

ANALYSE DE L'IMPACT DES TECHNOLOGIES RFID SUR LE MODELE DU NEWSVENDOR AVEC DES STOCKS ERRONES : CAS DE DISTRIBUTIONS UNIFORMES

A. SARAC, N. ABSI, S. DAUZERE-PERES

École des Mines de Sainte-Étienne

CMP - Site Georges Charpak

880, route de Mimet

F-13541 Gardanne FRANCE

sarac@emse.fr, absi@emse.fr, Dauzere-Peres@emse.fr

RÉSUMÉ : *On s'intéresse dans cet article à deux modèles particuliers du newsvendor intégrant de nouvelles caractéristiques. Le premier modèle intègre les produits mal placés, les produits volés, périmés ou obsolètes ainsi que les ruptures de stock. Dans le second modèle, on s'intéresse au même problème intégrant des technologies d'identification par radiofréquences (RFID). Dans notre étude, l'efficacité de la technologie RFID est proportionnelle à son prix. Une étude analytique est réalisée pour les deux modèles afin de mesurer l'apport des technologies RFID dans la réduction des erreurs au niveau des stocks et calculer le coût de la technologie la plus rentable.*

MOTS-CLÉS : *newsvendor, stocks erronés, vols, produits mal placés, abîmés, périmés, RFID*

INTRODUCTION

Le problème du vendeur de journaux (Newsvendor) est un modèle analytique qui concerne particulièrement des produits saisonniers caractérisés par un cycle de vie court et une saison de vente. Le but de ce modèle est de calculer la quantité économique qui maximise le profit sous une demande probabiliste. Pour ce faire, le newsvendor doit éviter deux situations critiques qui sont le surstock et la rupture de stock. En effet, si le newsvendor se retrouve avec un surstock à la fin de la période, il est obligé de le revendre à un prix inférieur au prix d'achat. Dans le cas contraire, la demande non satisfaite est perdue et une pénalité lui est attribuée.

Depuis les travaux fondateurs de Edgeworth (Edgeworth, 1888) sur le modèle du Newsvendor, plusieurs auteurs se sont intéressés aux extensions possibles de ce dernier et aux modèles de quantité économique. En 1960, Hertz et Schaffir (Hertz et Schaffir, 1960) ont proposé un modèle qui tient compte du coût de liquidation (salvage cost) qui dépend de la quantité en stock. Suite à ces travaux, Hadley et Whitin (Hadley et Whitin, 1963) ont développé le modèle classique de Newsvendor. Plusieurs généralisations de ce modèle ont été développées ces dernières années. On peut citer les travaux de Fisher et Raman (Fisher et Ra-

man, 1996) et de Lee (Lee, 1996) sur la conception de produits et de processus, les travaux de Lee et Whang (Lee et Whang, 2002) sur le contrôle des stocks par des inventaires, et ceux de Zipkin (Zipkin, 2000), Shang et Song (Shang et Song, 2003) et Cachon *et al.* (Cachon *et al.*, 2005) sur la gestion des stocks dans une chaîne logistique centralisée et décentralisée.

Récemment, plusieurs auteurs se sont intéressés à la modélisation et à la résolution de problèmes intégrant la notion de stocks erronés. En effet, les stocks sont sujets à plusieurs types d'erreurs : erreurs de lecture, erreurs de livraison, erreurs de facturation, vols, produits mal placés, produits abîmés ou périmés... Ces erreurs entraînent à leur tour des stocks erronés, des invendus et des ruptures de stock. Sur la base d'un audit de six magasins d'une compagnie, Raman (Raman, 2000) montre que les informations sur les stocks des SKU (Stock Keeping Unit) sont erronées à 70% dans ces magasins. Cet audit consiste à inventorier le "stock physique" de chaque article et à le comparer au "stock enregistré dans le système d'information". La différence entre les deux inventaires est un des facteurs majeurs de performance et d'efficacité pour une chaîne logistique. Ce dernier peut causer, d'après Kok *et al.* (Kok *et al.*, 2005), une perte pouvant atteindre 10% du profit de l'entreprise. Ceci est du aux rup-

tures de stock, ainsi qu'à la diminution des ventes et à l'augmentation des délais de livraison.

Kang et Gershwin (Kang et Gershwin, 2004) ont proposé un modèle qui intègre les vols et qui différencie les vols internes des vols externes. Une étude d'ECR Europe (Efficient Customer Response) (Rekik, 2006) montre que les vols internes et les vols externes représentent respectivement 28% et 38% des ruptures de stock. Par ailleurs, Chappell *et al.* (Chappell *et al.*, 2003) ont identifié les causes principales des produits mal placés, on peut citer, les produits oubliés dans l'arrière boutique, les produits perdus pendant le transfert dans le magasin, les produits rangés sur un mauvais rayon, et les produits déplacés par les clients. D'après Raman *et al.* (Raman *et al.*, 2001), 16% des produits sont mal placés et par conséquent, inaccessibles aux clients. Selon les travaux de Ketzenberg et Ferguson (Ketzenberg et Ferguson, 2006), les supermarchés perdent 15% de leurs profits à cause des produits abîmés ou périmés. D'autre part, les travaux de Rekik *et al.* (Rekik *et al.*, 2006) considèrent que les mauvais placements des produits sont créés par les employés pendant le processus de remplissage des rayons (des produits oubliés dans l'arrière boutique, des produits perdus pendant le transfert, des produits rangés sur un mauvais rayon) et des produits déplacés par les clients. Pour éliminer toutes ces erreurs, les auteurs considèrent une technologie d'identification automatique "parfaite" (le taux de lecture est de 100%).

L'identification par radiofréquences, RFID (Radio Frequency Identification), une des technologies d'identification automatique, peut apporter des réponses à ces problématiques. Les RFID assurent l'identification, l'authentification et l'interaction avec les objets à distance par une communication sans contact permettant ainsi d'améliorer la traçabilité des produits, d'augmenter la visibilité de la chaîne logistique, d'éviter les ruptures de stock, de respecter les délais et ainsi améliorer la satisfaction des clients. Un système RFID contient trois composants : une étiquette (un tag) formée d'une puce reliée à une antenne; un lecteur qui émet un signal radio et reçoit en retour des réponses des étiquettes; et un middleware qui traite et filtre les données pour les envoyer enfin vers une base de données. Grâce à la possibilité de combiner différents types de puces, d'antennes, de fréquences, de lecteurs et de types d'alimentation, la qualité et le prix des technologies RFID sont très variables.

Le but de cet article est d'étudier un modèle de Newsvendor afin d'analyser l'impact économique des stocks erronés chez un détaillant de la chaîne logistique. Notre modèle concerne particulièrement un

type de produit saisonnier caractérisé par un cycle de vie court et des saisons de vente réduites. Il tient compte de trois problématiques souvent rencontrées dans la réalité ; les vols et les produits périmés ou abîmés, ainsi que les produits mal placés et les ruptures de stocks. Une des particularités de notre modèle, réside dans le fait que l'efficacité de la technologie RFID utilisée dépende du prix unitaire de l'étiquette. Le but de notre étude est d'analyser le modèle sans RFID, puis de quantifier les améliorations apportées par cette nouvelle technologie en fonction du prix d'achat. Ainsi, le but est de trouver le coût de la technologie ayant une rentabilité optimale.

Ce travail est organisé comme suit. Dans la section 1, nous présenterons un état de l'art sur les modèles du Newsvendor, sur l'intégration des erreurs dans la gestion de stock et un aperçu sur l'intégration des technologies RFID à ces problématiques. Dans la section 2, nous présenterons les problèmes traités; deux cas seront abordés, le premier problème intègre les vols, les produits mal placés et les ruptures, le second intègre également les technologies RFID. Nous analyserons ensuite les résultats analytiques des deux approches. Enfin, des conclusions et des perspectives seront présentées.

1. ÉTAT DE L'ART

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la généralisation du modèle classique du newsvendor pour plusieurs produits ou plusieurs périodes. Silver et Peterson (Silver et Peterson, 1998) ont proposé un modèle de newsvendor à plusieurs produits sous contraintes de budget. Les auteurs ont développé une méthode basée sur la relaxation Lagrangienne pour le résoudre. Pour un état de l'art détaillé des problèmes de newsvendor à un seul produit et une seule période, le lecteur peut se référer à (Khouja, 1999).

L'utilisation des technologies d'identification automatique pour la résolution des problèmes liés aux stocks erronés a déjà été abordé par plusieurs auteurs. Kang et Gershwin (Kang et Gershwin, 2004) ont étudié un modèle de gestion de stock à un seul produit suivant une règle de réapprovisionnement (Q, R) . Ils ont montré à travers leurs approches, analytique et de simulation, que même un petit pourcentage de perte non détecté au niveau des stocks pouvait perturber les réapprovisionnements et entraîner des ruptures de stock. Les pertes de profit dues aux ruptures de stock peuvent être beaucoup plus grandes que celles dues aux pertes au niveau des stocks. D'autre part, cette constatation est plus accentuée quand on est face à des environnements caractérisés par des délais d'exécution courts et de petites quantités économiques. Les auteurs ont proposé une alter-

native à l'utilisation des technologies d'identification automatique. En effet, leurs études démontrent que le problème des erreurs au niveau des stocks peut, dans quelques cas, être traité sans introduire une technologie d'identification automatique. Fleisch et Tellkamp (Fleisch et Tellkamp, 2005) ont étudié le rapport entre l'inexactitude des stocks et la performance d'une chaîne logistique au niveau du détaillant. Ils ont simulé une chaîne logistique à trois échelons avec un seul produit. Dans un premier modèle ils ont observé que sans l'alignement du stock physique et du stock du système d'information, l'information sur les stocks devient imprécise à cause des vols, des produits mal placés et des produits abîmés ou périmés. Dans le second modèle, les causes d'erreurs sont toujours présentes mais des inventaires sont effectués à la fin de chaque période. Ainsi, le stock du système d'information est aligné au stock physique. Les résultats du second modèle montrent une réduction des coûts de la chaîne logistique aussi bien que des ruptures de stock. Les auteurs se sont intéressés également aux technologies d'identification automatique. D'après eux, les erreurs rencontrées au niveau des stocks peuvent être éliminées en utilisant ces nouvelles technologies. Gaukler (Gaukler, 2005) a étudié les apports des technologies RFID dans une chaîne logistique aux niveaux : stratégique, tactique et opérationnel. Il a développé des approches analytiques afin d'analyser le coût de la technologie RFID ainsi que le profit engendré. L'auteur montre que le coût de la technologie RFID peut être partagé par tous les acteurs de la chaîne logistique. Il s'est intéressé également à l'utilisation des technologies RFID pour améliorer les politiques de contrôle des stocks. Il s'est intéressé plus particulièrement à l'utilisation des informations récoltées grâce à cette technologie pour l'amélioration des réapprovisionnements des stocks.

Récemment, plusieurs auteurs se sont intéressés au problème du newsvendor intégrant la notion de stocks erronés. Il est souvent mentionné dans la littérature que détenir une information fiable sur la demande et sur les stocks peut mener à des prévisions de vente précises pour une saison entière. Fisher *et al.* (Fisher *et al.*, 1996) ont montré, à travers une étude menée dans le domaine de l'industrie textile, que les erreurs de prévisions de la demande étaient de 8% sur une observation de seulement 11% des demandes.

Dans un article récent, Sahin *et al.* (Sahin *et al.*, 2007) ont étudié le modèle du newsvendor intégrant les informations sur les stocks. Dans ce modèle, un système de code à barres est utilisé pour la capture d'informations dans le stock. Les auteurs ont dérivé analytiquement une politique optimale en présence d'erreurs quand la demande et les erreurs sont uniformément distribuées. Des résultats numériques mon-

trient l'impact des stocks erronés sur les performances d'un maillon de la chaîne logistique. Les auteurs ont également évoqué les technologies d'identification automatique comme étant une technologie idéale pouvant éliminer toutes ces erreurs.

Par ailleurs, Sahin (Sahin, 2004) s'est intéressé aux apports que peuvent avoir les technologies RFID dans une chaîne logistique, plus particulièrement aux réductions d'erreurs au niveau des stocks. L'auteur s'est particulièrement intéressé au modèle du newsvendor afin d'évaluer les impacts économiques.

Suite à ce travail, Rekik et Rekik *et al.* (Rekik, 2006), (Rekik *et al.*, 2006) se sont intéressés à des problématiques proches. Les auteurs ont analysé les stocks erronés dans un modèle de newsvendor ainsi qu'à l'utilisation d'une technologie d'identification automatique idéale. Ils ont classé les causes des stocks erronés en cinq groupes : les erreurs de transaction, les produits mal placés, les vols, les produits abîmés ou périmés et les erreurs d'approvisionnement. Pour chaque type d'erreur ils ont proposé un modèle de newsvendor dans une chaîne logistique centralisée et décentralisée. Ils ont développé des analyses économiques afin de comprendre les effets de ces erreurs ainsi que les apports d'une technologie d'identification automatique. Dans ces travaux, cette technologie est également considérée comme idéale.

Notre approche est une généralisation des travaux de Rekik *et al.* (Rekik *et al.*, 2006). Dans un premier modèle, nous nous intéressons au problème du newsvendor intégrant les produits mal placés, les produits volés, périmés ou obsolètes ainsi que les ruptures de stock. L'originalité de notre premier modèle par rapport à celui traité par Rekik *et al.* (Rekik *et al.*, 2006) est la prise en compte conjointe des produits mal placés et des produits volés, abîmés ou périmés ainsi que l'intégration des coûts de pénalité des ruptures de stock. Dans le second modèle, nous traitons le même problème en intégrant des technologies RFID. Dans ce modèle, la technologie RFID n'est pas considérée comme parfaite, contrairement aux travaux rencontrés dans la littérature.

2. MODÉLISATION

Nous allons décrire dans cette partie deux modèles particuliers du newsvendor qui intègrent les nouvelles caractéristiques introduites précédemment. Le premier modèle intègre les produits mal placés, les produits volés, périmés ou obsolètes ainsi que les ruptures de stock. Dans le second modèle, on s'intéresse au même problème intégrant des technologies d'identification automatique.

2.1. Premier Modèle (Intégration des erreurs et des ruptures de stock)

Le premier modèle est une généralisation du problème du newsvendor classique. En début de saison, le vendeur achète le produit à un prix unitaire C_u pour le revendre à un prix unitaire C_r . Si la quantité Q commandée en début de période n'est pas suffisante pour satisfaire la demande stochastique D , la demande non satisfaite est considérée comme perdue et une pénalité unitaire C_p lui est associée. Dans le cas contraire, si la quantité commandée est supérieure à la demande, les produits disponibles à la fin de la période sont liquidés à un prix unitaire $C_s \leq C_u$.

Par ailleurs, tout au long de la saison, une partie du stock est inaccessible et ne peut être mise à la vente. Cette quantité représente des produits mal placés ainsi que des produits volés, périmés ou abîmés. C'est un pourcentage $(1 - \theta)$ de la quantité commandée. θQ représente donc les produits disponibles à la vente. A la fin de la saison, une partie des produits inaccessibles est retrouvée, elle représente les produits mal placés. Ces produits sont soldés au prix unitaire de C_s . La partie non retrouvée représente les produits volés, périmés ou abîmés. Elle représente $\beta\%$ des produits qui étaient inaccessibles. Le but de ce modèle est de maximiser le profit en tenant compte des différents paramètres précédemment introduits.

2.1.1. Notations

Les notations utilisées dans cette partie sont :

- Q : Quantité de commande
- Q^* : Quantité économique de commande
- π : Profit, π^* : Profit optimal
- D : Demande
- f : Densité de probabilité de la demande
- F : Fonction de répartition de la demande
- U_D : Borne supérieure de la demande
- L_D : Borne inférieure de la demande
- θ : Taux de la disponibilité
- μ_θ : Moyenne de θ
- σ_θ : Ecart type de θ
- U_θ : Borne supérieure de θ
- L_θ : Borne inférieure de θ
- g : Fonction densité de θ
- β : Taux de vols et des produits abîmés ou périmés
- μ_β : Moyenne de β
- σ_β : Ecart type de β
- U_β : Borne supérieure de β
- L_β : Borne inférieure de β
- C_r : Prix de vente unitaire
- C_u : Prix d'achat unitaire
- C_s : Prix de liquidation unitaire
- C_p : Coût de pénalité unitaire

2.1.2 Analyse de l'approche 1

Le profit peut être décomposé en quatre parties, le revenu réalisé par les produits vendus pendant la saison, celui réalisé par les liquidations à la fin de la saison, la pénalité relative aux ruptures de stock, et enfin, le prix d'achat en début de saison. Le profit peut donc être exprimé par la fonction suivante :

$$\begin{aligned} \text{Profit} &= C_r \text{Min}(D, \theta Q) \\ &+ C_s(Q - \beta(1 - \theta)Q - \text{Min}(D, \theta Q)) \\ &- C_p \text{Max}(D - \theta Q, 0) - C_u Q \quad (1) \end{aligned}$$

Le profit peut être aussi exprimé par :

$$\begin{aligned} \text{Profit} &= C_r D - (C_r + C_p) \text{Max}(D - \theta Q, 0) \\ &+ C_s \text{Max}(\theta Q - D, 0) \\ &+ C_s Q(1 - \theta)(1 - \beta) - C_u Q \quad (2) \end{aligned}$$

Le profit exprimé par l'équation (2) se décompose en cinq parties. La première partie représente le revenu réalisé par la demande. La deuxième partie représente la perte quand on est en situation de rupture de stock. La troisième partie correspond au profit réalisé par la vente du surstock à la fin de la saison. La quatrième partie représente le profit réalisé par la vente des produits mal placés et retrouvés à la fin de la saison. La dernière partie est le coût d'achat des produits en début de saison. En considérant les paramètres probabilistes de notre modèle, le profit peut être exprimé par la fonction suivante :

$$\begin{aligned} \pi(Q) &= C_r \mu_D \\ &- (C_r + C_p) \int_{\theta=L_\theta}^{U_\theta} \int_{D=\theta Q}^{\infty} (D - \theta Q) f(D) g(\theta) dD d\theta \\ &+ C_s \int_{\theta=L_\theta}^{U_\theta} \int_{D=0}^{\theta Q} (\theta Q - D) f(D) g(\theta) dD d\theta \\ &+ (C_s - C_u)Q - C_s Q(\mu_\beta + \mu_\theta - \mu_\theta \mu_\beta) \quad (3) \end{aligned}$$

En utilisant les propriétés des fonctions de densité et des fonctions de répartition et en reformulant l'équation (3), on obtient la fonction suivante :

$$\begin{aligned} \pi(Q) &= -C_p \mu_D + (C_r + C_p - C_s) \mu_\theta Q \\ &+ (C_r + C_p - C_s) \int_{\theta=L_\theta}^{U_\theta} \int_{D=0}^{\theta Q} D f(D) g(\theta) dD d\theta \\ &- (C_r + C_p - C_s) Q \int_{\theta=L_\theta}^{U_\theta} \theta F(\theta Q) g(\theta) d\theta \\ &+ (C_s - C_u)Q - C_s Q(\mu_\beta - \mu_\theta \mu_\beta) \quad (4) \end{aligned}$$

Notre objectif est trouver la quantité économique de commande Q^* qui maximise le profit exprimé par la fonction (4). En effet, la fonction $\pi(Q)$ est concave. (Une fonction f deux fois dérivable est strictement concave si et seulement si $f'' < 0$.) Il existe donc une valeur de Q qui maximise la fonction du profit ($\pi(Q)$)(4). Cette quantité représente le point où la dérivée de la fonction $\pi(Q)$ s'annule ($\pi'(Q^*) = 0$). En dérivant la fonction $\pi(Q)$, on obtient :

$$\begin{aligned} \pi'(Q) &= (C_r + C_p - C_s)\mu_\theta - C_s(\mu_\beta - \mu_\theta\mu_\beta) \\ &- (C_r + C_p - C_s) \int_{\theta=L_\theta}^{U_\theta} \theta F(\theta Q) g(\theta) d\theta \\ &+ (C_s - C_u) \end{aligned} \quad (5)$$

En posant ($\pi'(Q^*) = 0$), nous obtenons la quantité économique de commande Q^* :

$$\begin{aligned} \int_{L_\theta}^{U_\theta} \theta F(\theta Q^*) g(\theta) d\theta &= \mu_\theta - \frac{C_s(\mu_\beta - \mu_\theta\mu_\beta)}{C_r + C_p - C_s} \\ &- \frac{C_u - C_s}{C_r + C_p - C_s} \end{aligned} \quad (6)$$

Dans ce qui suit, nous traitons deux cas. Dans le premier cas, nous considérons la disponibilité comme étant déterministe. Dans le second cas, la disponibilité est considérée stochastique, suivant une loi uniformément distribuée.

Les densités de probabilité de la demande et de la disponibilité sont données par les fonctions suivantes :

$$f(x) = \begin{cases} 1/(U_D - L_D) & \text{si } L_D \leq D \leq U_D \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (7)$$

$$g(\theta) = \begin{cases} 1/(U_\theta - L_\theta) & \text{si } L_\theta \leq \theta \leq U_\theta \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (8)$$

D'autre part la fonction de répartition de la demande est donnée par :

$$F(D) = \begin{cases} 0 & \text{si } D \leq L_D \\ \frac{D-L_D}{U_D-L_D} & \text{si } L_D \leq D \leq U_D \\ 1 & \text{sinon} \end{cases} \quad (9)$$

En supposant que $\mu_\beta = 0$ et que $C_p = 0$, nous obtenons le modèle étudié par Rezik *et al.* (Rezik *et al.*, 2006).

2.1.2.1. Cas déterministe

Dans cette partie, la disponibilité est considérée déterministe, c'est-à-dire :

$$\begin{cases} \theta = \mu_\theta \\ \sigma_\theta = 0 \end{cases} \quad (10)$$

En substituant les paramètres de l'équation (10) dans la fonction (6), nous obtenons l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \mu_\theta F(\mu_\theta Q^*) &= \mu_\theta - \frac{C_s(\mu_\beta - \mu_\theta\mu_\beta)}{C_r + C_p - C_s} \\ &- \frac{C_u - C_s}{C_r + C_p - C_s} \end{aligned} \quad (11)$$

En remplaçant la fonction de répartition donnée par l'équation (9) dans l'équation (11), nous obtenons la quantité économique de commande suivante :

$$Q^* = \begin{cases} \frac{U_D}{\mu_\theta} - \frac{(U_D - L_D)(C_s(\mu_\beta - \mu_\theta\mu_\beta) + C_u - C_s)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_\theta)^2}, & \\ \text{si } \mu_\theta \geq \frac{C_s \mu_\beta + C_u - C_s}{C_r + C_p - C_s + C_s \mu_\beta} & \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (12)$$

Le profit optimal est donc donné par la fonction suivante :

$$\pi(Q^*) = \begin{cases} 0 & \text{si } \mu_\theta \leq \frac{C_s \mu_\beta + C_u - C_s}{C_r + C_p - C_s + C_s \mu_\beta} \\ (C_r + C_p - C_s) \int_0^{\mu_\theta Q^*} D f(D) dD - C_p \mu_D & \\ \text{sinon} & \end{cases} \quad (13)$$

Nous illustrons à travers cet exemple les variations de la quantité économique de commande et le profit optimal quand la demande suit une loi uniforme et que la disponibilité des produits est déterministe.

La figure 1 représente la variation de la quantité économique de commande en fonction du taux de disponibilité des produits et ceci, pour différents taux d'erreurs dues aux vols et aux produits abîmés et périmés. Les paramètres utilisés pour cette figure sont les suivants : $C_r=100$ Euros, $C_u=40$ Euros, $C_p=10$ Euros, $\mu_D=10$, $\sigma_D=3$ et $C_s=30$ Euros.

La quantité économique est nulle pour des taux de disponibilité μ_θ proche de zéro. En effet, les petites

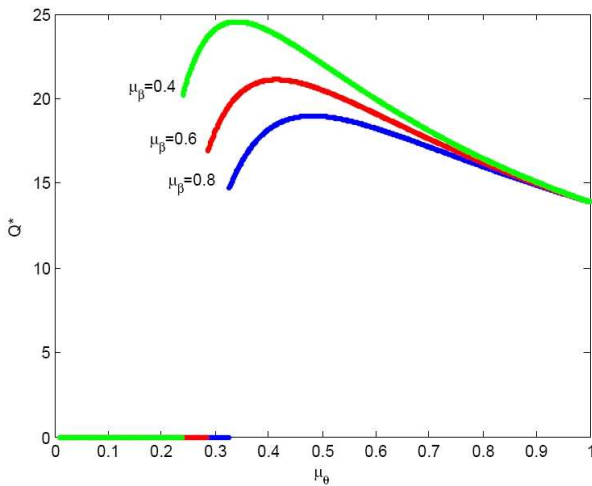


Figure 1: Variation de Q^* en fonction de μ_θ pour différentes valeurs de μ_β

valeurs de μ_θ peuvent causer une rupture de stocks car les clients ne peuvent accéder qu'à peu de produits. La quantité économique est croissante quand μ_θ augmente (moins de pertes) et atteint son maximum (fonction concave de μ_θ) en μ'_θ . Elle est ensuite décroissante, puisque l'augmentation de μ_θ entraîne une disponibilité chez le vendeur, ce qui peut constituer des surstocks.

Nous observons que la quantité économique de commande est inversement proportionnelle au vol et aux produits abîmés et périmés. Ceci peut s'expliquer par le fait que la quantité perdue dépend de μ_β et de Q .

La figure 2 présente la variation du profit optimal en fonction du taux de disponibilité des produits pour différents prix de liquidation. Les paramètres de la figure sont fixés comme suit : $C_r=100$ Euros, $C_u=40$ Euros, $C_p=10$ Euros, $\mu_D=10$, $\sigma_D=3$ et $\mu_\beta=0.5$.

A partir de la figure 2, nous remarquons que le profit est strictement croissant en fonction des quantités disponibles à la vente. Par ailleurs, le profit est proportionnel au coût de liquidation.

2.1.2.2. Cas stochastique

Dans cette partie nous supposons que la disponibilité θ est stochastique et suit une loi uniforme, avec un écart-type σ_θ et une moyenne μ_θ . L_θ et U_θ représentent respectivement la borne inférieure et la borne supérieure. Nous supposons dans cette partie que les bornes de la disponibilité sont comprises entre les bornes de la demande, c'est-à-dire que :

$$L_D \leq L_\theta Q^* \leq U_\theta Q^* \leq U_D \quad (14)$$

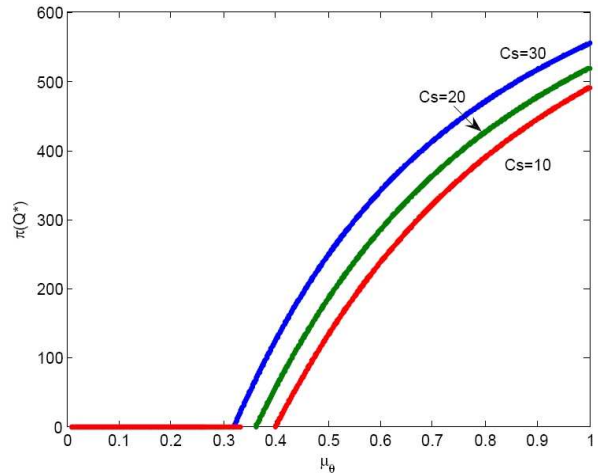


Figure 2: Variation du profit optimal en fonction de μ_θ pour différentes valeurs de C_s

Les résultats suivants peuvent être généralisés à d'autres configurations des bornes de disponibilité.

En remplaçant la densité de probabilité de la disponibilité $g(\theta)$ (donnée par l'équation 8) dans l'équation 6, nous obtenons la quantité économique de commande suivante :

$$Q^* = \begin{cases} 0 & \text{si } \mu_\theta \leq \frac{C_s \mu_\beta + C_u - C_s}{C_r + C_p - C_s + C_s \mu_\beta} \\ \frac{U_D \mu_\theta}{\mu_\theta^2 + \sigma_\theta^2} - \frac{(U_D - L_D)(C_s(\mu_\beta - \mu_\theta \mu_\beta - 1) + C_u)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_\theta^2 + \sigma_\theta^2)} & \text{sinon} \end{cases} \quad (15)$$

En remplaçant cette quantité économique dans l'équation 4, nous obtenons le profit optimal pour le cas stochastique, celui-ci est exprimé par l'équation suivante :

$$\text{Si } \mu_\theta \geq \frac{C_s(\mu_\beta - \mu_\theta \mu_\beta - 1) + C_u}{C_r + C_p - C_s} \quad ,$$

$$\begin{aligned} \pi(Q^*) &= (C_r + C_p - C_s) \int_{\theta=U_\theta}^{U_\theta} \int_{D=0}^{\theta Q^*} D f(D) g(\theta) dD d\theta \\ &\quad - C_p \mu_D \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{Sinon } \pi(Q^*) = 0.$$

Dans la figure 3, nous illustrons la variation de Q^* en fonction de σ_θ pour différentes valeurs de μ_θ . Les paramètres de la figure sont fixés comme suit : $C_r=100$ Euros, $C_u=40$ Euros, $C_p=10$ Euros, $\mu_D=10$, $\sigma_D=3$, $C_s=30$ Euros et $\mu_\beta=0.5$.

Nous remarquons que la quantité économique de commande diminue avec l'augmentation de l'écart type

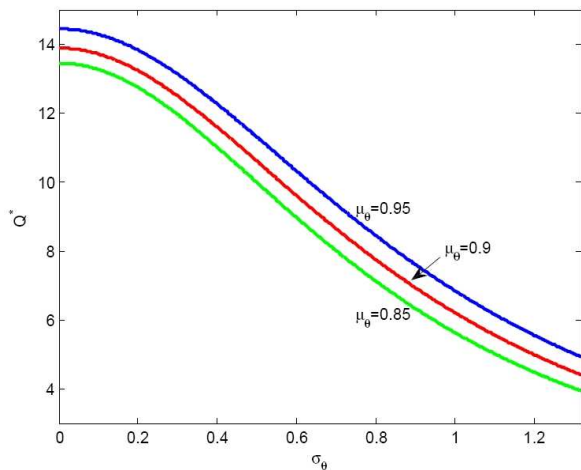


Figure 3: Variation de Q^* en fonction de σ_θ pour différentes valeurs de μ_θ

du taux de disponibilité des produits. Nous constatons également que la quantité économique de commande croît quand la moyenne de la disponibilité augmente. L'intervalle réduit de σ_θ ($[0,1.3]$) s'explique par l'équation 14.

La figure 4 représente la variation du profit optimal en fonction de l'écart type du taux de disponibilité des produits. Nous utilisons les paramètres de la figure 3 avec $\mu_\theta=0.9$. L'écart type du taux de disponibilité appartient à l'intervalle $[0,1.3]$.

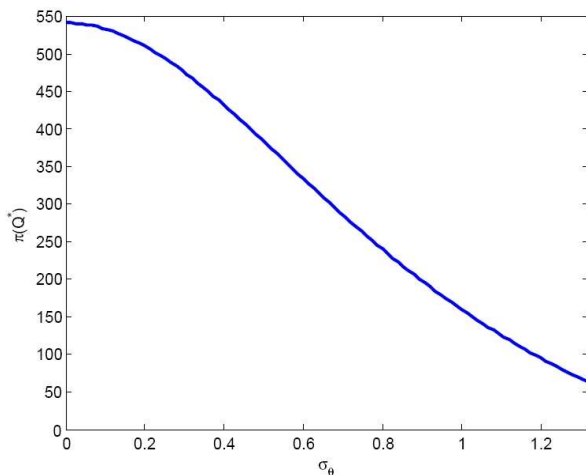


Figure 4: Variation du profit optimal en fonction de σ_θ

A partir de la figure 4, nous remarquons que le profit est strictement décroissant en fonction de l'écart type du taux de disponibilité des produits.

2.2. Second Modèle (Intégration des technologies RFID)

Dans cette partie nous proposons un modèle intégrant les technologies RFID. Nous présenterons tout d'abord les différentes caractéristiques des technologies RFID, puis nous analyserons l'impact de l'intégration de ces technologies dans le modèle du newsvendor précédemment étudié.

2.2.1. Les technologies RFID

L'identification par radiofréquences (RFID) est une technologie en plein développement, elle suscite beaucoup d'attention depuis quelques années. Pourtant la RFID n'est pas une nouvelle technologie, les premières applications datent de la seconde guerre mondiale. Elle a été utilisée pour différencier les avions amis des avions ennemis (Système IFF, Identify: Friend or Foe). Les avancées récentes en informatique et en microélectronique ont permis un développement rapide de la technologie RFID. En effet, cette technologie est de moins en moins chère et de plus en plus petite et efficace. Ainsi, elle permet de répondre à des besoins croissants dans différents domaines d'application.

Un système RFID se compose de trois éléments :

1. Un tag ou une étiquette qui contient une puce (qui transporte des données électroniques) reliée à une antenne. Un tag est généralement associé à un produit,
2. Des lecteurs qui émettent un signal radio et reçoivent en retour des informations renvoyées par les étiquettes. Les lecteurs peuvent être fixes ou mobiles.
3. Un Middleware, qui contrôle et filtre les données récoltées par les lecteurs, et qui les renvoie vers les systèmes d'information de l'entreprise.

Les puces RFID contiennent une mémoire capable de stocker les données capturées par les tags. L'un des standards de stockage de données le plus souvent utilisé est appelé EPC (Electronic Product Code) ou code produit électronique. Ce code a été développé par EPCglobal et UCC (Uniform code council)/EAN (European Article Numbering), il est basé sur le format proposé par Auto ID center c.f. (Gaukler et Seifert, 2007). Les normes actuelles découpent cet EPC selon trois formats 64, 96 ou 128 bits. Ainsi, un EPC à 96 bits peut identifier plus de 268 millions de fabricants, plus de 16 millions de types d'objets et presque 69 milliards d'articles pour chaque fabricant (Brock, 2001).

On peut classer les puces en trois catégories ; (1) en lecture seule, (2) en écriture unique et lectures multiples et (3) en écriture et lecture multiples (réinscriptibles), ceci permet de mettre à jour les données stockées dans la puce. Il existe deux types de tags : actifs et passifs. Les tags actifs ont leur propre source d'énergie (une batterie), ils amplifient ainsi les signaux émis par les lecteurs. Par contre, les tags passifs n'ont pas de source d'énergie, c'est le lecteur qui envoie des ondes radios afin de les activer et de récupérer les informations demandées.

Selon le besoin des utilisateurs des technologies RFID, il est possible de tagger les objets aux niveaux des produits, des palettes, ou des moyens de transport.

Les standards technologiques spécifient les protocoles utilisés pour la communication entre le tag et le lecteur. Les variables importantes sont la fréquence et la puissance à laquelle cette communication s'effectue. Les fréquences retenues dans le standard EPCglobal européen sont : BF (Basses Fréquences) (125 kHz), HF (Hautes Fréquences) (13.56 MHz), UHF (Ultra Hautes Fréquences) (865-868 MHz), SHF (Micro-ondes) (2.446 -2.454 GHz). Pour les applications de la chaîne logistique, le standard technologique le plus important est la famille de standards ISO (International Standard Organization) 18 000. Ce standard couvre les bandes de fréquence : BF, HF, UHF, SHF.

2.2.2. Analyse de l'efficacité des technologies RFID

L'efficacité d'un système RFID dépend de plusieurs paramètres : la fréquence utilisée, le type de tag (passif ou actif), la taille et la forme de l'antenne, le packaging du tag... Ainsi, la distance de lecture d'un tag actif est plus grande que celle d'un tag passif, mais un tag actif est beaucoup plus cher qu'un tag passif. La distance de lecture dépend également de la fréquence utilisée.

Par ailleurs, les différentes fréquences ont des environnements pour lesquels elles sont plus ou moins efficaces. A titre d'exemple, les basses et les hautes fréquences sont limitées dans les environnements contenant du métal. Par contre, l'ultra haute fréquence a quelques difficultés avec les produits liquides.

La gestion des stocks peut être nettement améliorée en identifiant les produits au niveau unité au lieu de le faire au niveau carton ou palette. Le prix de la technologie RFID dépend donc du niveau de l'identification, de la fréquence, du type du tag ainsi que des matériaux utilisés. Ces caractéristiques donnent des efficacités différentes. On peut supposer que

le prix unitaire de la technologie RFID est proportionnel à son efficacité.

Les technologies RFID peuvent réduire considérablement les erreurs au niveau des stocks. En effet, la technologie RFID peut réduire le pourcentage des produits mal placés ainsi que des produits volés et détecter à temps les produits abîmés ou périmés. Il existe donc un lien entre l'efficacité de la technologie et la réduction des erreurs. D'autre part, comme l'on a déjà mentionné précédemment, qu'il existe également un lien fort entre l'efficacité et le coût unitaire de la technologie. On peut donc supposer qu'il existe un lien entre le prix de la technologie RFID et la réduction d'erreurs au niveau des stocks. Dans notre étude nous supposons que le taux de produits disponibles à la vente est fonction du coût de la technologie RFID utilisée.

La figure 5 représente la variation des produits disponibles en fonction du coût unitaire de la technologie RFID (en euros). Nous supposons dans ce qui suit que le coût unitaire de la technologie RFID intègre le coût du tag et les coûts de déploiement (lecteurs, logiciels...). Cette fonction est un exemple appliqué à un système fonctionnant avec un taux d'erreurs avoisinant les 10%. Ce taux d'erreurs est réduit à 3% quand on utilise une technologie à 0.4 Euros/tag. Le taux de disponibilité converge vers 100% quand le coût avoisine 2 Euros.

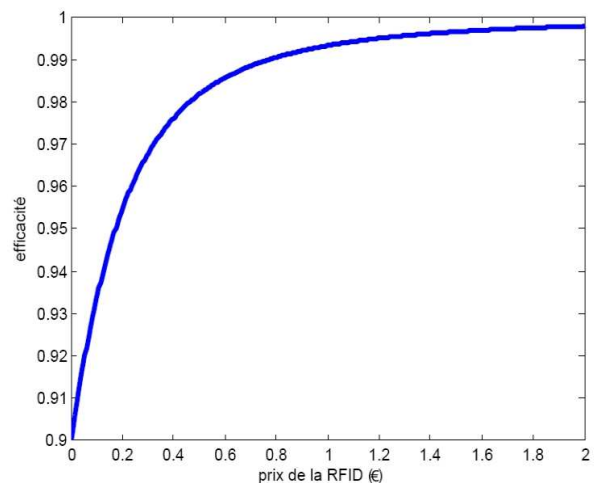


Figure 5: Variation de l'efficacité de la RFID en fonction du coût unitaire

La disponibilité des produits peut donc être représentée par la fonction suivante :

$$\theta_{C_t} = 1 - 1/(\alpha C_t^2 + \beta C_t + \gamma) \quad (17)$$

où α , β et γ sont des constantes à fixer. L'allure de la fonction 17 peut être modifiée en fonction du choix des paramètres.

En introduisant la fonction $\theta(C_t)$ ainsi que C_t dans les modèles précédents, nous obtenons les quantités économiques suivantes. Dans le cas où la disponibilité des produits est déterministe :

$$Q^* = \frac{U_D}{\mu_{\theta_{C_t}}} - \frac{(U_D - L_D)(C_u + C_t)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_{\theta_{C_t}})^2} - \frac{(U_D - L_D)C_s(\mu_\beta - \mu_{\theta_{C_t}}\mu_\beta - 1)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_{\theta_{C_t}})^2} \quad (18)$$

Dans le cas où la disponibilité des produits est stochastique :

$$Q^* = \frac{U_D \mu_{\theta_{C_t}}}{\mu_{\theta_{C_t}}^2 + \sigma_{\theta_{C_t}}^2} - \frac{(U_D - L_D)(C_u + C_t)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_{\theta_{C_t}}^2 + \sigma_{\theta_{C_t}}^2)} - \frac{(U_D - L_D)C_s(\mu_\beta - \mu_{\theta_{C_t}}\mu_\beta - 1)}{(C_r + C_p - C_s)(\mu_{\theta_{C_t}}^2 + \sigma_{\theta_{C_t}}^2)} \quad (19)$$

Le profit optimal est donné par les expressions suivantes. Dans le cas où la disponibilité des produits est déterministe :

$$\pi(Q^*) = (C_r + C_p - C_s) \int_0^{Q^* \mu_{\theta_{C_t}}} Df(D)dD - C_p \mu_D \quad (20)$$

Dans le cas où la disponibilité des produits est stochastique :

$$\pi(Q^*) = -C_p \mu_D + (C_r + C_p - C_s) \int_{L_{\theta_{C_t}}}^{U_{\theta_{C_t}}} \int_0^{Q^* \theta_{C_t}} Df(D)g(\theta)dDd\theta \quad (21)$$

Dans les figures 6 et 7, nous illustrons la variation du profit optimal, respectivement en fonction du prix de la technologie RFID et en fonction de la disponibilité des produits. Les paramètres des figures sont fixés comme suit : $C_r=40$ Euros, $C_u=34$ Euros, $C_p=26$ Euros, $\mu_D=10$, $\sigma_D=3$, $C_s=22$ Euros et $\mu_\beta=0.2$.

En analysant la figure 7, on remarque que le profit augmente considérablement jusqu'à atteindre un certain seuil (dans notre cas il avoisine 0.98) à partir duquel le profit diminue. En effet, le prix de la

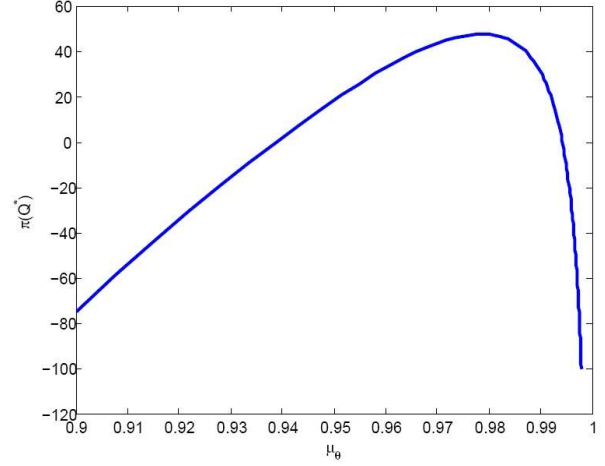


Figure 6: Variation du profit optimal en fonction de la disponibilité des produits (cas déterministe)

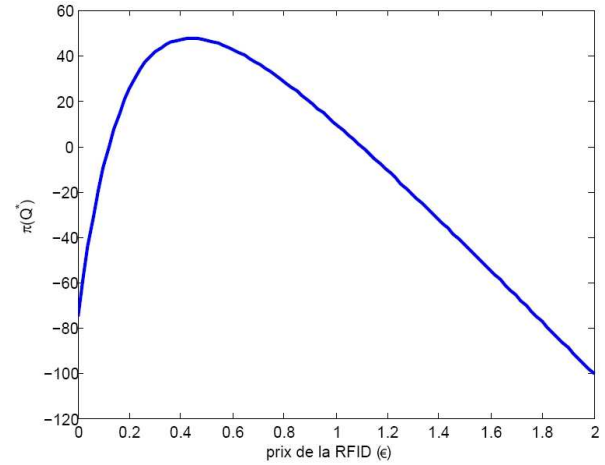


Figure 7: Variation du profit optimal en fonction du prix de la technologie (cas déterministe)

technologie augmente considérablement quand on approche d'une technologie idéale, ce qui explique la baisse du profit. La valeur du taux d'erreurs est proportionnelle au prix de la technologie. A partir de la valeur du taux qui maximise le profit, nous pouvons retrouver le coût de la technologie à utiliser. Ce dernier varie donc en fonction du prix et de la demande des produits. A partir de la figure 6 nous observons que le profit est optimal quand le prix de la RFID atteint un certain coût. Dans notre cas, le coût de la technologie optimale avoisine 0.5 euros.

CONCLUSION

Dans cet article nous nous sommes intéressés à deux modèles particuliers du problème de newsvendor. Dans un premier temps, nous avons abordé le modèle du newsvendor intégrant différentes erreurs au niveau

des stocks (produits mal placés, vols et produits abîmés ou périmés). Nous avons proposé un modèle analytique qui traite de cette problématique. Nous avons également analysé les impacts économiques de ces erreurs. Dans un deuxième temps, nous avons proposé un modèle qui intègre l'efficacité et le coût d'une technologie d'identification automatique par radiofréquences. Dans notre approche, les améliorations apportées dépendent du prix de la technologie utilisée. Nous observons également qu'il existe un coût critique à partir duquel la technologie n'est plus rentable. Ce coût est fonction du prix du produit ainsi que de la quantité commandée.

Nous avons étudié dans la dernière partie le rapport entre la moyenne de la disponibilité des produits et le coût de la technologie. Comme perspectives à ce travail, il serait intéressant, dans le cas stochastique, de prendre en considération le lien entre l'écart type de la disponibilité des produits et le coût de la technologie.

Il serait également intéressant de considérer plusieurs maillons d'une chaîne logistique. En effet, les différents acteurs d'une chaîne peuvent partager les coûts engendrés par l'utilisation de la technologie RFID.

REFERENCES

- Brock, D. (2001). The electronic product code (epc): a naming scheme for physical objects, *MIT Auto-ID Center White Paper* pp. 1–21.
- Cachon, G., Terwiesch, C. & Xu, Y. (2005). Retail assortment planning in the presence of consumer search, *Manufacturing and Service Operations Management* **7**:4: 30–46.
- Chappell, G., Durdan, D., Gilbert, G., Ginsburg, L., Smith, J. & Tobolski, J. (2003). Auto-id in the box: The value of auto-id technology in retail stores, *Auto-ID Center*.
- E.A. Silver, D. P. & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, John Wiley and Sons.
- Edgeworth, F. (1888). The mathematical theory of banking, *J. Royal Statistical Society* **51**: 113–127.
- Fisher, M., Rajaram, K. & Raman, R. (1999). Optimizing inventory replenishment of retail fashion products, *Manufacturing and Service Operations Management* **3.3**: 230–241.
- Fisher, M. & Raman, A. (1996). Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales, *Operations Research* **44**: 87–99.
- Fleisch, E. & Tellkamp, C. (2005). Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain, *Int. J. Production Economics* **95**: 373–385.
- Gaukler, G. M. (2005). *RFID in supply chain management*, PhD thesis, Stanford University.
- Gaukler G. M. & Seifert R. W. (2007). *Applications of RFID in Supply Chains*, Springer Series.
- Hadley, G. & Whitin, T. (1963). *Analysis of inventory systems*, Englewood CliGs, NJ: Prentice-Hall.
- Hertz, D. B. & Schaffir, K. H. (1960). A forecasting method for management of seasonal style-22 goods inventories, *Operations Research* **8**(1): 45–52.
- Kang, Y. & Gershwin, S. (2004). Information inaccuracy in inventory systems - stock loss and stockout, *IIE Transactions* **37**: 843–859.
- Ketzenberg, M. & Ferguson, M. (2006). Managing slow moving perishables in the grocery industry, *Technical report*, College of Business Colorado State University and The College of Management Georgia Institute of Technology.
- Khouja, M. (1999). The single-period (news-vendor) problem: Literature review and suggestions for future research, *Omega* **27**: 537–553.
- Kok, A., Donselaar, K. & Woensel, T. (2005). A break-even analysis of rfid technology for inventory sensitive to shrinkage, *TU/e Eindhoven University of Technology* **7**.4330-46.
- Lee, H. (1996). Effective inventory and service management through product and process redesign, *Operations Research* **44**: 151–159.
- Lee, H. & Whang, S. (2002). The impact of the secondary market on the supply chain, *Management Science* **48**: 719–731.
- Raman, A. (2000). Retail-data quality: evidence, causes, costs, and fixes, *Technology in Society* **22**: 97–109.
- Raman, A., DeHoratius, N. & Ton, Z. (2001). Execution : The missing link in retail operations, *California Management Review* **43**: 136–152.
- Rekik, Y. (2006). *The Impact of the RFID Technology in Improving Performance of Inventory Systems subject to Inaccuracies*, PhD thesis, Ecole Centrale Paris.
- Rekik, Y., Sahin, E. & Dallery, Y. (2006). Analysis of the impact of the rfid technology on reducing product misplacement errors at retail stores, *International Journal of Production Economics*.
- Sahin, E. (2004). *A qualitative and quantitative analysis of the impact of Auto ID technology on the performance of supply chains*, PhD thesis, Ecole Centrale Paris.
- Sahin, E., Buzacott, J. & Dallery, Y. (2007). Analysis of a newsvendor which has errors in inventory data records, *European Journal of Operational Research*.
- Shang, K. & Song, J. (2003). Newsvendor bounds and heuristic for optimal policies in serial supply chains, *Management Science* **49.5**: 618–638.
- Zipkin, P. (2000). *Foundations of Inventory Management*, New York : McGraw-Hill.