sawing process. Furthermore, the work-in-process levels decrease when demand (i.e., contract level) is higher because a larger portion of unfinished products is pulled by demand.

Table 2-4: ANOVA Tables

| Source | | Sum-of-Squares | Degrees of Freedom | Mean-Square | F-ratio | P |
|----------------------------------|---|----------------|--------------------|-------------|-----------------------------|-------|
| a | Decoupling Point Position | N = 54 | R = 0.643 | | R²=0.414 | |
| Dependent Variable: WFR | <i>Decoupling Point Position</i> | 12564.65 | 2 | 6282.32 | 18.01 | 0.00 |
| | <i>Error</i> | 17781.07 | 51 | 348.64 | | |
| | Decoupling Point Position * Contract Level | N = 54 | R = 0.983 | | R²=0.965 | |
| | <i>Decoupling Point Position</i> | 12564.65 | 2 | 6282.32 | 269.33 | 0.000 |
| | <i>Contract Level</i> | 11456.23 | 2 | 5728.11 | 245.57 | 0.000 |
| | <i>Decoupling Point Position * Contract Level</i> | 5275.18 | 4 | 1318.79 | 56.53 | 0.000 |
| | <i>Error</i> | 1049.65 | 45 | 23.32 | | |
| b | Supply type | N = 54 | R = 0.509 | | R²=0.26 | |
| Dependent Variable: DAWIP | <i>Supply type</i> | 9.77 E12 | | 9.77 E12 | 18.224 | 0.00 |
| | <i>Error</i> | 2.78 E13 | | | | |
| | Decoupling Point Position | N = 54 | R = 0.522 | | R²= 0.273 | |
| | <i>Decoupling Point Position</i> | 1.02 E+13 | | 5.13 E+12 | 9.560 | 0.000 |
| | <i>Error</i> | 2.73 E+13 | | 5.37 E+11 | | |
| | Market Price | N = 54 | R = 0.403 | | R²= 0.162 | |
| | <i>Market Price</i> | 6.10 E+12 | | 3.05 E+12 | 4.93 | 0.011 |
| | <i>Error</i> | 3.15 E+13 | | 6.18 E+11 | | |
| c | Supply type | N = 54 | R = 0.78 | | R²=0.62 | |
| Dependent Variable: PMT | <i>Supply type</i> | 1.12 E13 | | 1.12 E13 | 83.93 | 0.00 |
| | <i>Error</i> | 6.95 E12 | | 1.33 E11 | | |
| | Decoupling Point Position | N = 54 | R = 0.519 | | R²= 0.269 | |
| | <i>Decoupling Point Position</i> | 4.89 E+12 | | 2.44 E+12 | 9.402 | 0.000 |
| | <i>Error</i> | 1.32809E+13 | | 2.60409E+11 | | |

Log supply quality, represented by the supply type factor, also affects the logistics performance. The ANOVA (see Table 2-4.b) shows that at least 26% of WIP variations can be explained by raw material quality variations in the experiment. Although these findings tend to be in favor of a greater control of quality variations of raw material, more studies should be carried out in order to investigate the benefit of an improved characterization and classification of logs. Finally, the variations of the price list that is used to push products throughout the system only contributes to 16% of the DAWIP variations.

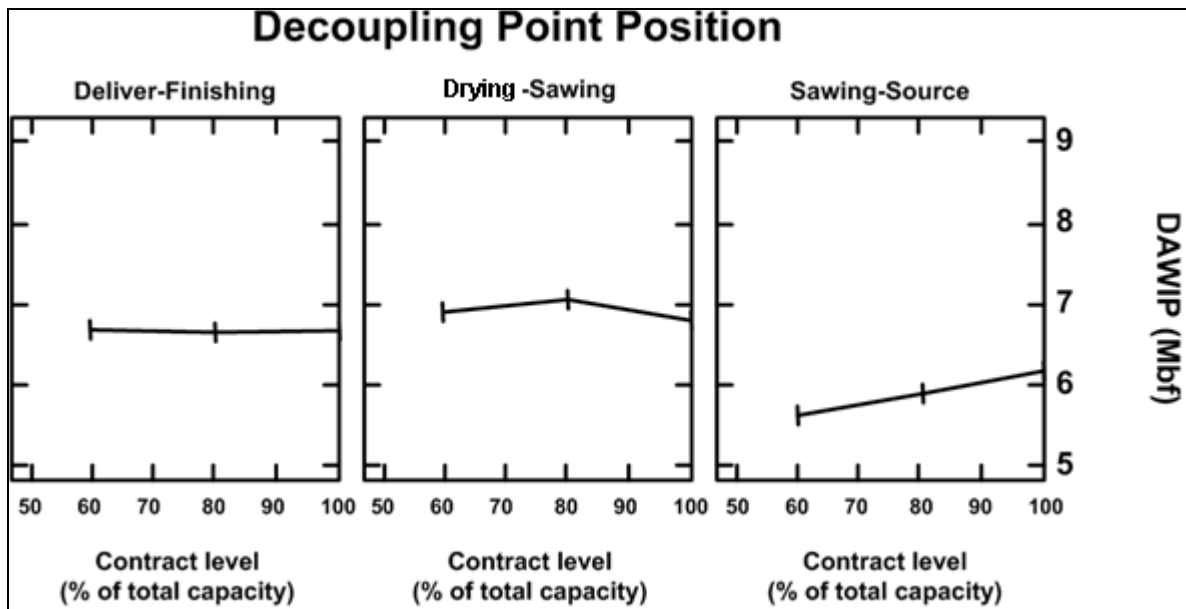


Figure 2-8: Daily Average WIP performance (*DAWIP*)

2.8.2 Financial performance

Improved service level and lower inventories are obtained by adding constraints to the production planning process and by changing the objective function to reduce tardiness. Consequently, one can expect lower PMT levels compared with a pure push strategy that maximizes potential value recovery from every single log. This decrease of the PMT is captured in Figure 2-9. As mentioned earlier, this potential value is calculated using the market price list, which, consequently, influences directly the *PMT*. Once again, the ANOVA shows that log supply quality (i.e., supply type) explains up to 62% of the PMT

variability, while the decoupling point position only explains 26%, as shown in Table 2-4.c. This highlights the strong influence of log quality (i.e., log diameter distribution) on the companies' capacity to generate profit. Furthermore, the importance of controlling the sawing process is demonstrated here. If controlling the drying process does not have a significant impact on the PMT, the control of sawing strongly affect negatively the PMT. Indeed, the production of the dimensions of lumber demanded by customers does not necessarily generate the volumes of lumber that have the highest market price as set in the price list. Consequently, there is a loss of potential value that arises directly from a more constrained production planning environment.

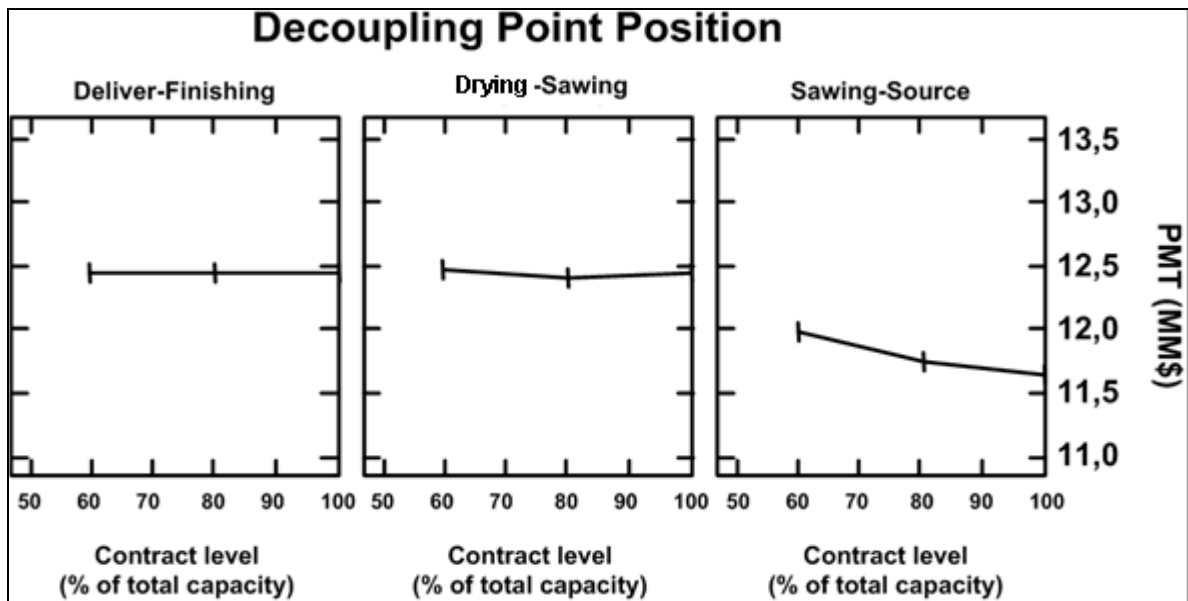


Figure 2-9: Potential Monetary Throughput (PMT)

In order to compensate for this loss of potential sales revenue, a higher sales price is generally applied in the industry using a premium added to the market price. This premium represents the price to be paid for the service of committing production capacity and minimizing supply risk for the customer. Table 2-5 summarizes the average losses for the pull strategy (the pure push strategy being the reference for calculations) and for each contract level. This table also presents the minimal premium required to compensate for this loss. For each contract level (60%, 80% and 100%), this represents respectively a loss of 3,59%, 5,44% and 6,40%. The premium is calculated as a price increase applied on the

part of the capacity that is committed to fulfill demand. In other words, the premium is calculated for each contract level configuration as follows:

$$Premium_c(\%) = \frac{Loss_c(\$)}{(\alpha \times Contract_level(\%) \times PMT_c(\$))} \times 100 \quad [4]$$

with

$$Loss_c(\$) = \frac{\sum_{all\ scenarios} PMT_{push}}{S} - \frac{\sum_{all\ scenarios} PMT_c}{S} \quad [5]$$

$c \in \{A,B,C\}$, A, B and C being the 3 contract level configurations

$\alpha = 80\%$

Scenario = Supply_type \times Market_price

$S = Card(\{scenario\}) = 2 \times 3 = 6$

This approach to calculate the premium considers several hypotheses. First, the coefficient α represents an approximation of the portion of the maximum level of capacity that the sawmill can commit for contracts. In other words, because the production process is divergent, not all production capacity can be allocated to contracts. Consequently, the contract level only concerns the products that the sawmill would be able to sell like that, which represents here 80% of all production calculated in the pure push test simulation ran before experimenting. Second, it is also assumed that all products equally contribute to the PMT. However, this is an approximation because the PMT is primarily generated by the most valuable products, which are sold by contracts. Also, as mentioned earlier, the loss is calculated using the PMT of the pure push strategy, which does not take into account inventory cost due to selling delays. Furthermore, this calculation of the premium does not include the savings from reduced inventory costs and reduced sell-off promotions as more production is pulled by demand. Consequently, this calculation is an upper bound of the break-even premium. In practice, this value is between 5% and 10% of the current market price for a much lower contract level, which seems quite reasonable for lumber producers.

An additional interesting finding indicates that an optimal limit to the contract level must exist for every configuration, which includes the log supply availability and quality.

Consequently, increasing the contract level does not necessarily improve profitability. For instance, in the context of this study, the 80% and 100% contract levels require a larger premium in order to compensate for a larger loss of potential value recovery and risks of unfulfilling contracts. Over committing thus creates in this context more constraints on the production system than it generates revenues. Further study should thus be carried out in order to investigate more precisely this point in order to help lumber producers define the contract level that is most appropriate for their facility.

Table 2-5: Loss and premium calculations for 60 days of production

| Contract level | Average Potential monetary Throughput (\$) | Loss (\$) | Loss (%) | Premium (%) |
|--------------------------------------|--|------------|----------|-------------|
| Pure push strategy | | | | |
| 0% | \$ 12 433 143 | \$0 | 0% | 0% |
| Pure pull strategy (Configuration C) | | | | |
| 60% | \$11 987 220 | \$ 445 924 | 3,59% | 7,75% |
| 80% | \$11 756 677 | \$ 676 467 | 5,44% | 8,99% |
| 100% | \$11 637 634 | \$ 795 509 | 6,40% | 8,54% |

2.9 Conclusion

This paper proposes an evaluation of various production strategies to introduce demand information within the production planning process of a typical lumber production system. This exploratory study is done through simulation using several configurations of an advanced planning systems developed by the FOR@C Consortium. The main conclusions drawn from this study confirm the positive impact of the pull strategy to improve customer satisfaction and reduce overall inventory. However, due to the divergent nature of lumber production, this improvement impairs the ability of the production system to generate value based on market prices. Indeed, forcing the system to minimize tardiness creates a pressure on the production system that limits its ability to maximize value recovery, which is generally the case in lumber production systems. Consequently, improved service level must be paid by customers through a premium which value can be evaluated through this

kind of simulation. Future work includes the evaluation of the trade-off between the premium value and the contract level in a context of profit maximization.

Another interesting insight suggests that in order to introduce customer demand in the planning process of lumber production, a particular effort must be done on the planning of sawing operations. Hence, sawing, which is generally the most upstream transformation process in sawmills, seems to control the logistic performance of the entire production systems.

Finally, from a methodological point of view, this study demonstrates the capability of agent-based technology to provide the means to analyze specific industrial contexts and support decision makers to configure their production systems.

2.10 Acknowledgements

This work was funded by the Research Consortium in E-Business in the Forest Products Industry (FOR@C) and supported by CIRRELT.

Conclusion générale

Une évaluation de trois différentes stratégies de planification de la production de bois d'œuvre a été réalisée pour une usine de sciage type utilisée comme étude de cas. Ces stratégies incluaient à différents degrés l'approche en flux tiré pour planifier la production de certains produits sous contrat. Cette évaluation visait principalement à faire le point sur les possibilités d'implémenter des stratégies centrées clients, du type tiré donc, dans la gestion de la chaîne de création de valeur du bois d'œuvre, et ce, dans un contexte québécois. L'évaluation a été réalisée en se servant d'un outil de simulation basé sur une technologie distribuée à base d'agent et développée par le Consortium Forac.

Les résultats, évalués avec trois indicateurs, montrent les possibilités associées à l'incorporation des stratégies en flux tiré dans la planification de la production. D'abord, le taux de service, un indicateur à privilégier dans une approche centrée client, a montré d'importantes différences selon que la stratégie en flux tirée était incorporée en amont ou en aval sur la chaîne de création de valeur. En effet, pour des conditions similaires de contrat, la stratégie en flux tiré donne, en moyenne, une amélioration de 100% du taux de service. Ces améliorations se font en surmontant les difficultés associées aux caractéristiques de la production de bois d'œuvre, en particulier la divergence de flux de production. Cependant, on constate qu'il existe un compromis à faire pour atteindre un meilleur taux de service en incorporant notamment une stratégie à flux poussé. Ce compromis est mesuré par l'indicateur Débit monétaire potentiel (Potential Monetary Throughput, PMT). Le PMT diminue lorsque le point de découplage est en amont sur la chaîne. Cette perte reflète cette contrainte additionnelle pour le rendement matière. Ainsi, si la compagnie veut s'engager dans l'approche par contrats, elle doit charger une prime pour les contrats qui compense cette diminution du PMT. Cette prime a été calculée avec une formule *ad hoc*.

Finalement, si les usines veulent modifier leur stratégies, ceci entraîne des changements opérationnels qu'il est nécessaire d'étudier, tel que la classification des billes avant le sciage ou des séchoirs plus petits pour mieux équilibrer les flux de matière.

Bibliographie

- Adan, I. and Wal, J. (1998). Combining make to order and make to stock. *OR Spectrum*, 20(2), 73-81.
- Baumgaertel, H. and John, H., (2003). Combining Agent-Based Supply Net Simulation and Constraint Technology for Highly Efficient Simulation of Supply Networks Using APS Systems. In: Chick, S., Sánchez, P.J., Ferrin, D. and Morrice, D.J., (Eds.), *Proceedings of the Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, New Orleans, LA, USA.
- Bédard, P. (2002), Guidelines to Better Match Resource Characteristics, Conversion Technology, and Products. In *Small Diameter Timber: Resource Management, Manufacturing, and Markets*, D.M. Baumgartner, L.R. Johnson and E.J. DePuit (Eds.) Vol. 1. Spokane, Washington: Washington State University Cooperative Extension.
- Chatfield, D.C., Harrison, T.P., Hayya, J.C., (2006). SISCO: An object-oriented supply chain simulation system, *Decision Support Systems*, 42, 422– 434.
- Crama, Y., Pochet, Y., and Wera, Y. (2001). A Discussion of Production Planning Approaches in the Process Industry. *Core Discussion Paper*, Liège, Belgium, 37.
- De Toni, A., Caputo, M., and Vinelli, A. (1988). Production Management Techniques: Push-Pull Classification and Application Conditions. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(2), 35-51.
- Disney, S.M., Towill, D.R., (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains, *International Journal of Production Economics*, 85, 199–215.
- Fransoo J.C., (1993). Production control and demand management in capacitated flow process industries. Ph.D. thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- Frayret, J.-M., D'Amours, S., Rousseau, A., Harvey, S., Gaudreault, J. 2007. Agent-based Supply Chain Planning in the Forest Products Industry, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems (IF=0.448)*, 19(4), pp 358-391.
- Garg, A., and Tang, C. S. (1997). On postponement strategies for product families with multiple points of differentiation. *IIE Transactions*, 29(8), 641-650.
- Gaudreault J., Frayret J., Rousseau A., D'Amours S. (2006) Integrated planning and scheduling in a divergent production system with co-production: a real-time perspective. Centre CENTOR, Université Laval, Document de travail DT-2006-JMF-1, 2006 (Working paper)

- Gupta, D., and Benjaafar, S. (2004). Make-to-order, make-to-stock, or delay product differentiation? A common framework for modeling and analysis. *IIE Transactions*, 36(6), 529-546.
- Hopp, W. J., and Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(2), 133-148.
- Iannone, R., Miranda, S., Riemma, S., (2007). Supply chain distributed simulation: An efficient architecture for multi-model synchronization, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 221–236.
- Kleijnen, J.P.C. (2005) “Supply chain simulation tools and techniques: a survey”, *International Journal of Simulation & Process Modelling*, 1(1-2), 82-89.
- Labarthe, O. Espinasse, B., Ferrarini, A., Montreuil, B., (2007). Toward a methodological framework for agent-based modeling and simulation of supply chains in a mass customization context, *Simulation modeling Practice and theory*, 15 (2): 113-136.
- Lampel, J., and Mintzberg, H. (1996). Customizing customization. *Sloan Management Review*, 38(1), 21-.30.
- Lendermann, P., Gan, B.P., and McGinnis, L.F., (2001). Distributed Simulation with Incorporated APS Procedures for High-Fidelity Supply Chain Optimization. In: Peters, B.A. , Smith, J.S., Medeiros, D.J. and Rohrer, M.W. , (Eds.), *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA.
- Lévesque, Y. (2005). Twenty Five Years of Small Log Processing in Eastern Canada -A Success Story. *Forest Products Society 59th International Convention, Industry Focus Day: When Small is the Only Choice. Small Log Processing for Profitability*. June 19–22, 2005, Québec City, Canada.
- Machuca, J.A.D, Barajas, R.P., (2004). The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs, *Transportation Research Part E*, 40, 209–228.
- Maness, T.C. and Norton, S. E. (2002). Multiple Period Combined Optimization Approach to Forest Production Planning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17, 460-471.
- Moyaux T, Chaib-draa B, D'Amours S, (2004). An agent simulation model for the Quebec forest supply chain *Lecture Notes In artificial Intelligence* 3191: 226-241.
- Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics* 85(3): 319-329.

- Parunak, H.V.D., (1998). The DASCh Experience: How to Model a Supply Chain. In: Proceedings of the 4th International Conference on Cognitive Systems-ICCS'98, New Delhi, India.
- QFIC (2005). Quebec Forest Industry Council, Web site.
<http://www.qfic.qc.ca/html/english/sciage/index.php>.
- Soman, C. A., van Donk, D. and Gaalman G., (2004) Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system, *International Journal of Production Economics*, Volume 90, Issue 2, Production Planning and Control, 28 July 2004, Pages 223-235.
- Strader, T.J., Lin, F.R. and Shaw, M.J. (1998) "Simulation of order fulfillment in divergent assemble supply chains", *Journal of artificial Societies and Social Simulation*, available at <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/2/5.html>, 1998. 1(2).
- Swaminathan, J.M., Smith, S.F., and Sadeh, N.M. 1998. Modeling supply chain dynamics: A multiagent approach. *Decision Sciences* 29(3): 607-632.
- Todoroki, C. Ronnqvist, M. (2002) Dynamic control of timber production at a sawmill with log sawing optimization. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17 (1), 79-89
- Umeda, S., Jones, A., (1998). An Integrated Test-Bed System for Supply Chain Management, in Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds., December 13-16, 1998, Washington DC, USA.
- Van Horne, C. and Marier, P., (2005) The Quebec Wood Supply game: An Innovative Tool For Knowledge Management and transfer. 59th Forest Products Society Conference, Quebec, Canada. (available at http://forac.fsg.ulaval.ca/index.php?id=36&L=1&no_cache=1/)
- Zhang, C., Zhang, C.H., (2007). Design and simulation of demand information sharing in a supply chain, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 32-46.