



CIRRELT

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

Interuniversity Research Centre
on Enterprise Networks, Logistics and Transportation

Vers une approche collaborative profitable pour tous les joueurs : une application à l'industrie des pâtes et papiers

Nadia Lehoux
Sophie D'Amours
André Langevin

Octobre 2007

CIRRELT-2007-39

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

Vers une approche collaborative profitable pour tous les joueurs : une application à l'industrie des pâtes et papiers

Nadia Lehoux^{1,2*}, 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 à une compétition internationale accrue, une technologie en constante évolution et des coûts d'opération constamment à la hausse, même les entreprises des secteurs plus traditionnels comme les pâtes et papiers n'ont d'autres choix que de modifier leur façon de faire pour demeurer compétitives. En travaillant plus étroitement avec leurs fournisseurs et clients, elles pourront gérer plus adéquatement leur réseau et mettre en marché des produits qui répondent aux exigences du consommateur. Cette collaboration peut s'appuyer sur des approches collaboratives reconnues tels le CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) ou encore le VMI (Vendor Managed Inventory), mises sur pied pour assurer un échange efficace de biens et d'information entre les entreprises. Toutefois, ces approches collaboratives doivent être bien choisies selon le contexte et permettre de générer un profit maximum pour chaque joueur. Dans cet article, nous étudions différentes approches de collaboration pour le cas d'un fournisseur et de son client du secteur des pâtes et papiers. Pour ce contexte particulier, nous tentons d'identifier les approches collaboratives les plus bénéfiques pour chaque joueur et les incitatifs à mettre en place de telle sorte que l'approche choisie devienne la plus profitable pour tout le réseau.

Mots-clés. Modélisation, collaboration interentreprises, relation client-fournisseur, contrat.

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 recherches 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

Pour faire face à une concurrence internationale de plus en plus importante, une technologie qui ne cesse d'évoluer et des clients informés qui recherchent des produits d'exception, les entreprises ont dû prendre un nouveau tournant dans leur façon de faire. Au-delà d'un coût de production minimum ou d'un délai de livraison rapide, elles ont eu à adhérer à de nouveaux modèles d'affaire dans le but de créer de la valeur pour le client. Ces nouvelles façons de faire reposent notamment sur la collaboration et la coordination des activités au sein même des réseaux d'entreprises. Par un échange synchronisé de biens et d'information, les entreprises sont en mesure de mieux connaître les besoins du client et d'offrir un produit de qualité dans un délai minimum.

Ainsi, plusieurs secteurs industriels tels l'agroalimentaire, les télécommunications, et même les domaines plus traditionnels comme l'industrie des produits forestiers, ont opté pour la mise en place d'approches collaboratives reconnues afin d'augmenter la profitabilité de tout leur réseau d'affaires. Plus particulièrement, le CPFR ou *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* est une technique aujourd'hui grandement utilisée par les entreprises qui leur permet de mieux planifier les besoins en marchandise de tous les joueurs, en se basant sur une prévision de demande unique (VICS, 2004). Le VMI ou *Vendor Managed Inventory* est une autre façon de faire qui, via une gestion des stocks et du réapprovisionnement prise en charge par le fournisseur, a contribué à grandement diminuer le niveau de stock dans les réseaux. Toutefois, toute la complexité de telles approches collaboratives réside dans la façon dont les joueurs vont les mettre en place et les gérer adéquatement. Par exemple, il est fort possible qu'un des membres du réseau ne bénéficie pas autant que les autres d'une approche collaborative. Ainsi, voyant son profit diminuer par rapport à celui qu'il aurait obtenu en collaborant autrement avec ses partenaires, il risque de se retirer du réseau et chercher à s'associer avec d'autres. C'est pourquoi lorsqu'on veut mettre en place une collaboration interentreprises efficace pour un réseau à plusieurs joueurs, il est non seulement nécessaire de choisir l'approche collaborative la plus efficace selon le contexte, mais il est également essentiel de s'assurer que tous les joueurs profiteront équitablement d'une telle initiative et qu'ils n'auront donc jamais intérêt à changer de façon de faire ou de partenaire.

Dans notre étude, nous avons d'abord tenté d'identifier différentes approches collaboratives à mettre en place pour le cas d'un fournisseur et de son client dans le secteur des pâtes et papiers. Le réseau d'affaires de ce type d'industrie 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 nouvelles technologies de pointe obligent les entreprises à gérer efficacement leur réseau. C'est pourquoi nous avons voulu vérifier si la mise en place de l'une ou l'autre de ces approches, production sur demande (MTO), réapprovisionnement régulier (RR), VMI ou CPFR, facilitait la planification des opérations et générerait en bout de ligne un profit maximum du système. Nous avons ensuite cherché à voir quelle approche collaborative permettait d'obtenir le profit maximum pour chacun des joueurs et quels incitatifs pouvaient être mis en place pour faire en sorte qu'une seule approche devienne la plus profitable pour tous. Cet article est organisé de la façon suivante : dans un premier temps, une revue de littérature est exposée. Par la suite, le cas d'études et la modélisation sont détaillés. Nous présentons ensuite l'expérimentation ainsi que l'analyse effectuées. Une brève conclusion complète l'article.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

Pour que la collaboration dans un réseau d'entreprises soit synonyme de réussite, il faut d'abord qu'elle repose sur un échange régulier d'information. En effet, plus les joueurs possèdent de l'information sur ce qui est demandé, ce qui est gardé en stock, ce qui a été consommé dans les semaines précédentes, etc., plus ils sont en mesure de prendre des décisions de planification qui auront un impact global positif. Prenons par exemple le cas d'un détaillant qui observe les données de consommation directement au point de vente. Il a ainsi accès à de l'information privilégiée et il peut donc choisir de la partager ou non avec les autres. 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. Et l'on sait très bien qu'un tel comportement n'est pas sans conséquence, comme l'ont démontré notamment Lee et al. dans leur étude sur l'effet coup de fouet (1997). En fait, sans un partage soutenu d'information dans le réseau, les joueurs s'exposent à de possibles surplus ou pénuries 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).

Une fois l'information en main, il s'agit alors de l'exploiter efficacement. Pour ce faire, des approches collaboratives ont justement été développées pour favoriser la coordination des activités et la planification globale dans les réseaux. Par exemple, le ECR (*Efficient Consumer Response*) est une illustration de stratégie utilisée dans 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 qui soit. 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 fournisseur 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) dans 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 CPFRR, a été développée pour améliorer l'échange 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 le surplus de stock. Cette approche a aussi été développée dans le but de rapidement identifier toute divergence pouvant exister dans les prévisions ou l'inventaire, de manière à corriger le problème avant qu'il ait un impact significatif sur les ventes ou les profits (VICS, 2004). Les auteurs Thron et al. (2005) ont d'ailleurs démontré dans leur article que le développement d'un partenariat basé sur le CPFRR peut conduire à des bénéfices substantiels, tout dépendant du contexte à l'étude. Le CPFRR peut même s'avérer plus efficace que le VMI, spécialement lorsque la demande est variable (Cigolini et Rossi, 2006).

Toutes ces approches collaboratives ne profitent pas nécessairement également à tous les joueurs. Certains peuvent obtenir des gains importants en termes de coût de transport, pendant que d'autres verront leur niveau de stock augmenter. Le marché peut également influencer le comportement des joueurs. Un prix plus bas ou un délai de livraison plus court peut faire en sorte qu'un membre du réseau décide peu à peu de délaisser la collaboration pour travailler avec quelqu'un d'autre. Pour éviter de telles situations, il est parfois nécessaire de mettre en place des incitatifs qui vont faire en sorte qu'aucun joueur n'aura intérêt à cesser la collaboration. Plusieurs auteurs se sont d'ailleurs intéressés à ces incitatifs appliqués à la gestion des réseaux de création de valeur, dont Cachon (2003) qui en a

présenté une revue détaillée. Un premier type d'incitatif souvent étudié concerne le prix que le fournisseur propose au détaillant. 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 de 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 amener le joueur à commander davantage (voir par exemple Munson et Rosenblatt, 2001). Plusieurs autres incitatifs sont aussi étudiés, toujours dans le même but, trouver un moyen de coordonner les décisions des joueurs pour augmenter le profit et assurer la pérennité de la relation.

Le choix du mode de collaboration ou de l'incitatif à mettre en place demeure toutefois complexe. Non seulement il est nécessaire de tenir compte du contexte d'affaires dans lequel on œuvre (type de demande, particularités du produit, délais de production et de livraison, etc.), mais il est également indispensable de mesurer l'impact qu'aura une telle façon de faire sur le système (Schneeweiss et Zimmer, 2004). Dans la littérature, plusieurs auteurs ont traité la problématique à l'aide de la théorie des jeux et des équilibres de NASH (voir par exemple Cachon, 2003). Toutefois, cette méthode limite le nombre de paramètres à l'étude ou encore la longueur de la période de planification considérée. Pourtant, le choix du modèle de collaboration va affecter directement la façon dont les biens et l'information sont échangés entre les partenaires, de même que la nature de leurs décisions. Par exemple, si un fournisseur décide de prendre en charge le réapprovisionnement ou d'offrir un prix partenaire, il devra considérer sa capacité de production et de distribution, ses coûts d'opération, son délai de livraison, etc. avant de prendre une décision. Autrement, il risque de ne pas être en mesure de respecter l'entente (Kremer *et al.*, 2006). Ainsi, de manière à prendre en compte l'ensemble des paramètres opérationnels concernés par le choix d'une approche collaborative particulière, nous avons plutôt choisi d'utiliser la méthode suivante. Tout d'abord, nous avons identifié quatre approches collaboratives possibles pour le cas à l'étude. Ensuite, nous avons modélisé chacune d'entre elles à l'aide de modèles de programmation linéaires en nombre entiers qui intègrent l'ensemble des décisions de planification des deux joueurs. Nous avons dès lors procédé à des expérimentations pour identifier l'approche collaborative la plus profitable selon le contexte. Et c'est en regroupant l'ensemble des résultats obtenus que nous avons pu rechercher de possibles équilibres de NASH, c'est-à-dire une situation dans laquelle une seule approche collaborative génère le maximum de profit pour chacun des joueurs. Les sections qui suivent résument la méthode utilisée.

3. APPROCHES COLLABORATIVES ET MODÉLISATION

Afin d'étudier toute la dynamique de la collaboration entre un fournisseur de pâtes et papiers et son client et de manière à identifier un modèle d'interaction efficace pour les deux joueurs, quatre approches ont été sélectionnées : le MTO, le réapprovisionnement régulier, le VMI et le CPF. Pour chacune de ces approches, nous avons développé un modèle décisionnel du point de vue du fournisseur et un modèle décisionnel du point de vue du client, pour un total de sept modèles (la description détaillée de ces modèles se trouve dans Lehoux *et al.*, 2007). Chaque modèle a été élaboré de manière à prendre en considération toutes les caractéristiques du cas à l'étude. Plus précisément, le cas qui nous intéresse concerne un fournisseur de pâtes et papiers qui a choisi d'établir une collaboration plus étroite avec l'un de ses clients. Le fournisseur doit donc veiller à satisfaire la demande de son partenaire tout

en répondant à la demande de tous 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 finis étant très diversifiées. Le partenaire est un marchand, c'est-à-dire qu'il achète de la marchandise, la garde en stock et la revend sans y apporter aucune modification. Il peut choisir d'acquérir des produits soit du producteur partenaire, soit d'une seconde source d'approvisionnement, tout dépendant du prix et des délais offerts.

3.1. Notation mathématique

Pour chaque modèle, la notation suivante a été utilisée :

Description des ensembles

T = La longueur de la période de planification

IP = L'ensemble des produits intermédiaires

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 seconde source d'approvisionnement

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

Description des paramètres

t = Une période de planification

i = Un produit intermédiaire ou fini

d_{it} = Demande des autres clients du fournisseur 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_{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

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

$ctru$ = Coût de transport des produits finis livrés par le fournisseur

$cord$ = Coût de commande du client

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

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

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

Description des variables

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

D_{it}^c = Demande du client partenaire pour les produits finis 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 seconde source d'approvisionnement 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 seconde source d'approvisionnement à la période t

$Ntru_t$ = 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

δSS_t = Variable binaire égale à 1 si le client partenaire commande de la seconde source d'approvisionnement à la période t , 0 autrement

3.2. Modèles décisionnels

Chaque approche collaborative possède des caractéristiques distinctes. Le MTO est une méthode plutôt traditionnelle et donc peu collaborative, mais elle est encore aujourd'hui grandement utilisée dans l'industrie. 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.

D'un point de vue décisionnel, la fonction objectif du client basée sur le MTO (équation 1) permet de maximiser les revenus générés de la vente faite au consommateur final, tout en minimisant le coût d'achat, de commande et de stockage.

$$\begin{aligned} \text{Max} \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP} d_{it}^{cc} p c_{it} - \sum_{t \in T} \text{cord} \delta_t - \sum_{t \in T} \text{cord} \delta SS_t - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} D_{it}^c p_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} QSS_{it} p SS_{it} \\ - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} h_{it}^c IF_{it}^c - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} h_{it}^c ISS_{it}^c \end{aligned} \quad (1)$$

De même, la fonction objectif du fournisseur basée sur le MTO (équation 2) assure la maximisation des revenus générés des ventes faites au partenaire et aux autres clients, tout en minimisant le coût de production, de stockage et de distribution.

$$\text{Max} \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} D_{it}^c p_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FP_f} d_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FP_f} h_{it} I_{it} \right] - \text{ctru} \sum_{t \in T} Ntru_t \quad (2)$$

Le 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 celui-ci puisse satisfaire la demande de ses propres clients.

D'un point de vue décisionnel, la fonction objectif du fournisseur basée sur le VMI (équation 3) permet de maximiser les revenus anticipés de la consommation de stock faite par le client partenaire et les revenus générés de la vente faite aux autres clients, tout en minimisant le coût de production, de distribution et de stockage pour les produits conservés à l'usine, ainsi que ceux stockés chez le client.

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} stc_{it}^c p_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} d_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FPF} h_{it} I_{it} \right] - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} h_{it}^c IF_{it}^c - ctru \sum_{t \in T} Ntru_t \quad (3)$$

Pour le client, la fonction objectif basée sur le VMI (équation 4) inclut maintenant les diverses livraisons effectuées par le partenaire et prend également en considération l'accès à une seconde source d'approvisionnement si nécessaire (par exemple, si les prévisions du partenaire s'avèrent erronées et que le client n'a pas suffisamment de produits en main pour satisfaire la demande).

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} d_{it}^{cc} pc_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} RC_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} cord \delta SS_t - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} QSS_{it} pSS_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPS} h_{it}^c ISS_{it}^c \quad (4)$$

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 être prise en compte lors de la planification. Les modèles décisionnels des joueurs sont donc pratiquement les mêmes que ceux basés sur le MTO, avec ajout de nouvelles contraintes précisant que la marchandise doit être reçue à la date spécifiée dans le plan (contrainte 5).

$$RC_{it} = D_{it}^c \quad \forall i \in FPF; \quad \forall t \in T \quad (5)$$

La méthode CPFR amène les partenaires à estimer ensemble la demande du consommateur final et à utiliser cette prévision commune dans la planification. Toutes les décisions devront être prises de manière à maximiser simultanément les profits des deux joueurs. La fonction objectif basée sur le CPFR (équation 6) est donc le résultat de la combinaison des coûts et des revenus de chaque joueur. Le coût d'achat est par conséquent éliminé de l'équation, puisqu'il représente un revenu pour l'un et un coût pour l'autre.

$$Max \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} de_{it}^{cc} pc_{it} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} d_{it} p_{it} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in FPF} h_{it}^c IF_{it}^c - \sum_{t \in T} \left[\sum_{m \in M} \left[\sum_{i \in IP} c_{it}^m Q_{it}^m \right] + \sum_{i \in FPF} h_{it} I_{it} \right] - ctru \sum_{t \in T} Ntru_t \quad (6)$$

4. EXPÉRIMENTATION ET ANALYSE

Une fois les sept modèles décisionnels 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 variable 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. La demande du consommateur final concerne 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 livraison. De plus, nous avons supposé un délai de production d'une période chez le fournisseur.

Plusieurs scénarios ont été étudiés. Nous avons d'abord supposé un prix offert par le fournisseur inférieur au prix offert par la seconde source d'approvisionnement, puis comparé ce scénario avec un prix du fournisseur égal à celui offert par la seconde source d'approvisionnement. Nous avons également étudié différents délais de livraison, d'une durée de une et de deux périodes. Nous avons finalement fait la comparaison entre différents types de demande, soit une demande variable, une demande constante et une demande cumulée sur 3 et 6 jours. Pour bien comparer chaque scénario, nous avons utilisé le profit de chaque joueur ainsi que le profit total du système (profit du fournisseur + profit du client). Dans le cas du CPFR, nous avons alors dû séparer la fonction objectif de manière à obtenir le profit individuel de chacun. Les coûts de production, de transport et de stockage à l'usine ont été imputés au fournisseur, alors que les coûts de stockage en bout de chaîne ont été imputés au client. Pratiquement tous les scénarios réalisés indiquent que l'approche CPFR est celle qui génère le plus de profit pour le système (figure 1), avec des coûts de transport jusqu'à 18% inférieurs aux coûts de transport des autres modèles et des coûts de stockage jusqu'à 44% inférieurs aux coûts des autres modèles. Le VMI occupe la seconde place, grâce à des économies importantes au niveau du coût de transport (jusqu'à 17%). Le réapprovisionnement régulier et le MTO arrivent au dernier rang. Seul le scénario avec demande cumulée sur 6 jours et délai de livraison d'une période fait exception à la règle. Pour ce scénario, c'est l'approche de production sur demande qui génère le profit maximum du système, avec des coûts de stockage et de transport très similaires à ceux obtenus avec le CPFR.

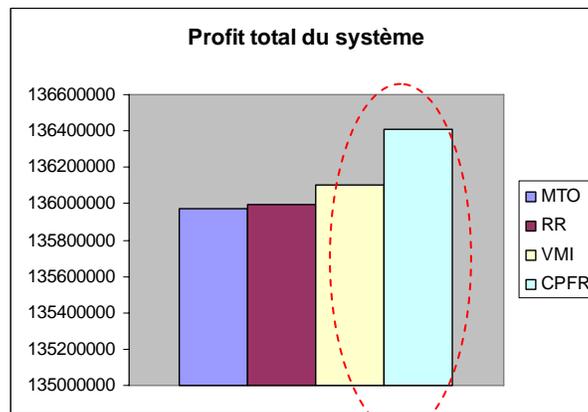


Figure 1. Profit total du système pour chacune des approches collaboratives

4.1. Recherche d'équilibres de NASH

Suite à ces observations, il devient donc intéressant de se demander si cela demeure vrai quand on regarde les profits individuels de chaque joueur. Pour ce faire, nous avons donc regroupé tous les résultats obtenus pour chaque scénario, en tentant d'identifier l'approche la plus profitable à chacun des joueurs tout dépendant du contexte. Cette première analyse nous a permis de constater que le réapprovisionnement régulier constitue l'approche la plus profitable pour le client pour tous les scénarios, alors que dans le cas du fournisseur, c'est la méthode CPFR qui génère le plus de revenu (tableau 1).

Scénario	Profit Maximum	
	Client	Fournisseur
-Délai=1 période		
-Demande variable		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande constante		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 3 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 6 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Délai=2 périodes		
-Demande variable		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande constante		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 3 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 6 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR

Tableau 1. Tableau comparatif des profits maximums de chaque joueur avec flexibilité totale

Lors de la première série de tests, nous avons supposé que pour l'approche de réapprovisionnement régulier, le client avait la possibilité de réajuster le plan de commande sans être limité, de façon à bien illustrer la réalité de notre cas d'études. Nous avons toutefois choisi de refaire l'expérience en limitant cette fois la possibilité d'ajustement du client. Plus précisément, nous avons autorisé le client à modifier le plan de commande de plus ou moins 30 % pour les sept derniers jours, sans aucune possibilité de modification pour les sept premiers jours. Les résultats alors obtenus diffèrent de notre première série de tests. En effet, en limitant la flexibilité du client pour le réapprovisionnement régulier, c'est-à-dire en imposant une contrainte sur la possibilité de modification du plan de commande, c'est maintenant le MTO qui devient l'approche collaborative la plus profitable pour le client pour tous les scénarios, à l'exception de ceux basés sur une demande constante pour lesquels le réapprovisionnement régulier demeure le plus rentable. En ce qui concerne le fournisseur, le CPFR génère encore une fois le profit maximum pour tous les scénarios (tableau 2).

Scénario	Profit Maximum	
	Client	Fournisseur
-Délai=1 période		
-Demande variable		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR
-Demande constante		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 3 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR
-Demande cumulée sur 6 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR
-Délai=2 périodes		
-Demande variable		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR
-Demande constante		
- $p_{it} < pSS_{it}$	RR	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	RR	CPFR
-Demande cumulée sur 3 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR
-Demande cumulée sur 6 j.		
- $p_{it} < pSS_{it}$	MTO	CPFR
- $p_{it} = pSS_{it}$	MTO	CPFR

Tableau 2. Tableau comparatif des profits maximums de chaque joueur avec flexibilité limitée

Puisque pour l'ensemble des tests réalisés, nous ne sommes jamais en présence d'un équilibre de NASH, c'est-à-dire une situation dans laquelle une approche collaborative particulière génère le maximum de profit pour tous les joueurs, nous avons cherché à voir comment amener un des joueurs à changer de position de manière à créer un équilibre. Plus précisément, nous avons tenté de trouver un moyen pour inciter le client à opter pour l'approche CPFR plutôt que le MTO ou le réapprovisionnement régulier. La stratégie étudiée concerne le partage des économies. En effet, le CPFR est une technique qui permet au fournisseur de faire des économies importantes en termes de transport et de stockage. Toutefois, si celui-ci n'accepte pas d'en faire également profiter son partenaire, il est clair que la collaboration ne reposera pas sur des bases gagnant-gagnant puisque le partenaire n'obtiendra jamais un profit maximal. De manière à rendre la technique CPFR profitable aux deux joueurs, il est donc nécessaire que le fournisseur offre à son client un incitatif financier suffisant de telle sorte que celui-ci obtienne davantage de revenus que si la collaboration avait été basée sur l'une ou l'autre des autres approches.

Nous avons donc cherché à voir si en réallouant les gains de stockage ou encore une partie des gains de transport obtenus de l'adoption du CPFR, il était alors possible de faire en sorte que le client n'ait plus intérêt à adopter une autre des techniques et que le fournisseur obtienne tout de même un profit plus élevé que celui obtenu avec le MTO, le réapprovisionnement régulier ou le VMI. Nous avons alors constaté qu'il est pratiquement toujours possible d'obtenir des équilibres à l'aide d'un partage des gains de transport ou de stockage selon le contexte (tableau 3). En fait, seul le scénario caractérisé par une

demande cumulée sur 6 jours avec délai de livraison de deux périodes et flexibilité totale du client ne permet pas d'obtenir d'équilibre, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de partage de revenu suffisant pour faire en sorte que les deux joueurs obtiennent le profit maximal en optant pour la méthode CPF. Toutefois, lorsque la flexibilité est plutôt limitée, un équilibre est alors possible lorsqu'il y a partage d'une partie des gains de transport.

Scénario	Équilibre de NASH		
	<i>Sans incitatif</i>	<i>Partage de 100% des gains de stockage</i>	<i>Partage de 50% des gains de transport</i>
Délai=1 période Demande variable $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande variable $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande constante $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande constante $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande cumulée 3 j. $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande cumulée 3 j. $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande cumulée 6 j. $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=1 période Demande cumulée 6 j. $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=2 périodes Demande variable $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Non	Oui
Délai=2 périodes Demande variable $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Non	Oui
Délai=2 périodes Demande constante $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=2 périodes Demande constante $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=2 périodes Demande cumulée 3 j. $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=2 périodes Demande cumulée 3 j. $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Oui	Oui
Délai=2 périodes Demande cumulée 6 j. $p_{it} < pSS_{it}$	Non	Non	Non
Délai=2 périodes Demande cumulée 6 j. $p_{it} = pSS_{it}$	Non	Non	Non

Tableau 3. Équilibres de Nash avec partage des économies, cas avec flexibilité totale

Si on fait un parallèle entre le revenu du système et le revenu de chaque joueur, on peut alors constater qu'à une seule occasion, l'ajout de ce type d'incitatif ne permet jamais d'atteindre le profit maximum du système. En effet, les tests réalisés avec une demande cumulée sur six jours et un délai de livraison d'une période montrent que le profit maximum est atteint avec le MTO, alors que les profits individuels des deux joueurs sont maximisés en adoptant le réapprovisionnement régulier (pour le client) et le CPF (pour le fournisseur). Pour un tel cas, de manière à atteindre le profit maximum du système, il s'agirait alors d'identifier un incitatif qui pousse non seulement le client, mais également le fournisseur à adopter une autre approche que celle qui leur génère le maximum de profit individuellement.

La grande difficulté dans l'utilisation de ce type d'incitatif réside toutefois dans la façon de calculer le revenu à partager entre les joueurs. En effet, dans la pratique, il n'est pas nécessairement évident de trouver un moyen efficace pour répartir équitablement les bénéfices d'un système, puisqu'il faut s'entendre sur la façon de le calculer, la période à considérer, les bases de comparaison, etc. Lors de nos prochaines expérimentations, nous tenterons donc d'identifier une méthode qui permette de calculer équitablement la répartition des revenus de manière à garantir la rentabilité aux deux joueurs.

4.2. Regard sur le cas industriel

Il est intéressant de comparer les différents résultats dégagés de notre étude avec ce qui se passe réellement dans le cas industriel. En fait, l'entreprise fournisseur a au départ établi une relation de collaboration avec son client, basée sur le réapprovisionnement régulier. Le fournisseur espérait ainsi créer un climat de confiance avec son client et établir la base d'une relation plus étroite à plus long terme. Une fois la confiance bien établie et après plusieurs mois d'interaction, les partenaires se sont peu à peu orientés vers le CPF. Ils ont alors échangé de l'information privilégiée et le partenariat est devenu davantage une collaboration. Cependant, il est intéressant de voir que, d'après nos résultats, le client ne tirera pas le profit maximum avec cette nouvelle forme de collaboration. En effet, puisque le client avait au départ une flexibilité totale dans un contexte de demande variable, une relation basée sur le réapprovisionnement régulier lui permettait d'obtenir un profit maximum, ce qui n'était toutefois pas le cas du fournisseur. Pour une relation davantage orientée vers le CPF, le fournisseur aura donc avantage à en faire profiter son client à plus long terme, via par exemple un partage des économies. Autrement, comme nous l'avons souligné dans notre étude, le client risque de se tourner peu à peu vers quelqu'un d'autre afin d'obtenir le maximum de bénéfices.

5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons cherché à étudier différentes approches de collaboration pour le cas d'un fournisseur et de son client du secteur des pâtes et papiers. Pour ce faire, nous avons d'abord élaboré sept modèles décisionnels du point de vue du client et du point de vue du fournisseur, basés sur le MTO, le réapprovisionnement régulier, le VMI et le CPF. À l'aide d'AMPL Studio et du solveur Cplex, nous avons ensuite procédé à des expérimentations en étudiant divers scénarios tels un prix du marché supérieur ou égal au prix du fournisseur, un délai de livraison plus ou moins long et plusieurs types de demande.

Les premiers tests réalisés ont montré que l'approche CPF génère le profit maximum du système pour la plupart des scénarios, avec des économies en termes de coûts de transport et de stockage. Le VMI occupe la seconde place, encore une fois grâce à des gains importants au niveau du transport. Le réapprovisionnement régulier et le MTO arrivent au dernier rang. Si on regarde ensuite le profit

individuel de chaque joueur, on constate alors que c'est l'approche de réapprovisionnement régulier qui génère le maximum de profit pour le client, alors que le CPFR génère le plus de bénéfices pour le fournisseur. Dès qu'on limite la flexibilité du client pour la relation basée sur le réapprovisionnement régulier, c'est-à-dire qu'on le restreint dans la modification du plan de commande, c'est cette fois le MTO qui devient l'approche la plus profitable. Puisque aucun équilibre du système n'est alors possible, c'est-à-dire qu'aucune approche ne génère simultanément le profit maximum pour chaque joueur, nous avons étudié l'impact de l'ajout d'un incitatif financier dans le système. Nous avons ainsi constaté qu'il est possible de créer un équilibre pour l'approche CPFR si le fournisseur partage une partie des gains en transport ou encore les gains de stockage avec son client. De cette manière, aucun des deux joueurs n'a intérêt à adhérer à une autre approche de collaboration puisque le CPFR génère le profit maximum pour chacun.

Lors de nos prochaines recherches, nous tenterons de déterminer comment développer l'incitatif financier de manière à assurer une rentabilité pour tous les joueurs et la pérennité de la relation de collaboration. Nous serons ainsi en mesure de proposer un cadre d'échange entre deux entreprises bénéfique, même dans un contexte relativement complexe avec demande variable et contraintes opérationnelles importantes.

6. RÉFÉRENCES

- Baratt, M. and A. Oliveira, 2001. Exploring the experience of collaborative planning initiatives, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4), p. 266-289.
- Bernstein, F. and A. Federgruen, 2005. Decentralized Supply Chains with Competing Retailers Under Demand Uncertainty, *Management Science*, 50(1), p. 18-29.
- Cachon, G. P., 2003. Supply Chain Coordination with Contracts, *Handbooks in operations research and management science*, Elsevier, 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*, 50(2), p. 222-238.
- Chen, F., 2003. Information Sharing and Supply Chain Coordination, *Handbooks in operations research and management science*, Elsevier, 11, p. 341-421.
- Cigolini, R. and T. Rossi, 2006. A note on supply risk and inventory outsourcing, *Production Planning & Control*, 17(4), p. 424-437.
- De Toni, A. and E. F. Zamolo, 2005. From a traditional replenishment system to vendor-managed inventory: A case study from the household electrical appliances sector, *International Journal of Production Economics*, 96, p. 63-79.
- Giannoccaro, I. and P. Pontrandolfo, 2004. Supply chain coordination by revenue sharing contracts, *International Journal of Production Economics*, 89, p. 131-139.
- Kremer, M., Schneeweiss, C. and M. Zimmermann, 2006. On the validity of aggregate models in designing supply chain contracts, *International Journal of Production Economics*, 103, p. 656-666.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V. and S. Whang, 1997. Information Distortion in Supply Chain: the Bullwhip Effect, *Management Science*, 43(4), p. 546-558.
- Lehoux, N., D'Amours, S. and A. Langevin, 2007. Collaboration and decision models for a two-echelon supply chain: a case study in the pulp and paper industry, *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2007)*, Beijing, Chine.
- Martel, A., 2000. Conception et gestion de chaînes logistiques, Département d'Opérations et de Systèmes de Décision, Université Laval.

- Schneeweiss, C. and K. Zimmer, 2004. Hierarchical coordination within the supply chain, *European Journal of Operational Research*, 153, p. 687-703.
- Simatupang, T. M. and R. Sridharan, 2002. The collaborative supply chain, *International Journal of Logistics Management*, 13(1), p. 15-30.
- Thron, T., Nagy, G. and N. Wassan, 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*, 45(10), p. 1339-1358.
- VICS, 2004. CPFR Guidelines, <http://www.vics.org/home>.