



CIRRELT

Centre interuniversitaire de recherche
sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport

Interuniversity Research Centre
on Enterprise Networks, Logistics and Transportation

Cadre d'évaluation de la valeur de la collaboration: modélisation de la relation entre un fournisseur et son client pour le secteur des pâtes et papiers

Nadia Lehoux
Sophie D'Amours
André Langevin

Septembre 2007

CIRRELT-2007-36

Bureaux de Montréal :

Université de Montréal
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal (Québec)
Canada H3C 3J7
Téléphone : 514 343-7575
Télécopie : 514 343-7121

Bureaux de Québec :

Université Laval
Pavillon Palasis-Prince, local 2642
Québec (Québec)
Canada G1K 7P4
Téléphone : 418 656-2073
Télécopie : 418 656-2624

www.cirrelt.ca

Cadre d'évaluation de la valeur de la collaboration : modélisation de la relation entre un fournisseur et son client pour le secteur des pâtes et papiers

Nadia Lehoux¹, Sophie d'Amours^{1,3}, André Langevin^{1,2}

¹ Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-ville, Montréal, Canada H3C 3J7

² Département de mathématiques et génie industriel, École Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, succursale Centre-ville, Montréal, Canada H3C 3A7

³ Département de génie mécanique, Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, Sainte-Foy, Canada G1K 7P4

Résumé. Face au contexte économique actuel, les entreprises cherchent davantage à se regrouper et à interagir avec leurs clients ou fournisseurs, de manière à mieux coordonner leurs activités, bien échanger l'information et répondre plus adéquatement à la demande du consommateur final. Des approches collaboratives comme le « Vendor Managed Inventory » (VMI) ou le « Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment » (CPFR) sont ainsi fréquemment mises de l'avant pour faciliter l'échange de produits et d'information entre les partenaires. Dans cet article, nous proposons un cadre d'évaluation de différentes stratégies de collaboration entre un fournisseur et un client du secteur des pâtes et papiers. Pour ce contexte particulier, nous avons développé une méthodologie de résolution qui permette de comparer les divers modes de collaboration et de mesurer leur impact sur le profit des partenaires. Les expérimentations, réalisées à l'aide d'un horizon roulant pour une période de planification totale d'un an, tendent à indiquer que la méthode CPFR constitue l'approche de collaboration la plus profitable pour le cas à l'étude.

Mots-clés. Conception et pilotage des chaînes logistiques, collaboration interentreprises, contrats, relation client-fournisseur.

Remerciements. Ce travail a bénéficié d'un appui financier du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG).

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

* Auteure correspondant: nadia.lehoux@polymtl.ca

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada, 2007

© Copyright Lehoux, D'Amours, Langevin et CIRRELT, 2007

1. Introduction

Les entreprises œuvrent aujourd'hui dans un contexte économique particulier. L'effet de la mondialisation, l'émergence constante de nouvelles technologies et le développement de marchés spécialisés à l'intérieur desquels les clients ont des attentes de plus en plus élevées, forcent les entreprises à être plus agiles que jamais. Résultat, les entreprises doivent maintenant mieux s'organiser pour demeurer compétitives, ce qui amène certaines d'entre elles à miser sur une collaboration plus étroite avec leurs clients ou fournisseurs.

Ces collaborations peuvent prendre plusieurs formes, tout dépendant du but et des objectifs que les entreprises se sont fixées au départ. Par exemple, un fournisseur et son client peuvent opter pour une entente de type VMI (*Vendor Managed Inventory*), c'est-à-dire confier au fournisseur la responsabilité de gérer les stocks du client pour ses produits, de manière à faciliter le réapprovisionnement. Ils peuvent également adopter une approche de type CPFPR (*Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment*), en s'accordant sur une prévision de demande unique, dans le but de mieux planifier les besoins en marchandise pour tout le réseau (VICS, 2004). Dans tous les cas, la réussite d'une collaboration dépend directement de la coopération de chaque joueur (Simatupang et Sridharan, 2002). Il est donc essentiel de veiller à augmenter le degré d'interactivité entre les partenaires afin d'assurer la viabilité de la collaboration. Une des façons de faire consiste à mettre en place des incitatifs qui amènent chaque partenaire à prendre des décisions optimales pour tous les membres du réseau. Ces incitatifs peuvent prendre plusieurs formes : délais de livraison plus courts, flexibilité dans la quantité à commander, politique de prix, etc. (Cachon, 2003). La grande difficulté réside toutefois dans le choix de la bonne approche collaborative à mettre en place ainsi que dans les incitatifs à utiliser pour éviter tout comportement opportuniste de la part des partenaires. Ces décisions deviennent rapidement complexes, puisque les entreprises ont plusieurs clients à satisfaire, doivent opérer avec une capacité de production et de distribution limitée et ont à maintenir leur rentabilité.

Nos recherches considèrent ce problème pour un contexte industriel particulier. Plus précisément, nous cherchons à caractériser la dynamique de la collaboration entre un fournisseur de pâtes et papiers et son client. Le réseau d'affaires de ce secteur d'activités est relativement complexe en raison du processus de fabrication du papier. Alors que certaines entreprises contrôlent toutes les activités de la forêt jusqu'au consommateur final, d'autres choisissent de sous-traiter une ou plusieurs opérations. Dans tous les cas, le coût élevé de fabrication, la compétition internationale et les récentes technologies obligent les entreprises à gérer efficacement leur réseau. Afin de bien illustrer cette réalité d'affaires, nous avons donc développé différents modèles décisionnels du point de vue du fournisseur et du point de vue du client, basés sur quatre approches de collaboration : la production sur demande (MTO), le VMI, le réapprovisionnement régulier et le CPFPR. Nous avons ensuite défini une méthodologie de résolution et procédé à des expérimentations de manière à identifier l'approche collaborative la plus profitable pour les partenaires. Cet article est organisé de la façon suivante : Dans un premier temps, une revue de littérature est présentée. Par la suite, les différentes approches collaboratives étudiées et les modèles décisionnels développés sont détaillés. Une description de la méthodologie de résolution et l'expérimentation sont ensuite exposées. Une brève conclusion vient clore l'article.

2. Revue de littérature

Plusieurs auteurs se sont interrogés sur les éléments clés à déployer pour assurer une collaboration efficace et viable dans tout le réseau d'affaires. En tout premier lieu, le partage d'information a été analysé dans la littérature comme un excellent moyen pour bien coordonner les activités entre les partenaires. En effet, il arrive souvent qu'un des membres du réseau possède de l'information privilégiée à laquelle les autres joueurs n'ont pas nécessairement accès, et il peut donc choisir de la partager ou non avec les autres. C'est notamment le cas d'un détaillant qui observe les données de consommation directement au point de vente. S'il choisit de ne pas partager cette information, le manufacturier devra alors élaborer ses besoins en capacité et ses plans de production en se basant sur les commandes faites par le détaillant plutôt que sur la demande du consommateur final. Un tel comportement n'est pas sans conséquence, comme l'ont fait ressortir les auteurs Lee *et al.* dans leur étude sur l'effet coup de fouet (1997). En effet, le manque d'information sur ce qui a réellement été vendu au point de vente peut entraîner notamment des surplus de stock, une mauvaise utilisation de la capacité, un faible niveau de service, etc. Une revue des nombreuses études portant sur le partage d'information et son impact sur la coordination du réseau a d'ailleurs été présentée par Chen (2003).

Toutefois, l'échange d'information seul n'est pas suffisant pour assurer la réussite de la collaboration. Il est également nécessaire de mettre en place des pratiques d'affaires qui ont fait leur preuve et qui facilitent la synchronisation des activités. Par exemple, le *Efficient Consumer Response* ou ECR est une illustration de stratégie utilisée par le secteur agroalimentaire grâce à laquelle les partenaires collaborent étroitement afin de livrer au consommateur final le bon produit, au bon endroit, et au meilleur prix possible. Les principes du ECR sont basés sur trois concepts : la gestion de la demande (gestion par catégorie), le réapprovisionnement des produits (réapprovisionnement continu) et la technologie dédiée (EDI) (Martel, 2000). Le VMI est une autre technique développée au milieu des années 80 dans laquelle le manufacturier est responsable de la gestion des stocks chez le client pour ses produits, d'après un niveau de service attendu (Baratt et Oliveira, 2001). Une étude de cas réalisée par De Toni et Zambolo (2005) pour le secteur des appareils électroménagers a d'ailleurs démontré que l'implantation du VMI contribue à générer davantage de bénéfices que lorsque le mode de réapprovisionnement traditionnel est employé. La plus récente stratégie mise sur pied, le CPFR, a été développée pour améliorer la circulation des produits du fournisseur au consommateur final. L'idée repose sur le partage d'information tels les historiques de ventes et la disponibilité du produit, afin de mieux coordonner les activités et éliminer les surplus d'inventaire. Cette approche a aussi été développée dans le but de rapidement identifier toute différence pouvant exister dans les prévisions ou l'inventaire, de manière à corriger le problème avant qu'il n'ait un impact significatif sur les ventes ou les profits (VICS, 2004). D'ailleurs, comme Thron *et al.* (2005) l'ont démontré dans leur article, développer un partenariat basé sur le CPFR peut conduire à des bénéfices substantiels, tout dépendant du contexte à l'étude.

Ces modes de collaboration exigent de la part de chaque joueur une interaction étroite pour parvenir à l'optimisation de l'ensemble du réseau. Mais la réalité d'affaires est souvent tout autre. Il est fort possible qu'un joueur plutôt opportuniste n'agisse pas dans le sens de la collaboration ou tente d'imposer les règles du jeu. Il n'est pas rare non plus qu'une entreprise prenne des décisions par rapport aux récompenses et pénalités locales plutôt que globales (Simatupang et Sridharan, 2002). Ainsi, pour éviter que des situations conflictuelles ne viennent nuire à une bonne collaboration, il est quelquefois nécessaire d'utiliser des incitatifs comme des politiques de

prix ou des volumes garantis, afin d'encourager les joueurs à collaborer et à prendre des décisions optimales pour l'ensemble du réseau. Plusieurs auteurs se sont donc intéressés à ces incitatifs appliqués à la gestion des réseaux de création de valeur, dont Cachon (2003) qui en a d'ailleurs présenté une revue détaillée. Un premier type souvent étudié concerne le prix que le fournisseur propose au détaillant comme incitatif. Il ne permet que très rarement la coordination du système, mais il peut toutefois s'avérer efficace dans certains contextes (Cachon, 2004). Un autre type d'incitatif repose sur la politique de retour de marchandise, qui permet au détaillant de retourner une partie ou encore la totalité des articles non vendus en échange d'un crédit (voir par exemple Bernstein et Federgruen, 2005). L'incitatif avec partage du revenu amène quant à lui le détaillant à partager le revenu de la vente avec son fournisseur, moyennant un prix d'achat plus faible (voir par exemple Giannoccaro et Pontrandolfo, 2004). Avec un incitatif de type quantité flexible, le détaillant a cette fois la possibilité de réajuster sa commande suite à une meilleure connaissance de la demande (voir par exemple Tsay, 1999). Un autre incitatif concerne l'utilisation d'escomptes de quantité pour inciter le joueur à commander davantage (voir par exemple Munson et Rosenblatt, 2001). Plusieurs dérivés de chacun de ces incitatifs sont aussi étudiés, toujours dans le même but, trouver un moyen de coordonner les décisions des joueurs pour atteindre un profit optimal et assurer la durabilité de la relation.

Il est toutefois difficile d'étudier les approches collaboratives et l'utilisation d'incitatifs sans considérer l'impact qu'auront de telles mesures dans la planification de la production (Schneeweiss et Zimmer, 2004). Une entreprise qui s'engage auprès de son partenaire à prendre en charge le réapprovisionnement ou à offrir un prix partenaire doit avoir préalablement analysé sa capacité à produire, à s'approvisionner et à livrer avant de prendre ces décisions. Autrement, elle risque de ne pas être en mesure de respecter son engagement. C'est donc pour cette raison que les modèles décisionnels que nous présenterons dans les sections qui suivent incluent divers paramètres opérationnels clés, représentatifs de la réalité d'affaires.

3. Approches collaboratives et modélisation

Dans le but d'explorer différentes stratégies de collaboration et de manière à identifier un modèle d'interaction efficace pour un partenariat entre un fournisseur et son client, quatre approches ont été étudiées: le MTO, le mode VMI, le réapprovisionnement régulier et la méthode CPFR. Le *MTO* est une façon de faire plus traditionnelle et peu collaborative, mais qui est encore aujourd'hui très utilisée. Le fournisseur fabrique le produit suite à une demande du client puis l'expédie. N'ayant pas accès à la demande du consommateur final, il doit donc planifier sa production en se basant sur ce que commande le client. Le *mode VMI* est caractérisé par le fait que c'est maintenant le fournisseur qui est responsable de la gestion des stocks chez le client pour ses produits, et il doit donc veiller à conserver suffisamment de marchandise pour que le client puisse satisfaire la demande de ses propres clients. Le *réapprovisionnement régulier* permet au fournisseur de connaître à l'avance les besoins du client exprimés sous la forme d'un plan de commande couvrant plusieurs jours, et cette information doit donc être prise en compte lors de la planification. La *méthode CPFR* amène les partenaires à estimer ensemble la demande du consommateur final et à utiliser cette prévision dans la planification.

3.1 Modélisation mathématique de la collaboration

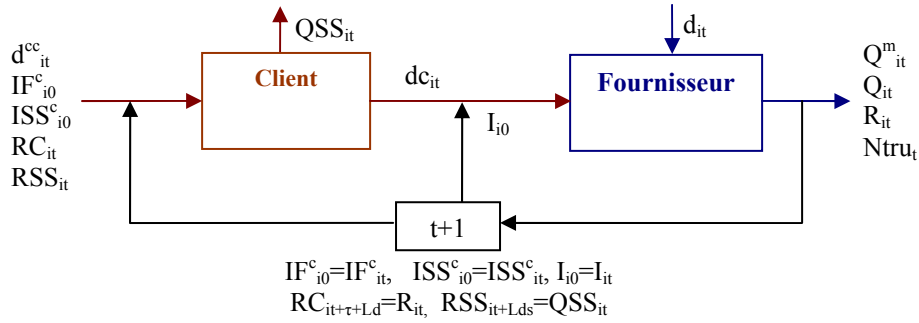
Chacune de ces approches a ensuite été modélisée à l'aide de programmes linéaires en nombres entiers reflétant l'ensemble des décisions de planification qu'auront à prendre les partenaires. Nous avons procédé de cette façon de manière à bien illustrer comment le choix du modèle de collaboration va affecter la façon de faire des partenaires et la prise de décisions. Les modèles mathématiques ont par ailleurs été développés pour représenter le contexte industriel des pâtes et papiers. Plus précisément, le cas d'étude qui nous intéresse concerne un fournisseur de pâtes et papiers qui décide d'établir une collaboration plus étroite avec un client particulier. Le fournisseur doit veiller à satisfaire la demande de son client partenaire, tout en satisfaisant la demande de ses autres clients. Il est aussi responsable de la fabrication du produit dont le procédé se résume de la façon suivante : les rouleaux de papiers sont produits à partir d'arbres ou de billes qui sont d'abord réduits en copeaux. Ces copeaux sont ensuite mélangés à de l'eau et à des produits chimiques pour obtenir une pâte. La pâte est alors transformée en rouleaux de papier jumbo, de taille telle qu'ils ne peuvent être stockés. Ils sont donc transformés en de plus petits rouleaux ou encore coupés en feuille selon les besoins. La production de ces produits intermédiaires (rouleaux jumbo) sur des machines parallèles crée un goulot d'étranglement, c'est pourquoi la capacité et le temps de mise en route doivent être pris en compte (Rizk *et al.*, 2005). Pour le reste des étapes de fabrication, on peut supposer que la capacité de production est suffisante. La capacité de distribution est toutefois limitée et correspond à un poids maximum toléré par période. De même, des stocks peuvent être présents dans le système, les demandes pour les divers produits étant très diversifiées. Le client est une sorte de marchand, c'est-à-dire qu'il achète le produit, le stock et le revend sans y apporter aucune modification. Le client peut choisir soit d'acheter de son fournisseur partenaire, soit d'acquérir la marchandise d'une seconde source d'approvisionnement.

En tout, sept modèles mathématiques ont été développés à la fois du point de vue du fournisseur et du point de vue du client, rendant ainsi possible les comparaisons et l'analyse. Les détails mathématiques de chacun des modèles sont présentés en annexe.

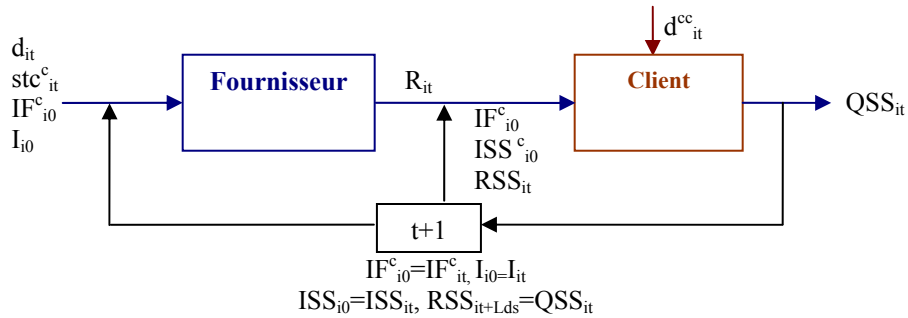
4. Méthodologie de résolution et analyse

Dans le but de comparer et d'analyser les sept modèles développés, nous avons eu recours au logiciel *AMPL Studio* ainsi qu'au solveur *Cplex* pour procéder à des expérimentations. Chaque test a été réalisé à l'aide d'un horizon roulant de deux semaines, pour une durée totale de planification d'un an. Le contexte étudié est caractérisé par une demande connue pour les sept premières périodes et estimée pour les périodes suivantes. À chaque itération, les décisions sont révisées et les données mises à jour, puis l'expérimentation recommence pour le jour suivant. Tous les paramètres utilisés à l'intérieur des modèles sont représentatifs d'un cas réel. Le profit total du système (profit fournisseur+profit client) est utilisé pour comparer les scénarios et évaluer l'impact du mode de collaboration sur la rentabilité du réseau. Puisque l'approche collaborative influence l'ordre décisionnel des joueurs, une méthodologie de résolution a dû être élaborée. Plus précisément, pour les modèles basés sur le MTO et le réapprovisionnement régulier, c'est d'abord le client qui décide quelle quantité commander de son partenaire (\mathbf{dc}_{it}) et/ou de la seconde source d'approvisionnement (\mathbf{QSS}_{it}), tout dépendant du stock initial (\mathbf{IF}_{i0}^c stock fournisseur, \mathbf{ISS}_{i0}^c stock de la 2^e source), des livraisons planifiées (\mathbf{RC}_{it} livraison du fournisseur, \mathbf{RSS}_{it} livraison de la 2^e source) et des délais offerts (τ délai de production, \mathbf{Ld} délai de livraison fournisseur, \mathbf{Lds} délai de livraison de la 2^e source). Le client doit s'assurer d'avoir suffisamment de produits en main pour satisfaire la demande du consommateur final (\mathbf{d}^{cc}_{it}). Cette information est ensuite intégrée dans le modèle fournisseur qui détermine à son tour quoi produire (\mathbf{Q}^m_{it} produits intermédiaires, \mathbf{Q}_{it} produits finis) et livrer (\mathbf{R}_{it} produits livrés, \mathbf{Ntru}_t nombre de camions), tout en tenant compte du stock disponible (\mathbf{I}_{i0}), afin de satisfaire la demande de son partenaire et de tous ses autres clients (\mathbf{d}_{it}). Pour le VMI, c'est cette fois le fournisseur qui décide d'abord combien livrer chez son partenaire d'après les prévisions de consommation de stock qu'il a en main (\mathbf{stc}_{it}^c) et le niveau de service attendu. Cette information est ensuite transmise au client qui peut dès lors prendre ses décisions (le client peut faire appel à la 2^e source d'approvisionnement si nécessaire). Dans le modèle CPF, les décisions sont optimisées simultanément, basées sur une demande conjointement estimée (\mathbf{de}^{cc}_{it}). On considère alors que le client n'achètera de la marchandise que de son fournisseur partenaire. La figure 1 résume la méthodologie de résolution élaborée.

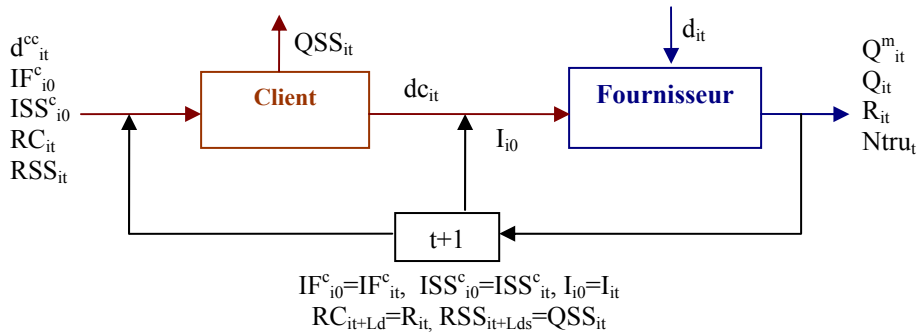
MTO



VMI



Réapprovisionnement régulier



CPFR

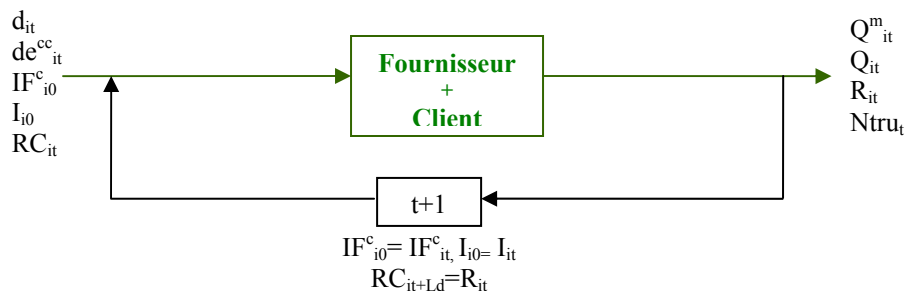


Figure 1. Méthodologie de résolution

4.1 Étude numérique

Une première étude numérique a été effectuée en considérant la demande pour vingt produits finis regroupés en quatre familles, chaque famille correspondant à un produit intermédiaire. Le fournisseur et la seconde source d'approvisionnement offre la même gamme de produits ainsi que les mêmes délais. De plus, nous avons supposé un délai de production d'une période.

Cette première étude nous a permis de dégager quelques observations. Tout d'abord, le modèle CPFR génère le profit le plus élevé, en raison d'une optimisation simultanée des coûts et des revenus des deux joueurs. Plus précisément, les coûts de transport obtenus étaient jusqu'à 18% inférieurs aux coûts de transport des autres modèles. C'est également l'approche qui parvient le mieux à minimiser le niveau de stock à l'usine. Les modèles basés sur le réapprovisionnement régulier ont permis d'obtenir le deuxième meilleur résultat, puisque le fournisseur est en meilleure position pour bien optimiser les coûts de production et le client n'a plus à payer un coût de commande à chaque période, ni à prendre en considération les délais de production et de livraison de son partenaire. Les modèles VMI et MTO ont généré le moins de bénéfice. Cette dernière observation semble plutôt singulière, puisque le modèle VMI permet en général d'obtenir de bons résultats. Pour notre part, nous avons supposé un niveau de service élevé (97%), ce qui a entraîné une quantité importante de stock à conserver dans le système et, par conséquent, un coût de stockage considérable. Il serait donc intéressant d'étudier l'ajout d'un niveau minimum de stock pour tous les autres modèles client, de manière à bien mesurer l'impact d'une telle mesure sur les profits. Le mode VMI a toutefois permis d'obtenir un gain au niveau du transport.

Nous souhaitons maintenant procéder à différentes analyses de sensibilité faisant appel à des variations de prix et à divers délais de livraison, afin d'évaluer si l'utilisation de ces incitatifs influencent ou non le comportement des joueurs. Nous désirons également étudier quelques mécanismes de partage des profits pour mieux comprendre toute la dynamique de la collaboration lorsque les joueurs adoptent des comportements altruistes ou opportunistes.

5. Conclusion

Dans cet article, nous nous sommes intéressés aux différentes approches collaboratives que mettent en place les entreprises pour mieux échanger l'information et les produits. Notre objectif était de comprendre comment le choix du modèle de collaboration affecte la façon de faire des partenaires et la profitabilité du système. Quatre approches ont été sélectionnées: le MTO, le VMI, le réapprovisionnement régulier et le CPFR. Chacune de ces approches a été modélisée mathématiquement à la fois du point de vue du fournisseur et du point de vue du client. Une méthodologie de résolution a également été établie pour l'expérimentation et l'analyse. Les paramètres et variables employés à l'intérieur des modèles ont été définis de manière à représenter un cas industriel réel. En utilisant un horizon roulant de deux semaines, divers tests ont été réalisés afin d'identifier l'approche collaborative qui génère le plus de profit.

Tous les coûts opérationnels associés à chacun des modes de collaboration ont été inclus dans la fonction de profit des deux joueurs, pour être en mesure de comparer adéquatement les modèles entre eux. Nous n'avons toutefois pas tenu compte du coût d'implantation dans notre étude actuelle. Puisque ce coût peut devenir rapidement élevé pour des stratégies avec plus

d'interaction comme le CPFR, un coût fixe pourrait être ajouté à chacune des fonctions de profit pour prendre en considération cette caractéristique.

Cet article contribue à bien illustrer les différences existant entre chacune des approches collaboratives souvent utilisées dans l'industrie. De même, la méthodologie que nous avons proposée permet d'étudier des stratégies de collaboration dans des contextes complexes jusqu'ici peu étudiés vu le manque de modèles adéquats. Les différents modèles décisionnels développés à la fois du point de vue du fournisseur et du point de vue du client nous permettent maintenant de mieux comprendre l'effet du mode de collaboration sur la prise de décisions de chaque partenaire.

6. Références bibliographiques

Baratt, M., Oliveira, A., (2001) « Exploring the experience of collaborative planning initiatives », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 31, n° 4, p. 266-289.

Bernstein, F., Federgruen, A., (2005) « Decentralized Supply Chains with Competing Retailers Under Demand Uncertainty », *Management Science*, vol. 50, n° 1, p. 18-29.

Cachon, G. P., (2003) « Supply Chain Coordination with Contracts », *Handbooks in operations research and management science*, Elsevier, vol. 11, p. 229-339.

Cachon, G. P., (2004) « The Allocation of Inventory Risk in a Supply Chain: Push, Pull, and Advanced-Purchased Discount Contracts », *Management Science*, vol. 50, n° 2, p. 222-238.

Chen, F., (2003) « Information Sharing and Supply Chain Coordination », *Handbooks in operations research and management science*, Elsevier, vol. 11, p. 341-421.

De Toni, A., F., Zamolo, E., (2005) « From a traditional replenishment system to vendor-managed inventory: A case study from the household electrical appliances sector », *International Journal of Production Economics*, vol. 96, p. 63-79.

Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., (2004) « Supply chain coordination by revenue sharing contracts », *International Journal of Production Economics*, vol. 89, p. 131-139.

Lee, H. L., Padmanabhan, V., Whang, S., (1997) « Information Distortion in Supply Chain: the Bullwhip Effect », *Management Science*, vol. 43, n° 4, p. 546-558.

Martel, A., (2000) Conception et gestion de chaînes logistiques, Département d'Opérations et de Systèmes de Décision, Université Laval.

Munson, C. L., Rosenblatt, M. J., (2001) « Coordinating three-level supply chain with quantity discount », *IIE Transactions*, vol. 33, n° 5, p. 371-385.

Rizk, N., Martel, A., D'Amours, S., (2005) « Synchronized production-distribution planning in a single-plant multi-destination network », document technique CENTOR et FORAC, Université Laval.

Schneeweiss, C., Zimmer, K., (2004) « Hierarchical coordination within the supply chain », *European Journal of Operational Research*, vol. 153, p. 687-703.

Simatupang, T. M., Sridharan, R., (2002). « The collaborative supply chain», *International Journal of Logistics Management*, vol. 13, n° 1, p. 15-30.

Thron, T., Nagy, G., Wassan, N., (2005) « The impact of various delivery prioritization strategies in heterogeneous supply chain environments », *3rd International Industrial Simulation Conference*, p. 262-268.

Tsay, A. A., (1999) «The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives», *Management Science*, vol. 45, n° 10, p. 1339-1358.

VICS, (2004) « CPFR Guidelines », <http://www.vics.org/home>.

7. Annexe

Description des ensembles

T = La longueur de la période de planification

IP = L'ensemble des produits intermédiaires

$Suci$ = L'ensemble des produits finis obtenus à partir du produit intermédiaire

FP = L'ensemble des produits finis ($FPF \cup FPS$)

FPF = L'ensemble des produits finis proposés par le fournisseur

FPS = L'ensemble des produits finis proposés par la deuxième source d'approvisionnement

M = L'ensemble des machines qui fabriquent les produits intermédiaires

Description des paramètres

t = Une période de planification

τ = Le délai de production

i = Un produit intermédiaire ou fini

CF = Facteur de conversion indiquant le nombre de produits intermédiaires à fabriquer

a_{it}^m = Taux de consommation de la capacité de production des produits intermédiaires sur la machine m à la période t

Ld = Délai de livraison du fournisseur

LdS = Délai de livraison de la deuxième source d'approvisionnement

r_i = Taux d'absorption de la ressource de transport pour les produits finis

$Tset_i^m$ = Temps de mise en route pour fabriquer le produit intermédiaire sur la machine m à la période t

d_{it} = Demande des autres clients du fournisseur pour les produits finis à la période t

d_{it}^c = Demande du client partenaire pour les produits finis à la période t

d_{it}^{cc} = Demande du consommateur final pour les produits finis à la période t

stc_{it}^c = Prévission de consommation de stock pour les produits finis du fournisseur à la période t

de_{it}^{cc} = Demande du consommateur final pour les produits finis et estimée conjointement par les partenaires à la période t

C_t^m = Capacité de production de la machine m à la période t

Cap_t = Capacité de transport d'un camion à la période t

c_{it}^m = Coût de production d'un produit intermédiaire sur la machine m à la période t

h_{it} = Coût de maintien des stocks de produits finis à l'usine à la période t

hc_{it} = Coût de maintien des stocks de produits finis chez le client à la période t

C_{tru} = Coût de transport des produits finis livrés par le fournisseur

$Cord$ = Coût de commande du client

pSS_{it} = Prix des produits finis vendus par la deuxième source d'approvisionnement à la période t

p_{it} = Prix des produits finis vendus par le fournisseur à la période t

pc_{it} = Prix des produits finis vendus par le client à la période t

M = Un grand nombre

Description des variables

π_{it}^m = Variable binaire égale à 1 si le produit est fabriqué sur la machine m à la période t , 0 autrement

ρ_{it}^m = Variable binaire égale à 1 s'il y a mise en route pour le produit sur la machine m à la période t , 0 autrement

Q_{it} = Quantité de produits finis fabriqués à la période t

Q_{it}^m = Quantité de produits intermédiaires fabriqués sur la machine m à la période t

R_{it} = Quantité de produits finis livrés par le fournisseur à la période t

RC_{it} = Quantité de produits finis provenant du fournisseur et reçus par le client à la période t

QSS_{it} = Quantité de produits finis achetés de la deuxième source d'approvisionnement à la période t

RSS_{it} = Quantité de produits finis provenant de la deuxième source d'approvisionnement et reçus par le détaillant à la période t

I_{it} = Niveau d'inventaire de fin de période à l'usine pour les produits finis à la période t

IF_{it}^c = Niveau d'inventaire de fin de période du client pour les produits du fournisseur à la période t

ISS_{it}^c = Niveau d'inventaire de fin de période du client pour les produits provenant de la deuxième source d'approvisionnement à la période t

N_{tr_t} = Nombre de camions nécessaires à la période t

δ_t = Variable binaire égale à 1 si le client partenaire commande du fournisseur à la période t , 0 autrement

δ_{SS_t} = Variable binaire égale à 1 si le client partenaire commande de la deuxième source d'approvisionnement à la période t , 0 autrement

Modèle client basé sur le MTO

$$\text{Max } \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP} d_{it}^{cc} pc_{it} - \sum_{t \in T} \text{Cord } \delta_t - \sum_{t \in T} \text{Cord } \delta_{SS_t} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} d_{it}^c p_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} QSS_{it} pSS_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} h_{it}^c IF_{it}^c - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} h_{it}^c ISS_{it}^c \quad (1)$$

sujet à

$$RC_{it} + IF_{i(t-1)}^c - IF_{it}^c = d_{it}^{cc} \quad \forall i \in FP \notin FPS; \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$RSS_{it} + ISS_{i(t-1)}^c - ISS_{it}^c = d_{it}^{cc} \quad \forall i \in FP \notin FPF; \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$RC_{it} + RSS_{it} + IF_{i(t-1)}^c + ISS_{i(t-1)}^c - IF_{it}^c - ISS_{it}^c = d_{it}^{cc} \quad \forall i \in FPF \cap FPS; \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$IF_{it}^c \leq RC_{it} + IF_{i(t-1)}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$ISS_{it}^c \leq RSS_{it} + ISS_{i(t-1)}^c \quad \forall i \in FPS; \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$d_{it}^c = RC_{i(t+\tau+Ld)} \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$QSS_{it} = RSS_{i(t+LdS)} \quad \forall i \in FPS; \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$d_{it}^c \leq M\delta_t \quad \forall i \in FP \notin FPS; \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$QSS_{it} \leq M\delta_{SS_t} \quad \forall i \in FP \notin FPF; \quad \forall t \in T \quad (10)$$

$$d_{it}^c \leq M\delta_t \quad \forall i \in FPF \cap FPS; \quad \forall t \in T \quad (11)$$

$$QSS_{it} \leq M\delta_{SS_t} \quad \forall i \in FPF \cap FPS; \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$d_{it}^c \geq 0, QSS_{it} \geq 0, RC_{it} \geq 0, RSS_{it} \geq 0, IF_{it}^c \geq 0, ISS_{it}^c \geq 0, \quad \forall i \in FPF; \quad \forall i \in FPS; \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$\delta_t, \delta_{SS_t} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T \quad (14)$$

Modèle fournisseur basé sur le MTO (similaire à Rizk *et al.*, 2005)

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} d_{it}^c p_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} d_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FP_f} h_{it} I_{it} \right] - Ctru \sum_{t \in T} Ntru_t \quad (15)$$

sujet à

$$\sum_m Q_{it}^m - \sum_{Suc_i} Q_{jt} / CF = 0 \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{IP} \pi_{it}^m \leq 1 \quad \forall m \in M; \quad \forall t \in T \quad (17)$$

$$\pi_{i(t-1)}^m + \rho_{it}^m \leq 1 \quad \forall m \in M; \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \setminus \{1\} \quad (18)$$

$$\pi_{it}^m \leq \pi_{i(t-1)}^m + \rho_{it}^m \quad \forall m \in M; \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \setminus \{1\} \quad (19)$$

$$Q_{it} + I_{i(t-1)} - I_{it} - R_{it} = d_{it} \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \cup \{0\} \quad (20)$$

$$R_{i(t+\tau)} = d_{it}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (21)$$

$$a_{it}^m Q_{it}^m + \rho_{it}^m Tset_i^m \leq C_t^m \pi_{it}^m \quad \forall m \in M; \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \quad (22)$$

$$\sum_{i \in FP_f} r_i R_{it} \leq Ctru \times Ntru_t \quad \forall t \in T \quad (23)$$

$$Q_{it}^m \geq 0 \quad \forall m \in M; \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \quad (24)$$

$$Q_{it} \geq 0, I_{it} \geq 0, Ntru_t \geq 0, R_{it} \geq 0 \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (25)$$

$$\pi_{it}^m, \rho_{it}^m \in \{0,1\} \quad \forall m \in M; \quad \forall i \in IP; \quad \forall t \in T \quad (26)$$

Modèle fournisseur basé sur le VMI

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} stc_{it}^c p_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} d_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FP_f} h_{it} I_{it} \right] - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} h_{it}^c IF_{it}^c - Ctru \sum_{t \in T} Ntru_t \quad (27)$$

sujet à (16 – 20, 22 – 26) et

$$R_{i(t-Ld)} + IF_{i(t-1)}^c - IF_{it}^c = stc_{it}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \cup \{0\} \quad (28)$$

$$s \leq IF_{it}^c \leq S \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (29)$$

Modèle client basé sur le VMI

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP} d_{it}^{cc} pc_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} RC_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} Cord \delta SS_t - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} QSS_{it} pSS_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} h_{it}^c ISS_{it}^c \quad (30)$$

sujet à (3 – 6, 8, 10, 12 – 14).

Modèle client basé sur le réapprovisionnement régulier

Similaire au modèle MTO (1-6, 8, 10, 12-14), avec contrainte (31):

$$RC_{it} = d_{it}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (31)$$

Modèle fournisseur basé sur le réapprovisionnement régulier

Similaire au modèle MTO (15-20, 22-26), avec contrainte (32):

$$R_{i(t-Ld)} = d_{it}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (32)$$

Modèle client + fournisseur basé sur le CPFR

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} de_{it}^{cc} pc_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} d_{it} p_{it} \\ & - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} h_{it}^c IF_{it}^c - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FPF} h_{it} I_{it} \right] - Ctru \sum_{t \in T} Ntru_t \end{aligned} \quad (33)$$

sujet à (16 – 20, 22 – 26) et

$$R_{i(t-Ld)} + IF_{i(t-1)}^c - IF_{it}^c = de_{it}^{cc} \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \cup \{0\} \quad (34)$$