7e Conférence Internationale de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'08 - du 31 mars au 2 avril 2008 – Paris- France
« Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes : Communication, Coopération et Coordination.».

PARTAGE DES PREVISIONS DANS UNE CHAINE LOGISTIQUE A DEUX NIVEAUX

Natallia TARATYNAVA, Patrick BURLAT, Xavier BOUCHER

Centre Génie Industriel et Informatique
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne
158 cours Fauriel, 42023 Saint Etienne Cedex 2, FRANCE
taratynava@emse.fr, burlat@emse.fr, boucher@emse.fr

RESUME : *Dans cet article nous analysons un maillon élémentaire d'une chaîne logistique décentralisée à deux niveaux, composée d'un fournisseur qui gère son stock de produits intermédiaires et d'un producteur qui fabrique sur commande du marché. Nous analysons le jeu non répété avec asymétrie d'information sur le partage des prévisions entre le producteur et son fournisseur. Les résultats obtenus montrent que le producteur a tendance à exagérer les prévisions de la demande afin de garantir des réserves suffisantes de produits intermédiaires. Le fournisseur prend en compte la stratégie du producteur et ne lui fait pas confiance. Cette solution qui correspond à l'équilibre de Nash n'est pas optimale pour les deux acteurs.*

MOTS-CLES : *Chaîne logistique, Théorie des jeux non coopératifs, Gestion de stocks, Information imparfaite, Partage des prévisions*

1. INTRODUCTION

Dans une chaîne logistique, plusieurs centres de décisions interagissent. Le but de chacun est d'augmenter sa performance par rapport à ses critères locaux. L'optimisation individuelle est souvent effectuée d'une façon concurrentielle et conduit parfois à une perte d'efficacité pour l'ensemble de la chaîne et pour les entreprises qui la composent.

La théorie des jeux est un outil privilégié pour analyser les situations dans lesquelles la décision d'un acteur a une influence sur la fonction d'utilité des autres acteurs du jeu. En effet, la théorie des jeux permet de prévoir les comportements d'acteurs rationnels dans différents contextes d'interaction et d'information : situations de conflit, de dominance ou de coopération, information imparfaite ou incomplète.

Notre but dans cet article est d'étudier d'une façon analytique le fonctionnement d'un modèle simplifié d'une chaîne logistique afin de mieux comprendre les effets de décisions prises par les différents acteurs d'une chaîne logistique sur la performance globale et locale des maillons de cette chaîne. Notre objectif consiste notamment à étudier l'impact du partage d'information sur l'amélioration de la performance. Nous allons nous concentrer sur l'étude du cas de l'information asymétrique et imparfaite, pour lequel l'une des entreprises possède plus d'information et/ou de meilleure qualité que son (ses) partenaire(s) et décide ou non de partager cette information. Ce type de situation décisionnelle peut être caractérisé par des notions de propension à coopérer ou de degré de confiance sur l'information partagée. De plus nous restreignons le domaine d'étude en nous positionnant uniquement sur des décisions concernant la gestion des stocks.

Au sein d'une chaîne logistique les niveaux de stocks ont un impact important sur le contrôle des niveaux de production et des délais de livraison. Dans certains modes de gestion de production, les stocks sont en effet considérés comme nécessaires à la réduction des délais et à la robustesse de la production vis-à-vis des irrégularités et des aléas en interne ou en externe. Les travaux sur les politiques de gestion des stocks sont destinés à adapter les modèles de gestion à une structure donnée de chaîne logistique. L'objectif est de déterminer quelles sont les meilleures décisions de réapprovisionnement à prendre. Le travail de base concernant la gestion de stocks est celui de Clarck et Scarf (1960). Ils ont défini une fonction de coûts pour chaque entrepôt et pour le transport entre les entrepôts ; c'est en minimisant cette fonction que la politique de stock optimale est trouvée. C'est la politique de stock nominal (en angl. – Base Stock).

Dans cet article nous modélisons analytiquement une chaîne logistique composée d'un producteur ayant une demande aléatoire et d'un fournisseur lié par le contrat linéaire de prix de gros. Le fournisseur gère son stock suivant la politique de stock nominal. Il est seul à payer le coût de stockage pour les produits fabriqués et non vendus. Le producteur ayant une meilleure connaissance de la demande transmet l'information sur les prévisions de la demande à son fournisseur et le fournisseur décide de faire confiance à ces prévisions ou non. Cette décision influence le niveau de recomplètement choisi par le fournisseur.

Cet article est organisé comme suit. Dans le second paragraphe, nous présenterons l'état de l'art sur la coordination dans une chaîne logistique. Dans le troisième paragraphe nous introduirons le modèle étudié ainsi que les différentes notations employées. La quatrième partie présente les profits des entreprises en coopération et non coopération mutuelles. Nous présentons ensuite notre contribution dans la détermination de l'équilibre de Nash et nous comparons les solutions obtenues. Nous terminerons par des conclusions et perspectives.

2. ETAT DE L'ART

2.1. Problématique de coopération

Les jeux décisionnels que nous étudions sont en premier classés en jeux coopératifs et non-coopératifs. Les jeux non coopératifs modélisent les interactions où les agents sont libres de choisir leurs actions et où un agent rationnel cherche à maximiser ses propres avantages (mesurés par une fonction d'utilité qui correspondra dans notre cas à un profit). Les jeux coopératifs modélisent des situations où les joueurs peuvent se grouper en coalitions : les actions des joueurs doivent donc être menées conjointement pour atteindre un objectif commun (Zamir et Laraki, 1998). Une analyse des chaînes logistiques par les jeux coopératifs est par exemple présentée dans (Ling et Feiqi, 2007). Nos travaux de recherche sont au contraire orientés sur des situations de jeu non coopératives, où chaque acteur prend séparément ses décisions. En effet, cette approche présente l'avantage de bien représenter des situations décisionnelles proches de la réalité en logistique. Cependant une conséquence classique de l'aspect non-coopératif est que la performance issue d'une optimisation locale est souvent inférieure à l'optimum global.

Cela notamment été montré par Cachon et Zipkin (1999), qui ont utilisé une approche par des jeux non coopératifs pour modéliser la gestion de stock dans une chaîne logistique. Les auteurs analysent la chaîne logistique constituée d'une part d'un détaillant ayant une demande aléatoire stationnaire et d'autre part de son fournisseur. Les entreprises gèrent leurs stocks en politique de stock nominal dans laquelle une commande, qui ramène la position de stock à un niveau de recomplètement prédéterminé, est effectuée à chaque période. Le problème de chaque acteur est de trouver le niveau de recomplètement, qui minimise son coût moyen. Pour calculer l'optimum global, tous les stocks dans le système sont considérés, tandis que pour l'optimisation locale seule le stock local de chaque entreprise est pris en compte. Le jeu statique (non itéré) d'optimisation locale de niveau de stock possède un équilibre de Nash, qui n'est pas une solution optimale. Les résultats de l'optimisation globale représentent la borne inférieure pour la chaîne décentralisée.

Pour pallier cette perte de performance, des mécanismes de coordination (différents des coalitions utilisées en théorie des jeux coopératifs) peuvent être mis en place pour se rapprocher de l'optimum global. Plusieurs types de mécanismes de coordination ont déjà été étudiés, dont principalement les contrats, la coordination par VMI (Vendor Manager Inventory) et l'échange d'information.

2.2. Mécanismes de coordination

Des nombreux auteurs ont utilisé des contrats comme mécanismes de coordination pour augmenter la performance d'une chaîne logistique à décisions décentralisées. Les contrats s'adressent aussi bien à des situations mono- que multi-périodes. Ces différents types de contrats visent à coordonner la chaîne efficacement, c'est à dire à assurer non seulement que les entreprises choisissent simultanément le même niveau de production, mais que ce niveau les amène également vers la meilleure solution (i.e. optimale au sens Pareto).

Ainsi pour les contrats de rachat (Cachon, 2002) et de partage de revenu (voir par exemple Giannoccaro et Pontrandolfo, 2004), les niveaux de stock optimaux de la chaîne sont ceux qui maximisent les espérances de profits pour le donneur d'ordre et pour le fournisseur. Les auteurs montrent que ces deux contrats coordonnent efficacement la chaîne par des transferts monétaires appropriés entre les deux acteurs. Cachon et Zipkin (1999), puis Cachon (2001) ont proposé un modèle de paiement de transferts linaires qui peut augmenter la performance de la chaîne décentralisée jusqu'à celle de la chaîne centralisée.

Les contrats multi-périodes se distinguent de contrats mono-période par la possibilité de constituer un stock en fin de période. Avec les contrats multi-périodes, la chaîne est coordonnée efficacement s'il existe un niveau de recomplètement qui maximise simultanément les espérances de profit du donneur d'ordre et du fournisseur. Deux contrats principaux ont été mis en évidence pour coordonner efficacement la chaîne : les contrats de quantité flexible (voir par exemple Tsay et Lovejoy, 1999) et de rachat (Cachon, 2002).

Outre les contrats, une autre politique de coopération consiste à mettre en place entre le producteur et son fournisseur une solution de type VMI, qui consiste à confier au fournisseur la responsabilité de gérer les stocks du client pour ses produits, de manière à faciliter le réapprovisionnement. Ce dispositif est étudié par exemple dans l'article de Dong et Xu (2002) qui montrent que le VMI est toujours profitable pour le producteur à court et long terme, mais pour le fournisseur le VMI est profitable seulement sous certaines conditions. Le VMI n'augmente les profits des entreprises jusqu'au maximum que dans une chaîne logistique centralisée.

Une troisième approche de mécanismes de coordination consiste à structurer et gérer l'échange d'information entre les différents partenaires d'une chaîne logistique. En effet, dans la réalité, les partenaires logistiques n'ont pas le même niveau de connaissance de la demande du marché. Ils n'ont pas non plus accès aux autres informations, telles que les fonctions d'utilités des autres joueurs. Afin de modéliser ce type de situation la théorie des jeux utilise les notions d'information asymétrique, incomplète ou imparfaite.

Le partage de l'information a été analysé dans la littérature comme un excellent moyen pour coordonner la chaîne logistique. En effet, dans une chaîne logistique certaines entreprises possèdent plus d'information ou de l'information de meilleure qualité que les autres membres de la chaîne. C'est le cas, par exemple, d'un détaillant qui va chercher l'information sur la demande dans ses points de ventes. Il peut refuser de partager cette information avec son fournisseur ou de la modifier. Le fournisseur dans ce cas devra élaborer ses besoins en capacités et ses plans de production en se basant sur les commandes passées du détaillant. Cette situation peut amener à l'effet de coup de fouet décrit par Lee *et al* (1997).

Une revue des nombreuses études sur le partage d'information et son impact sur la coordination de la chaîne est présentée dans Chen (2003).

Dans cette catégorie, Corbett et Tang (2002) ont analysé une chaîne logistique composée d'un producteur et d'un fournisseur. Deux types de jeu sont analysés. Un jeu avec information complète et un jeu avec information incomplète, dans lequel le coût unitaire de production du producteur est inconnu du fournisseur (ce coût est une variable aléatoire pour le fournisseur). C'est en échangeant l'information sur le coût de production que les décideurs parviennent à se coordonner.

D'autres études ont analysé la coordination par échange de l'information sur les prévisions. Ainsi Cachon et Larivière (2001) ont modélisé une chaîne logistique dans lequel le producteur (le leader), qui fait face à une demande aléatoire, propose un mécanisme de commande minimale et maximale. Les auteurs ont montré que, dans le jeu avec information complète, le producteur obtient le profit du système centralisé en laissant au fournisseur un profit nul. Dans le jeu avec asymétrie d'information, quand le producteur a une meilleure connaissance de la demande, il a tendance à passer des prévisions fausses, afin d'assurer une capacité de production plus élevée (pour éviter les ruptures d'approvisionnement).

D'autres auteurs comme Corbett (2001) et Chen (2005) ont également approfondi les incitations au partage d'information. Là aussi les contrats peuvent intervenir comme dispositif d'incitation à l'échange de l'information. Ainsi Cachon (2002) montre que le contrat de prix de gros permet de révéler l'information sur la demande du marché, mais n'augmente pas les profits des entreprises jusqu'à maximum. Il montre également que le contrat d'option avec pénalité coordonne efficacement la chaîne et permet l'échange des vraies prévisions. Il reconnaît cependant que ce contrat est peu pertinent pour la réalité industrielle.

Dans ce contexte nos recherches sont positionnées sur les mécanismes de coordination par échange d'information sur les prévisions, en utilisant le contrat de prix de gros très répandu en industrie.

Ce problème a été abordé par Ren et al. (2006) qui ont étudié la chaîne logistique composée d'un détaillant et d'un fournisseur qui lui loue ses capacités. Les auteurs ont modélisé le jeu non itéré et le jeu itéré sur l'échange de prévisions de la demande. Dans le jeu non-itéré l'équilibre de Nash est sous-optimal et ne permet pas l'échange d'information fiable. Dans le jeu itéré les auteurs proposent des stratégies grâce auxquelles la coopération s'établit et les 2 joueurs peuvent augmenter leurs profit jusqu'à l'optimum. Notre approche s'appuie sur leur modèle. La différence est que nous utilisons un processus de gestion de stock au lieu de la réservation de capacité, ce qui nous permet en particulier de reporter les stocks invendus d'une période à l'autre. Cela permet également de tester différentes politiques de stock pour les acteurs multiples d'une chaîne logistique (MTS, MTO).

3. MODELE DU JEU SUR PARTAGE DES PREVISIONS

3.1. Modèle de la chaîne logistique et notations

Notre maillon logistique de référence correspond à une situation de type « vendeur de journaux ». Le problème classique du vendeur de journaux consiste en deux entreprises, verticalement liées : un donneur d'ordre (D/O) et un fournisseur (F) qui doivent répondre à une demande aléatoire sur le marché avec ventes perdues et impossibilité de stocker les invendus. Dans la résolution traditionnelle de ce modèle, le D/O doit commander une quantité de produits en sachant que ces produits ne seront plus utilisables à la fin de la période.

Dans la chaîne étudiée dans cet article le F peut stocker les produits invendus pour les vendre à la période suivante. Les objectifs du F comme du D/O sont de déterminer la quantité à avoir en stock de sortie au début de chaque période.

Nous fixons que dans notre modèle le F produit sur stock (MTS[*]) et le D/O sur commande (MTO[**]). Ainsi la

[*] MTS – make to stock. Fabrication sur stock : les produits sont stockés et ils sont vendus directement aux clients.

chaîne logistique analysée a 1 étage de stockage (chez le F). Le F gère son stock avec la politique stock nominal. Pour lui la variable de la décision est le niveau de recomplètement (N) qui maximise son espérance de profit. Le F paye le coût de stockage en cas de surplus et le D/O ne prend aucune risque de surproduction. Le F subit le coût unitaire de stockage h_s et le coût unitaire de production c_s ; le D/O paye seulement le coût de production par unité c_r. Les coûts de rupture du marché sont repartis entre le D/O et le F : b_r et b_s sont les coûts unitaires de rupture du D/O et du F resp. Le D/O vend les produits sur le marché au prix unitaire p et achète les produits intermédiaires chez F au prix unitaire r. Le D/O et le F sont liés par un contrat linéaire de prix de gros. Le fournisseur du F a un stock illimité de sortie, les délais de livraison et de passation de commande sont nuls.

Le D/O passe les prévisions de la demande à son F au temps t_1 avant la réalisation de la demande (figure 1). La demande à laquelle le D/O fait face est modélisée par une variable aléatoire $\theta{\cdot}X$, où X est une variable aléatoire non négative. θ est une variable aléatoire avec deux valeurs possibles « haute » (h) et « basse » (l) : $\theta_i, i = \{h, l\}$. La variable θ nous permet de représenter l'incertitude sur la demande du marché. La probabilité de tirage de chaque niveau de la demande est $P(\theta_l) = \alpha$, $P(\theta_h) = 1 - \alpha$, $\alpha \in]0,1[$. La distribution de probabilité est connue a priori par les 2 joueurs. La demande haute et la demande basse sont décrites par $D_h = \theta_h \cdot X$, $D_l = \theta_l \cdot X$ respectivement.

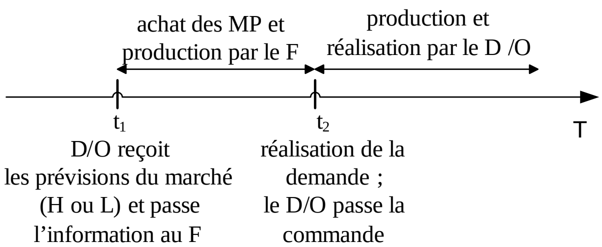

Figure 1. Échelle de temps pour la chaîne logistique MTO / MTS

Le F est plus éloigné du marché et ne peut pas avoir le même niveau de connaissances de la demande que le D/O. En conséquence la demande perçue par le F a un niveau d'incertitude supplémentaire spécifié par le bruit blanc e avec une moyenne 0 et un écart-type σ. Ainsi les demandes haute et basse que le F observe sont les variables aléatoires : $D'_i = \theta_i \cdot X + e,\ i = h, l$. D'où $Var(D'_i) > Var(D_i),\ i = h, l$. La figure 2 montre différentes flux d'information dans la chaîne.

Précisons que le D/O connaît exactement le niveau de la demande future θ_h ou θ_l (demande haute ou basse) à l'instant t_1 (figure 1) et que le F l'ignore. Cela lié au fait que le D/O est plus proche du marché final et en possède donc une meilleure connaissance que le F. En conséquence, le D/O sans savoir exactement la réalisation de la demande peut au minimum distinguer avec certitude 2 niveaux pour les prévisions des ventes.

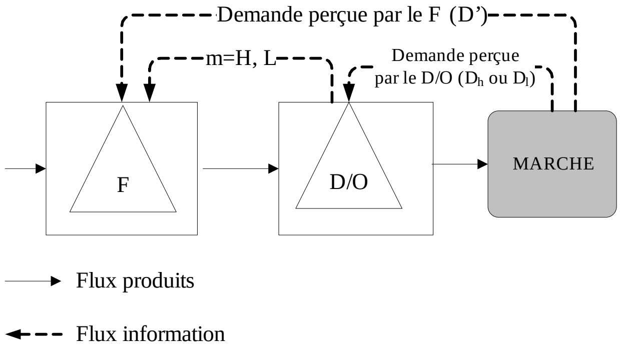

Figure 2. Flux d'information dans la chaîne logistique

3.2. Description du jeu

Le jeu commence par un tirage θ de la Nature, puis le D/O observe la valeur de θ. Ensuite il passe à son F les prévisions m : $m = H$ qui veut dire que la demande future sera haute ou $m = L$ pour la demande basse (voir figure 3).

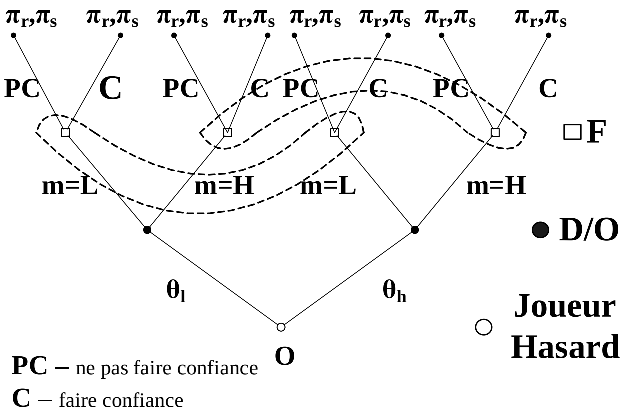

Figure 3. Arbre du jeu

La stratégie du D/O est de passer $m = H$ ou $m = L$, sachant que ce message qu'il transmet au F n'est pas nécessairement le reflet fidèle de la demande θ_i qu'il vient d'observer. En effet, si le D/O observe θ_h (resp. θ_l) et passe $m = H$ (resp. $m = L$) on dira qu'il transmet une information fiable. Si le D/O passe $m = H$ (resp. $m = L$) alors qu'il a observé θ_l (resp. θ_h), on dira qu'il transmet une information non fiable. Les stratégies du F sont aussi binaires : faire confiance (C) ou ne pas faire confiance (PC) aux prévisions du D/O. Le fait que le F a l'information imparfaite du jeu est montré par les deux ensembles d'information du F sur la figure 3. On voit que le F ne connaît pas l'état de la nature.

Apres la réalisation de la demande, le D/O passe la commande au F qui est égale à la demande réelle. La

** MTO – make to order. Fabrication à la commande : la fabrication des produits a lieu une fois qu'une commande est placée.

fonction résultat des joueurs est leurs profits : π_r pour le D/O et π_s pour le F. Le jeu et sa description sont une connaissance commune des joueurs.

C'est un jeu non coopératif, non itéré, à l'information imparfaite et asymétrique avec échange d'information de type cheap talk. (Les jeux de cheap talk différent des jeux de signaux en ce sens que le signal est non coûteux et ne rentre pas dans les fonctions des utilités des joueurs (Koessler, 2007)).

4. RESULTATS PRINCIPAUX

4.1. Profits des entreprises en coopération et en non coopération

Le profit de chaque entreprise s'écrit comme la différence entre les recettes totales et les dépenses totales. Dans le cas du D/O, la recette est réalisée par les ventes des produits sur le marché. Les dépenses du D/O, dans ce modèle, sont représentées par l'achat des produits intermédiaires chez le F, le coût de production et le coût de rupture. Dans le cas du F, la recette est le transfert financier du D/O et les dépenses sont les coûts de production, de stockage et de rupture.

Si le F fait confiance aux prévisions reçues du D/O, il aura le niveau de recomplètement correspondant aux prévisions. Cela veut dire que, si le F reçoit du D/O l'information que la demande sera haute *(m = H)* et fait confiance aux prévisions, il aura en stock de sortie la quantité N_h qui maximise son espérance de profit avec la demande du marché D'_h :

$$N_h = \arg\max_N \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N, D'_h) - c_s N - \\ h_s(N - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N)^+ \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

où $(x)^+ = \max(0, x)$

De façon similaire, si le F fait confiance aux prévisions $m = L$ du D/O, il choisira le niveau de recomplètement N_l qui maximise son espérance de profit avec la demande D'_l :

$$N_l = \arg\max_N \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N, D'_l) - c_s N - \\ h_s(N - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N)^+ \end{bmatrix} \quad . \qquad (2)$$

En revanche, si le F ne fait pas confiance aux prévisions il prendra le niveau de recomplètement N_0 :

$$N_0 = \arg\max_N \left\{ \begin{matrix} (1-\alpha)\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N, D'_h) - c_s N - \\ h_s(N - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N)^+ \end{bmatrix} + \\ \alpha\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N, D'_l) - c_s N - \\ h_s(N - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N)^+ \end{bmatrix} \end{matrix} \right\}. \qquad (3)$$

Nous désignons par « coopération mutuelle » l'issue du jeu dans laquelle le D/O passe les prévisions fiables et le F lui fait confiance. L'espérance du profit du D/O *(*π_r^**)* et l'espérance du profit du F *(*π_s^**)* en coopération mutuelle sont décrites par les formules suivantes :

$$\pi_r^* = (1-\alpha)\mathrm{E}\left[(p - r - c_r)\min(N_h, D_h) - b_r(D_h - N_h)^+\right] + \alpha\mathrm{E}\left[(p - r - c_r)\min(N_l, D_l) - b_r(D_l - N_l)^+\right]$$

$$\pi_s^* = (1-\alpha)\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_h, D'_h) - c_s N_h - \\ h_s(N_h - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_h)^+ \end{bmatrix} + \alpha\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_l, D'_l) - c_s N_l - \\ h_s(N_l - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_l)^+ \end{bmatrix}$$

Nous désignons par « non coopération mutuelle » le cas dans lequel la stratégie du D/O est de passer des prévisions non fiables et la stratégie du F est de ne pas faire confiance. Les espérances de profits des joueurs sont :

$$\pi_r^\circ = (1-\alpha)\mathrm{E}\left[(p - r - c_r)\min(N_0, D_h) - b_r(D_h - N_0)^+\right] + \alpha\mathrm{E}\left[(p - r - c_r)\min(N_0, D_l) - b_r(D_l - N_0)^+\right]$$

$$\pi_s^\circ = (1-\alpha)\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_h) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_0)^+ \end{bmatrix} + \alpha\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_l) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_0)^+ \end{bmatrix}$$

La matrice du jeu est présentée sur la figure 4. Les stratégies du D/O sont désignées par les abréviations PF/PNF – passer les prévisions fiables / non fiables, les stratégies du F par les abréviations C/PC – faire confiance / ne pas faire confiance.

		F	
		C	*PC*
D/O	*PF*	π_r*, π_s*	π_r°, π_s°
	PNF	$\pi_r(PNF_r,C_s)$, $\pi_s(PNF_r,C_s)$	π_r°, π_s°

Figure 4. Matrice du jeu

4.2. L'équilibre de Nash

L'équilibre de Nash est l'un des concepts clés dans la théorie des jeux. L'équilibre de Nash est un résultat dont aucun joueur n'a envie de dévier unilatéralement, étant données les stratégies jouées par les autres joueurs ce qui correspond à une issue stable du jeu.

Proposition 1 : L'équilibre de Nash du jeu non répété correspond à la non coopération mutuelle quand le D/O passe les prévisions non fiables ($m = H$ pour tous niveaux de la demande future) et le F ne les prend pas en compte (le F aura en stock de sortie N_0).

Preuve. Le profit du D/O est strictement croissant en N :

$$\pi_r = (1-\alpha)\mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N, D_h) - b_r(D_h - N)^+\right] + \alpha\mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N, D_l) - b_r(D_l - N)^+\right]$$

Donc, la stratégie faiblement dominante du D/O est de passer l'information $m = H$ face à n'importe quel niveau de la demande observée. Le F en réalisant la tendance du profit du D/O choisit le niveau de recomplètement $N_0 \in \left]N_l, N_h\right[$ parce que :

$$\begin{aligned}
&(1-\alpha)\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_h, D'_h) - c_s N_h - \\ h_s(N_h - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_h)^+ \end{bmatrix} + \\
&\alpha\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_h, D'_l) - c_s N_h - \\ h_s(N_h - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_h)^+ \end{bmatrix} \leq \\
&\leq (1-\alpha)\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_h) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_0)^+ \end{bmatrix} + \\
&\alpha\mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_l) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_0)^+ \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

d'après la définition de N_0 (voir l'équation 3).

Donc, l'équilibre de Nash correspond à la non coopération mutuelle. Cet équilibre est unique parce que l'autre position non éliminée par la faible domination n'est pas stable au sens de Nash, car $\pi_s° < \pi_s*$ ■

En résumé, le D/O a toujours intérêt à afficher la demande haute du marché et à avoir plus des produits en stocks chez le F et pour lesquels il ne paye pas. En se rendant compte de cette incitation du D/O, le F n'est pas capable de distinguer les vraies prévisions de la demande. Donc la meilleure stratégie du F est d'ignorer les prévisions du D/O. Ce résultat est aussi lié au fait qu'on étudie ici le jeu non-itéré dans lequel les joueurs ne sont pas inquités ni par leur réputation ni par les gains futurs. Une des perspectives est d'analyser le jeu répété dans lequel l'équilibre de Nash peut changer selon certaines conditions et nous amener vers la coopération.

4.3. La comparaison des solutions

L'équilibre de Nash est une solution stable mais qui n'est pas toujours la meilleure issue du jeu au sens de la performance des résultats obtenus par les joueurs.

Proposition 2 : Le profit du F en coopération mutuelle est égal ou supérieur à celui de l'équilibre de Nash (non coopération mutuelle).

Preuve. Avec la demande haute du marché le F gagne plus en situation de coopération :

$$\begin{aligned}
\pi_s*(D_h) &= \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_h, D'_h) - c_s N_h - \\ h_s(N_h - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_h)^+ \end{bmatrix} \geq \\
\pi_s°(D_h) &= \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_h) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_h)^+ - b_s(D'_h - N_0)^+ \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

d'après la définition de N_h et de N_0 (voir les équations 1 et 3).

Si la demande du marché est basse le F a aussi intérêt à rechercher le profit de la coopération :

$$\begin{aligned}
\pi_s*(D_l) &= \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_l, D'_l) - c_s N_l - \\ h_s(N_l - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_l)^+ \end{bmatrix} \geq \\
\pi_s°(D_l) &= \mathrm{E}\begin{bmatrix} r\min(N_0, D'_l) - c_s N_0 - \\ h_s(N_0 - D'_l)^+ - b_s(D'_l - N_0)^+ \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

d'après la définition de N_l et de N_0 (voir les équations 2 et 3). ■

Donc, le F optimise toujours son profit en coopération mutuelle.

Proposition 3 : Le D/O face à la demande haute a intérêt à rechercher le profit de la coopération mutuelle, et avec la demande basse – le profit de la non coopération.

Preuve. Comme le prix de vente du produit doit couvrir le prix d'achat du produit intermédiaire et le coût de production ($p - r - c_r > 0$) et $N_0 \in [N_l, N_h]$ les inégalités suivantes sont vérifiées :

$$\begin{aligned}
\pi_r*(D_h) &= \mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N_h, D_h) - b_r(D_h - N_h)^+\right] \geq \\
\pi_r°(D_h) &= \mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N_0, D_h) - b_r(D_h - N_0)^+\right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\pi_r*(D_l) &= \mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N_l, D_l) - b_r(D_l - N_l)^+\right] \leq \\
\pi_r°(D_l) &= \mathrm{E}\left[(p-r-c_r)\min(N_0, D_l) - b_r(D_l - N_0)^+\right]
\end{aligned}$$

■

Cette volonté du D/O de mentir pour avoir une réserve supplémentaire de stock chez le F quand la demande est basse amène les joueurs vers la situation de non coopération correspondant à l'équilibre de Nash qui s'avère toujours moins efficace pour le F et parfois pour le D/O. Compte tenu que l'équilibre de Nash est une solution stable, dans le jeu non répété les joueurs ne peuvent pas sortir de cette situation de non coopération.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article a été consacré à l'analyse du jeu entre le D/O qui fabrique à la commande et son F qui produit pour le stock et le gère en stock nominal. Dans ce jeu avec asymétrie d'information, le D/O a une meilleure connaissance de la demande et passe des prévisions fausses à son F. Le F ne fait pas confiance aux prévisions. Cette situation amène une perte d'efficacité de la chaîne.

L'extension actuelle de l'étude considère la modélisation d'une chaîne composée d'un D/O et d'un F qui produisent chacun sur stock. Ainsi le modèle aura deux niveaux de stockage. Notre but est d'une part d'analyser ces deux modèles dans le contexte du jeu répété, qui correspond mieux à la relation long terme au sein de la chaîne logistique, et d'autre part de trouver des solutions qui permettent d'augmenter la performance de l'équilibre de Nash. Notre démarche vise notamment à coupler la théorie des jeux et l'utilisation de la simulation (simulation numérique dans un premier temps) afin d'élargir les résultats obtenus analytiquement en théorie des jeux. Dans cette partie du travail, la recherche portera sur l'indentification de paramètres logistiques et de paramètres du contrat qui peuvent influencer le comportement décisionnel des joueurs, ainsi que la comparaison des résultats obtenus en régime permanent et en fonctionnement dynamique. Une des perspectives de recherches est d'élargir notre étude sur une chaîne comportant d'avantage que 2 maillons.

REFERENCES

Cachon, G. P., 1999. Competitive and cooperative inventory management in a two-echelon supply chain with lost sales. *Rapport technique*, Duke University.

Cachon, G. P., 2001. Stock wars: Inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers. *Operations Research*, 49(5), p. 658-674.

Cachon, G. P., 2002. Supply chain coordination with contracts. In S. Graves and T. de Kok, editors. *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain management*, Elsevier, Netherlands.

Cachon, G. P. and M. A. Lariviere, 2001. Contracting to assure supply : how to share demand forecasts in a supply chain. *Management Science*, 47(5), p.629-646.

Cachon, G. P. and P. H. Zipkin, 1999. Competitive and cooperative inventory policies in a two-stage supply chain. *Management Science*, 45(7), p. 936-953.

Chen, F., 2003. Information Charing and Supply chain coordination. In S. Graves and T. de Kok, editors, *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain management*.

Chen, F., 2005. Sales force incentives, market information, and production/inventory planning. *Management Science*, 51(1), p. 60-75.

Clark, A. J., and H. Scarf, 1960. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management Science*, 6(4), p. 475-490.

Corbett, C. J., 2001. Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information : Cycle stocks, safety stocks, and consignment stock. *Operations Research* , 49(4), p. 487-500.

Corbett, C. J. and C. S. Tang, 2002. Designing supply contracts: contract type and information asymmetry. *Quantitative models for supply chain management*, Kluwer.

Dong, Y. and K. Xu, 2002. A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research Part E38*, p. 75–95.

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

Koessler, F., 2007. Jeux de signaux et raffinements d'équilibre. http://frederic.koessler.free.fr/cours.htm

Lee, H. L., P. Padmanabhan and S. Whang, 1997. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), p. 546–558.

Ling, L. and D. Feiqi, 2007. Equilibrium solution of two enterprises cooperative game. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 18(2), p. 270-274.

Ren *et al*, 2006. Sharing Forecast Information in a Long-term Supply Chain Relationship. http://faculty.haas.berkeley.edu/hoteck/PAPERS/Ren.pdf

Tsay A. A. and W.S. Lovejoy, 1999. Quantity Flexibility Contracts and Supply Chain Performance. *Manufacturing & Service Operations Management*, 1(2), p. 89–111.

Zamir, S. and R. Laraki, 1998. *Cours de théorie des jeux* à l'école de Paris 1.