MOSIM'03

Actes de la 4ème Conférence Francophone
de MOdélisation et SIMulation
23-25 Avril 2003, Toulouse, France

4e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation
« Organisation et Conduite d'Activités dans l'Industrie et les Services »
MOSIM'03 – du 23 au 25 avril 2003 - Toulouse (France)

MODÈLE DE GESTION DE STOCKS A PRIX D'ACHAT VARIABLES

D. Aïssani, S. Adjabi, A. Bounceur, M.L. Mammasse
LAMOS, Université de Béjaia, 06000 Béjaia, Algérie
Tél. (+213) 34 21 51 88 E-mail : adjabi@hotmail.com

RÉSUMÉ : *L'objectif de ce travail est d'assurer une gestion optimale du dock de stockage de céréales de l'entreprise en agro-alimentaire* ceVital *. Composé de vingt quatre silos, de capacité 120 000 tonnes, et de deux stations de chargement de camions, le dock* ceVital *constitue la plus grande capacité de stockage de toute l'Afrique, destinée à satisfaire environ* 20% *de la demande nationale Algérienne. Par rapport aux problèmes classiques de gestion des stocks, la modélisation de ce système a nécessité l'élaboration d'un modèle spécifique, dénommé* (Q, r, C_t)*, et prenant en compte trois particularités : les prix d'achat des céréales sont fixés par la bourse et sont donc un facteur provoquant les approvisionnements ; existence de différents types de céréales à commercialiser et qui partagent le même espace de stockage ; absence d'espace de stationnement au niveau de la station de chargement des camions.*
MOTS-CLÉS : *Marché des céréales, Gestion des stocks, Simulation, files d'attente.*

1. INTRODUCTION

L'entreprise *ceVital* est l'une des toutes premières entreprises en agro-alimentaire à l'échelle africaine. Son ambition est de pouvoir commercialiser 1,2 millions de tonnes de céréales lors de la première année de lancement de son nouveau dock à stockage, tout en minimisant les différents coûts de gestion : achat, stockage et approvisionnement. En effet, le marché Algérien dépend de l'importation. Or, le marché international des céréales conduit à des situations complexes (nature du marché, fluctuation des prix, monopole de certains pays producteurs, habitudes de consommation de la population, conditions climatiques,...). Le système a été décomposé en deux sous-systèmes. Le sous-système "chargement des camions" a été modélisé par un système de files d'attente. Le simulateur *Filasim* a été conçu pour identifier la demande, tout en obtenant les performances de ce sous-système (nombre moyen de camions servis, longueur moyenne de la file d'attente,...). La modélisation du sous-système "gestion des silos" a nécessité l'élaboration d'un modèle spécifique de gestion des stocks, dénommé (Q, r, C_t), qui tient compte des fluctuations des prix d'achats afin de déclencher les approvisionnements. La conception du simulateur *Gestopach*, programmé sous les langages C++ Builder et Delphi, permet le calcul des performances (coût total, niveau de service , coût de revient) et la comparaison aux résultats obtenus en utilisant le modèle classique (Q, r).

2. POSITION DU PROBLÈME

Le dock de stockage de céréales de l'entreprise *ceVital* est composé de vingt quatre silos, de capacité de 120000 tonnes, et de deux stations de chargements de camions. La situation à laquelle est confrontée l'entreprise *ceVital* pour établir une politique de gestion est très complexe, du fait que :

- Les prix d'achat des céréales sont sujets à de fortes fluctuations et sont imprévisibles (nature du marché des céréales).
- Les capacités des stocks et des approvisionnement sont limitées. Ainsi, on affecte à chaque type de céréales, un nombre donné de silos.
- Les délais de livraison sont variables selon les fournisseurs (Pays vendeurs).
- La non disponibilité d'informations sur la demande réelle en une période t.
- Absence d'espace de stationnement au niveau de la station de chargement. Or la satisfaction des objectifs fixés nécessitent le chargement de vingt camions par heure.

3. FORMULATION DU MODÈLE

Le système a été décomposé en deux sous-systèmes : le sous-système "chargement des camions" et le sous-système "gestion des silos". La demande étant fortement liée à la manière et à la cadence de chargement des camions, son estimation sera obtenue en exploitant la forte relation entre les deux sous-systèmes.

3.1 Sous-système "chargement des camions"

3.1.1 Modélisation

La tour de chargement est composée de deux stations indépendantes. Le sous-système "chargement des camions" peut être décrit par un modèle simple de files d'attente, ayant deux stations de service en parallèles. Chaque station se compose de trois serveurs

en série, respectivement pour le pesage à vide, le remplissage et le pesage après chargement. La durée de service d'un client est obtenue en additionnant la durée de pesage à vide, la durée de chargement et le temps de pesage avec charge. Le processus d'arrivées constitue la grande inconnue (de l'entreprise). C'est pourquoi nous calculons les performances du sous système "chargement des camions" en faisant varier les arrivées et ses paramètres. Afin de déterminer l'espace optimal à réserver au futur parc de stationnement de *ceVital* , nous avons cerné l'influence de sa capacité sur les quantités totales de céréales vendues, et calculé le taux de non satisfaction (saturation du parc).

3.1.2 Le simulateur Filasim

Un simulateur, dénommé *Filasim*, a été élaboré à l'aide du langage de programmation C++ Builder. Il permet de connaître le comportement du sous-système "chargement des camions" face à différents flux de la demande. Pour une période de simulation T, on injecte les paramètres suivants : Loi des arrivées et ses paramètres, Durées moyennes de pesage, Capacité du parc de stationnement, Cadence de chargement, Quantités Min et Max des camions, Nombre d'heures de travail par journée et intervalle séparant le début des arrivées du début de service, Probabilités de la demande en une qualité de céréales "i", ... Le simulateur *Filasim* permet d'obtenir les principaux indicateurs de performance : Nombre total de camions servis, Longueur moyenne de la file d'attente, Durée moyenne de séjour d'un camion, Durée moyenne de service, Durée moyenne d'attente,Taux d'occupation de la station, Taux de non satisfaction, Quantités moyennes vendues en céréale "j".

3.2 Sous-système "gestion des silos"

3.2.1 Modélisation

Dans ce sous-système, un contrôle continu du stock est exigé pour les raisons suivantes :

- Les prix d'achat sont dictés par la bourse et sont sujets à de fortes fluctuations.
- Dès que le stock tombe au dessous d'un seuil, une demande d'approvisionnement est lancée.

La demande suit une loi de probabilité. On a donc introduit un niveau de service à notre modèle. En pratique, les risques de pénuries sont amoindris par la disponibilité de céréales de remplacement et les coûts de pénurie sont difficiles à estimer. Soient :

- C_t : Prix d'achat des céréales à l'instant t ;
- A_t : Valeur de la décision *" Acheter les céréales "* à l'instant t. Elle prend la valeur '1' si on décide d'acheter, et '0' sinon ;
- B_t : Valeur de la décision *" Prix satisfaisants à l'instant t "*. Elle prend la valeur '1' si les prix sont intéressants, et '0' sinon ;
- Q : Quantité fixe d'approvisionnement ;
- V_t : Quantité variable d'approvisionnement à l'instant t. Elle dépend du prix d'achat.

On décide d'effectuer un approvisionnement pour les raisons suivantes :

1. Si le niveau de stock à l'instant t est inférieur au point de réapprovisionnement r. Dans ce cas là, la quantité à commander sera égale à Q et A_t sera égale à 1.
2. Si on décide d'acheter à l'instant t parce que les prix sont intéressants, B_t sera donc égale à 1. Dans ce cas là, A_t sera forcé à 1. La quantité de réapprovisionnement sera V_t, qui dépend du prix d'achat.

La figure 1 résume l'évolution du stock du modèle, dénommé *"Modèle* (Q, r, C_t)*"*, où L_i : représente les délais de livraison.

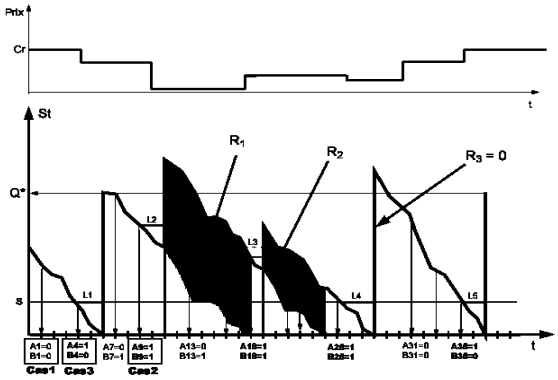

Figure 1. Évolution du stock du modèle (Q, r, C_t)

3.2.2 Les variables du modèle

*** Variables A_t et B_t :** A_t est la variable booléenne *" Acheter à l'instant t "*. Elle est égale à '1' si on décide de s'approvisionner et '0' sinon. Dès que le stock est inférieur au niveau r, A_t sera égale à 1, et si les prix sont intéressants, A_t prend la valeur 1 du fait que $B_t = 1$. Plusieurs manières de détermination de B_t peuvent êtres établies en fonction des critères de choix du décideur. Pour ce qui est de notre cas, B_t sera égal à 1 dès qu'il y a une chute supérieure à la valeur f entre deux prix consécutifs. Ou bien, on prévoit une augmentation f de celui-ci (la marge f est une variable de décision).

$$B_t = \begin{cases} 1 & \text{si } (C_{t-1} - C_t \geq f) \text{ ou } (C_{t+1} - C_t \geq f) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$A_t = \begin{cases} 1 & \text{si } (B_t = 1) \text{ ou } (S_t \leq r) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

où : S_t = niveau de stock à l'instant t. f est considéré

comme variable de décision.
*** Quantité fixe de réapprovisionnement Q :** Dans ce modèle, on peut effectuer un approvisionnement dès que la quantité présente dans le stock est inférieure à r. Un approvisionnement serait donc obligatoire quel que soit le prix d'achat. La quantité à commander dans ce cas est Q, qui sera déterminée en optimisant la fonction du coût total.
*** Quantité variable de réapprovisionnement V_t :** On peut aussi lancer un autre approvisionnement sans que le niveau de stock n'atteigne le stock d'alerte r. Ceci se produit lorsque le décideur juge qu'il est profitable de lancer une commande. C'est-à-dire que, $A_t = 1$. V_t dépend éventuellement du prix d'achat à l'instant t. Elle peut être estimée par plusieurs expressions qui dépendent des exigences et des critères du décideur.

$$V_t = f(C_t, S_{max})$$

Dans notre cas, nous avons utilisé l'expression suivante : Soit S_{max} la capacité maximale de réapprovisionnement. Considérons également C_r un prix de référence, supérieur ou égal au maximum que peuvent atteindre les prix d'achat. V_t est donné par :

$$V_t = \min\{(C_r - C_t) \times Q_0, S_{max}\} \tag{1}$$

Où : Q_0 est un coefficient en quantité. C_r pourra être considéré comme variable de décision.
*** Niveau de réapprovisionnement r :**
r est le seuil à partir duquel une commande est lancée même si les prix fixés par la bourse ne sont pas satisfaisants. Il est calculé dans le but d'assurer la disponibilité de la demande durant les délais de réapprovisionnement avec un niveau de service $1 - \alpha$, où α = probabilité d'avoir une pénurie. $P(D > r) = \alpha$ et D : la variable aléatoire "demande durant le délai de livraison".
*** La demande :**
En injectant certaines données supplémentaires au simulateur *Filasim*, nous obtenons des informations sur les quantités vendues pendant une période de temps. Ainsi, en prenant des échantillons d'observations des quantités vendues quotidiennement, on pourra ajuster la demande par des lois de probabilité.
*** Coût d'approvisionnement K_{ap} :**
Les seuls coûts de réapprovisionnement significatifs sont les coûts de location des bateaux. *ceVital* loue deux types de bateaux, ceux de capacité de 20 000 tonnes (bateau de type1) et ceux de capacité 10 000 tonnes (bateau de type2). Le coût de location d'un bateau de type1 est de 7000$ /jour, et celui d'un bateau de type2 est de 5000$ /jour. Ainsi, les coûts d'approvisionnement pour une période T seront calculés comme suit : Le nombre de commandes que fait *ceVital* pendant une période T est : $\sum_{t=1}^{T} A_i$
Une commande à l'instant t, coûte à *ceVital* : $7000L_t n_{1t} + 5000L_t n_{2t}$ avec : $L_t = l_t + t_{st}$
où : l_t = délai de livraison des bateaux, t_{st} = temps de stockage dans les bateaux, n_{1t}, n_{2t} représentent respectivement le nombre de bateaux de type1 et de type2 loués. Ils sont déterminés de manière à minimiser le coût d'approvisionnement :
soit x la quantité à commander, $n_1, n_2 \in \aleph$, $n_1 n_2 \neq 0$, $x \leq (20000n_1 + 10000n_2)$
Pour minimiser le coût de location des bateaux, on doit maximiser n_1. Ce qui donne :
$$\begin{cases} n_1 = int\left(\frac{x}{20000}\right) \\ n_2 = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad x \; mod \; 2 = 1 \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \end{cases}$$
On déduit les coûts d'approvisionnement K_{ap} pour une période T par :
$K_{ap} = \sum_{i=1}^{\sum_{j=1}^{T} A_j} (7000L_i n_{1i} + 5000L_i n_{2i})$,
où :A_j, L_i, n_{1i} et n_{2i} ont été définies précédemment.
*** Coût de stockage K_s :**
L'entreprise *ceVital* lance une commande, à chaque fois que la décision d'acheter est prise à cet instant (t). Dans ce cas, A_t=1. Deux cas se présentent :
Premier cas : Si la quantité à commander est Q*, alors B_t=0.
Deuxième cas : Si la quantité à commander dépend du prix d'achat. Elle est égale à V_t. dans ce cas B_t=1.
Les coûts de stockage K_s pour une période T sont donnés par :

$$\begin{aligned} K_s &= \left(\frac{Q^*}{2}\sum_{i=1}^{T} A_i(1-B_i) + \frac{1}{2\lambda}\sum_{i=1}^{T} A_i B_i V_i^2\right) C_s \\ &+ \left(\sum_{i=1}^{\sum_{j=1}^{T} A_j B_j} A_i B_i R_i\right) C_s \ , \end{aligned}$$

où λ est la demande moyenne pour une journée.
*** Coûts d'achat K_{ac} :**
Les coûts d'achat pour une période T sont donnés par :

$$K_{ac} = \sum_{i=1}^{T}(A_i B_i C_i V_i) + A_i(1-B_i)C_i Q^* \tag{2}$$

où : C_i représente le coût d'achat à l'instant i.
*** Coût total K :**
Le coût total pendant une période T intervenant dans le modèle (Q, r, C_t) est donné par :

$$K = K_{ap} + K_s + K_{ac} \tag{3}$$

$K = \sum_{i=1}^{\sum_{j=1}^{T} A_j} (7000L_i n_{1i} + 5000L_i n_{2i}) + \left(\frac{Q^*}{2}\sum_{i=1}^{T} A_i(1-B_i) + \frac{1}{2\lambda}\sum_{i=1}^{T} A_i B_i V_i^2\right) C_s + \left(\sum_{i=1}^{\sum_{j=1}^{T} A_j B_j} A_i B_i \cdot R_i\right) C_s + \sum_{i=1}^{T}(A_i B_i C_i V_i) + A_i(1-B_i)C_i Q^* \longrightarrow$ à minimiser.

*** Les différents types de céréales :**

L'entreprise envisage de commercialiser plusieurs types de céréales. Il faudrait donc proposer une politique qui prenne en charge les différentes contraintes liées à cet aspect. Supposons que l'on ait n catégories de céréales. On adopte pour chaque type de céréales un modèle de gestion (Q, r, C_t). La seule modification à apporter est de considérer les limitations de l'espace de stockage pour chaque catégorie de céréales. Soit : Y_j le nombre de silos affectés à la catégorie "j" des céréales. Il peut être constant durant une période, ou bien variable. Dans ce dernier cas, il sera noté par Y_{tj}. On vérifie bien que :$\sum_{j=1}^{n} Y_j = 24$ ou bien $\sum_{j=1}^{n} Y_{tj} = 24, \forall t$.

La capacité de stockage affectée à une catégorie j sera : $5000L_j$. On adopte pour chaque type de céréales un modèle indépendamment de l'autre, en apportant les modifications suivantes : $V_{tj} = \min\{5000Y_j - S_{tj}, V_t j^*\}$ et $Q_j = \min\{Q^*, 5000Y_j - S_{tj}\}$, Où :

- V_{tj} : la quantité de réapprovisionnement en céréales de type j à l'instant t.
- $V_t j^*$: la quantité de réapprovisionnement en céréales de type j à l'instant t, donnée par la formule (1).
- Y_j : le nombre de silos affectés au type j de céréales (en cas d'un nombre variable dans le temps, on utilise Y_{tj}).
- 5000 : représente la capacité de stockage d'un silo (en tonnes).
- S_{tj} : le niveau de stock en céréales de type j à l'instant t.
- S_{maxj} : stock maximum destiné à une qualité j lors d'un approvisionnement, tel que $\sum_{j=1}^{n} S_{maxj} = S_{max}$.
- C_{rj} : coût minimal prévu pour la qualité j.
- C_{tj} : coût d'achat des céréales de catégorie j à l'instant t.

3.2.3 Le Simulateur Gestopach

La nature complexe du modèle rend la résolution mathématique difficile, en raison notamment de la diversité des variables de décision. C'est pourquoi nous avons fait appel à la simulation. Le simulateur *Gestopach* a été conçu sous le langage de programmation Builder C++. Il permet de prendre en compte les paramètres suivants : la loi de la demande, la variation des prix d'achat, les délai de livraisons et les différents fournisseurs, la capacité de stockage et la capacité d'approvisionnement. Pour les modèles (Q, r) et (Q, r, C_t), on peut déterminer : les coûts de gestion (achat, approvisionnement et stockage), le prix de revient d'une tonne de céréales, le niveau de service offert par le modèle, ainsi que la quantité totale achetée et vendue.

4. RÉSULTATS

4.1 Sous-système "chargement des camions"

Comme le montre la figure suivante, On remarque que le système devient instable et saturé dès que le taux d'arrivées dépasse $0,45$ arrivées par minute. Il faut donc pour cela réfléchir à augmenter le nombre de serveurs ou bien à réguler le flux des arrivées vers le système, en imaginant des planning de service dans lequel on affecte à chaque type de céréales une période de service. Ainsi, le taux des arrivées sera diminué.

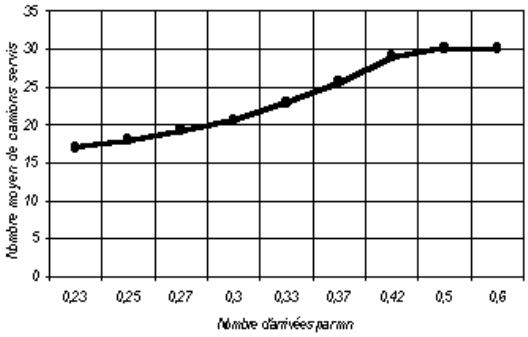

Figure 2. Nombre moyen de camions servis.

Pour $\lambda = 0,3$ arrivées par minute, le système est stable avec un taux d'occupation de 70.9. La durée moyenne de séjour d'un client est de 17,65 mn, avec une file moyenne de 3.2 camions, ce qui est acceptable.

Par ailleurs, on a constaté qu'un parc de stationnement de 25 camions assure un taux de non-satisfaction faible pour des taux d'arrivées inférieures à $0,38$ arrivées par minute.

4.2 sous-système "gestion des silos"

Après la saisie de toutes les informations dans le simulateur et en exécutant sur une durée d'une année, on obtient les résultats présentés dans le tableau 1. Nous avons comparé les résultats obtenus en utilisant notre modèle (Q, r, C_t) à ceux obtenus en utilisant le modèle classique (Q, r), et ceci, connaissant la loi de la demande en un type de céréales (céréale 1), les délais de livraison et le nombre de silos affectés à ce type. Les résultats obtenues par la simulation montrent que si on adopte une politique (Q, r), le modèle qui minimise le coût total de gestion tout en

Modèle	Paramètres	Coût total de Gestion (en $)	coût de revient d'une tonne (en $)	Niveau de Service
(Q,r)	$Q = 40\,000$ $r = 23\,000$	48 063 740	109.24	99.45
(Q,r)	$Q = 40\,000$ $r = 23\,000$	44 659 548	106.33	99.21
(Q,r)	$Q = 25\,000$ $r = 24\,800$	44 290 248	104.21	99.98
(Q,r,C_r)	$Q = 25\,000$ $r = 24\,800$ $C_r = 141$ $f = 5$	40 800 840	95.43	100
(Q,r,C_r)	$Q = 25\,000$ $r = 24\,800$ $C_r = 200$ $f = 5$	44 067 968	93.26	100
(Q,r,C_r)	$Q = 25\,000$ $r = 24\,800$ $C_r = 145$ $f = 2$	42 327 544	89.67	100

Tableau 1. Résultats de la simulation pour céréale 1

offrant un très bon niveau de service est le modèle $(25\,000, 24\,800)$. Avec ces mêmes paramètres, le coût de revient d'une tonne est minimal. Si on choisi d'appliquer le modèle (Q, r, C_t), le modèle optimal est le modèle $(Q = 25\,000, r = 24\,800, C_r = 141, f = 2)$.

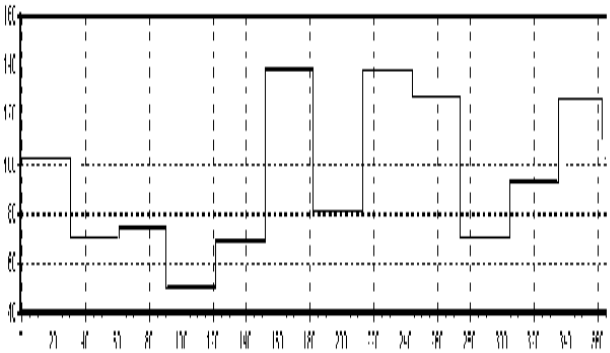

Figure 3. Variation des prix d'achat, céréale 1

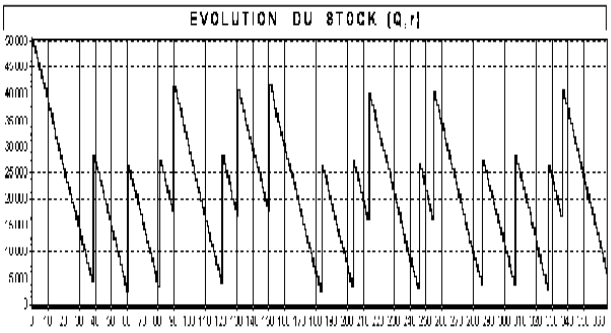

Figure 4. Évolution du stock en céréale 1 - modèle (Q, r)

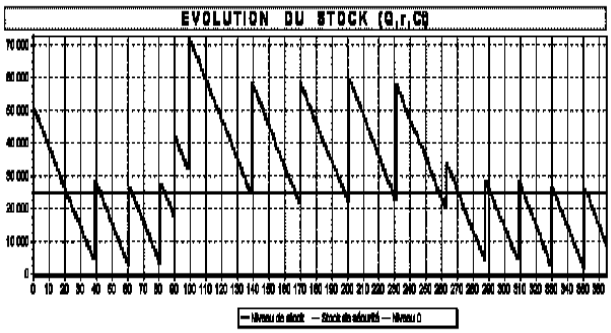

Figure 5. Évolution du stock en céréale 1 - modèle (Q, r, C_r)

La prise en compte du prix d'achat dans le modèle permet donc d'économiser annuellement une somme de 3 489 600$ par rapport à la politique (Q, r). Par ailleurs, il offre un taux de service pratique de 100% et un moindre coût de revient.

CONCLUSION

Il est possible d'étendre cette étude, d'une part en considérant les différentes contraintes liées à la présence de plusieurs types de céréales, et d'autre part en observant l'évolution du gain ou de la perte en fonction du prix de référence fixé. Ainsi, si le prix chute de 2$ tonne à l'instant t, ou bien augmente de 2$ tonne à l'instant $t + 1$, la commande sera $V_t = 10\,000.(141 - C_t)$. A ce niveau, une analyse de sensibilité est nécessaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le référé pour la suggestion pertinente qui permet l'extension de l'étude et l'interprétation rationnelle des résultats.

REFERENCES

[1] Aïssani D., Adjabi S., Bounceur A. et Mammasse M.L. *Gestion Optimale des Silos à céréales de l'entreprise cevital* . Rapport de recherche, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, Algérie, 2002.

[2] Alcoof M., *Gestion des stocks méthodes et applications*, Editions Dunod, 1987.

[3] David I. and Avraham I. Inventory model with exogenous failure. *Operation research*, Vol. 43 pp.902-903, 1995.

[4] Rambeaux A., *Gestion économique des stocks*, Editions Dunod, 1982.

[5] Zerma P., *Pratique de la gestion des stocks*, Editions Dunod, 1996.

View publication stats