



Etude comparative des modèles de l'évaluation des performances des systèmes d'approvisionnement

Oumaima BOUNOU, Abdellah EL BARKANY et Ahmed EL BIYAALI

Laboratoire de Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Techniques, Route d'Imouzzer, BP. 2202, Fès, Maroc.
Emails: oumaima.bounou@usmba.ac.ma, a_elbarkany2002@yahoo.fr, biyaali@yahoo.fr

Résumé— La chaîne logistique des pièces de rechange est l'intersection entre deux organisations différentes : la chaîne logistique et les services après-vente et de maintenance. La configuration de gestion décentralisée provoque le manque du partage d'information des coûts importants et la qualité de service faible. Afin de diminuer ces effets, plusieurs organisations de maintenance ont dirigé vers une gestion centralisée. Certains auteurs ont essayé de définir les pistes d'amélioration en termes de modèles pour satisfaire les critères de performance et intégrer le risque dans la prévision et la gestion du stock (l'évaluation des performances) à travers des modèles probabilistes. Parmi ces modèles, les modèles graphiques sont les plus utilisés par exemple les réseaux bayésiens et les réseaux de pétri.

Ce travail consiste à élaborer premièrement une revue de littérature sur la gestion d'approvisionnement de l'inventaire des pièces de rechange, deuxièmement une comparaison et une analyse sur les modèles et les approches de l'évaluation des performances et de la gestion d'approvisionnement. Cette évaluation va nous permettre de faire le choix de l'outil à utiliser pour traiter la partie des indicateurs de performance.

Mots clés — Gestion d'approvisionnement, performance, coûts, risque, évaluation, indicateurs.

I. INTRODUCTION

La chaîne logistique des pièces de rechange est l'intersection entre deux organisations différentes : la chaîne logistique et les services après-vente et de maintenance. La configuration de gestion décentralisée des pièces de rechange provoque le manque du partage d'information entre les techniciens au niveau des stocks non partagés, du flux logistique de livraisons et du temps d'approvisionnement importants qui peuvent engendrer des coûts importants et la qualité de service faible.

Afin de diminuer ces effets, plusieurs organisations de maintenance ont dirigé vers une gestion centralisée d'une chaîne logistique des pièces de rechange. Ainsi, certains auteurs ont essayé de définir les pistes d'amélioration en termes de modèles pour satisfaire les critères de performance.

Par ailleurs, d'autres auteurs sont dirigés vers l'intégration de gestion du risque dans la prévision et la gestion du stock (l'évaluation des performances) à travers des modèles probabilistes. Parmi ces modèles, les modèles graphiques sont les plus utilisés par exemple les réseaux bayésiens et les réseaux de pétri.

Les indicateurs sont des variables d'une mesure ou critère d'appréciation d'un phénomène à un instant donné. Les indicateurs peuvent être qualitatifs ou quantitatifs. Jaulent et Quarès ont présenté les différents types des indicateurs comme de risques qui doivent être identifiés [1]. L'ensemble des indicateurs sont assemblés dans un tableau qui s'appelle le tableau de bord dans le but de permettre aux responsables de connaître l'état d'avancement d'une politique et de prendre les décisions appropriées. Alors, le tableau de bord est un outil pour analyser une performance [1].

Ce travail consiste à élaborer une comparaison et une analyse sur les modèles et les approches qui traitent l'évaluation des performances de la gestion d'approvisionnement du stock des pièces de rechange. Dans la section suivante, nous présentons une revue de littérature sur l'évaluation de performances pour la gestion d'approvisionnement. Nous comparons les modèles trouvés dans la deuxième section. Cette évaluation va nous permettre de faire le choix de l'outil à utiliser pour traiter la partie des indicateurs de performance.

II. ETAT DE L'ART

Pour simuler l'espace de solution à la recherche d'une meilleure combinaison d'ordre de réapprovisionnement, Ghorbel propose un modèle particulière des systèmes en événements discrets qui est utilisé dans la logique d'ordre de réapprovisionnements et évaluation des performances [2]. Dans ce modèle, les paramètres calculés sont : le niveau de stock, les coûts de stockage cumulé et d'acquisition des pièces, ainsi durée cumulée et coût périodique du rupture de stock. Le modèle prend comme entrées les coûts unitaires pour chaque type de coûts. Ce modèle causale temporel est construit en quatre étapes et traite trois cas de réapprovisionnement pour le système de gestion d'approvisionnement (T,s,S). Pour chaque cas, l'auteur a associé des indicateurs qui sont résumés dans le tableau 1.

Avec

$S(t)$: niveau du stock au début de la période

$C(t)$: taux de consommation prévu



T : longueur de la période

L(t) : la valeur de délai d'approvisionnement

TABLEAU 1 : CAS D'APPROVISIONNEMENT TRAITES PAR (Ghorbel, 2013)

Cas d'approvisionnement	Indicateurs
Réapprovisionnement forcé	<p>Rupture attendue</p> $\forall t \quad RA(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } S(t)/C(t) < T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ <p>Rupture inévitable</p> $\forall t \quad RI(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } (S(t)/C(t) < L(t)) \cup \left(\frac{S-L(t)C(t)}{C(t)} < T\right) \cup (L(t) = 0 \cap S(t)/C(t) < T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
Réapprovisionnement prévu	<p>Taux de consommation</p> $\forall t \quad RP(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } S(t) < S \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ $C'(t) = \frac{D_t(t)C(t)}{T}$
Réapprovisionnement hors période / retardé	<p>Rupture inévitable</p> $\forall t \quad RI(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } L(t) > T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$ $RR(t+T) = 1 \rightarrow L'(t+T) = L(t) - T$ $= \begin{cases} 1 & \text{si } (S(t)/C(t) < L(t)) \cup (RR(t) = 0 \cap \frac{S-L(t)C(t)-S'(t)+S(t)}{C(t)} < T) \cup (L(t) = 0 \cap S(t)/C(t) < T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

En se basant sur ces indicateurs présentés, Ghorbel a pu traiter 32 combinaisons et pour chaque combinaison 1 à 5 scénarios : 97 scénarios. Elle a exclus 32 scénarios non produits en réalité. En analysant et comparant les 65 scénarios restants, elle a construit 12 classes de graphiques. Ainsi, Ghorbel a entamé la modélisation particulière multi-période comme étant une généralisation [2].

Par contre, Lazrak a traité l'évaluation des modèles de gestion d'une manière plus simple avec des indicateurs sur deux niveaux [3]. Ces indicateurs sont résumés dans le tableau 2.

Avec

Di : Demande

BOi : Backorders

OHi : Niveau de stock pour chaque période

N : Nombre de périodes

UC : Niveau d'inventaire relatif

TABLEAU 2 : LES INDICATEURS UTILISES DANS (Lazrak, 2015)

Evaluation au niveau de	Mesures	Indicateurs
Service	En quantités	$QSL = \frac{\sum_1^N D_i - \sum_1^N BO_i}{\sum_1^N D_i}$
	En périodes	Si $BO_i > 0$ alors $P_i = 1$ sinon $P_i = 0$ $PSL = \frac{N - \sum_1^N P_i}{N}$
Stock	Niveau d'inventaire	$IL = \sum_1^N OH_i / N$
	Valeur d'inventaire	$IV = UC * IL$

Dans le but d'analyser les performances des systèmes logistiques, plus généralement des systèmes stochastiques à événements discrets avec comportement lot, Labadi a

proposé un modèle basé sur les réseaux de pétri lots déterministes et stochastiques [4]. Ce type de réseaux est une extension des autres classes de réseaux de pétri discrets.



Labadi a présenté dans son travail les règles et les techniques utilisées pour le fonctionnement du modèle :

- Les règles de fonctionnement
- Techniques de calcul des probabilités des franchissements
- Ensemble de propriétés essentielles pour affirmer le modèle (la bornitude, vivacité, blocage lot,)
- Techniques d'analyses qualitative et quantitative.

Labadi a appliqué parmi ces techniques dans la modélisation et évaluation du système de gestion en stock (s,S) avec révision continue. Les performances du système sont traités en fonction les paramètres liés à la demande et le délai [4]. Les indicateurs pris en considération sont :

- Stock moyen,
- Coût moyen de stockage,
- Probabilité d'un stock vide,
- Fréquence moyenne d'approvisionnement,
- Coût moyen de passation de commande,
- Coût moyen d'achat,
- Taux de couverture.

Labadi a analysé par simulation l'influence des paramètres comme la variation du taux de la demande et du délai d'approvisionnement [4].

Pérès et Grenouilleau ont utilisé la technique d'optimisation classique dans le papier [5] pour minimiser les risques liés à la gestion d'approvisionnement et le risque de reporter la tâche de la maintenance, à travers une reformulation mathématique du problème d'allocation budgétaire disponible et l'utilisation d'un graphe. Pour la résolution, ils ont utilisés la programmation dynamique.

Pour une compromise meilleure entre le temps d'indisponibilité de la fonction dans l'absence de pièces de rechange et le coût relié à la stratégie sélectionné, Pérès et Grenouilleau ont développé dans [6] une méthode d'évaluation d'approvisionnement des pièces de rechange dans la phase d'opération, basée sur les réseaux de pétri pour chaque niveau de performance du système. Ils ont trouvé que deux politiques proches au niveau de performance. Les éléments pris en compte dans le modèle sont :

- La notion de priorité d'élément,
- La contrainte de capacité,
- Le délai limité,
- Les flux d'opération, d'informations et de décisions.

Grenouilleau et Pérès proposent dans [7] une méthode basée sur la minimisation et l'évaluation des risques de report d'une opération de maintenance (classes de gravité) et de l'approvisionnement initial à travers les risques liés à l'approvisionnement d'une quantité insuffisante. ils ont utilisés la programmation dynamique et la démarche de réduction des risques (aussi bas que possible).

Dans le but de combiner au sein d'un même modèle différents processus et de réaliser une évaluation globale de la performance technico-économique d'un système dans sa phase d'exploitation pour l'identification des résultats

meilleurs, Pérès et al proposent dans [8] une méthodologie de modélisation structurée conduisant à la réalisation de réseaux de pétri capable de prendre en compte l'aspect physique des systèmes étudiés et des notions immatérielles liées aux stratégies mises en places. Les réseaux de pétri utilisés dans ce travail sont associés à la simulation Monte-Carlo et une gage de pérennité.

Il existe des auteurs qui ont combiné le contrôle d'inventaire avec d'autres stratégies et l'approche. À partir de l'étude présentée par [9], ils ont appliqué l'approche bayésienne de manière innovante pour spécifier le paramètre S du système d'inventaire (S-1, S) dans le cas des équipements électroniques exactement des cartes électroniques. Dans le cas d'un examen périodique, Hausman et Joseph ont discuté le programme dynamique et ont élaboré un modèle analytique approchant les caractéristiques en tant que coûts d'inventaire et d'installation pour les commandes [10]. Ils concluent avec une comparaison économique de la politique (Q, R) et de la politique heuristique à un ensemble d'exemples de politiques [10].

L'objectif du système d'inventaire multi-éléments considéré par [11] est de trouver les paramètres de la politique (Q, R) dans l'entrepôt central et la politique (S-1, S) au stockage local, en minimisant la détention prévue pour l'inventaire complet du système et les coûts fixes de la commande. La détermination de ces paramètres se fait à travers une heuristique de Lagrange qui utilise une méthode de génération Gloton. Topan offre une limite inférieure au coût total estimé et montre que cette limite est asymptotiquement serrée dans le nombre de pièces [11].

Certains auteurs ont utilisé la politique d'examen continu plus que la politique d'examen périodique. Dans une étude récente, (Sofia Panagiotidou, 2014) a utilisé une politique d'examen périodique (R, S) et une politique d'examen continu (s, S) [12]. Dans la politique de commande (s, S), utilisée par [13], caractérisée par un modèle de programmation dynamique stochastique, le point de révision s et l'ordre-à-niveau S dépendent du temps jusqu'au prochain point d'inspection. Sarker et Haque ont développé un modèle de simulation pour le système fonctionnant avec la politique de remplacement des blocs et d'examen continu [14]. Mhada a considéré dans son modèle (Q, s), une répartition exponentielle du temps de livraison et la demande ont des caractéristiques aléatoires [15]. Sur la base du modèle proposé par [16], une politique de réapprovisionnement dynamique (Q, r) est formulée et résolue à l'aide d'une approche multi-résolution. Pour résoudre un problème de demande saisonnière avec des contraintes de ressources et de ressources variables, Chen et Chang ont proposé deux nouvelles méthodes: des modèles approximatifs et précis et ont utilisé les techniques de linéarisation [17].

III. ANALYSE ET SYNTHESE

D'après la revue de littérature, plusieurs critères sont pris en compte dans l'évaluation des performances. D'après la littérature, nous avons remarqués qu'il y a une diversification au niveau les indicateurs et les outils présentés dans le tableau 3 pour l'évaluation des



performances de la gestion d'approvisionnement. Ainsi, nous avons remarqué que la majorité ont utilisés des politiques d'approvisionnement avec contrôle continu.

TABLEAU 3: LES INDICATEURS UTILISES DANS L'EVALUATION DES PERFORMANCES

		Critères			Méthode de résolution	
		Coûts	Stock	Réapprovisionnement/ Délai / Rupture		Service
auteurs	(Ghorbel, 2013)	Coûts : d'acquisition, du stock, de rupture		Réapprovisionnement : forcé, prévu, retardé. Rupture : attendue, inévitable. Probabilité de rupture. Rupture double. Indicateurs sur le délai.		Réseaux bayésien Simulation sur logiciel
	(Lazrak, 2015)		Niveau d'inventaire. Valeur d'inventaire.		En quantités et périodes.	
	(Labadi, 2005)	Coût moyen d'achat Coût moyen de stockage Coût moyen de passation de commande	Stock moyen Probabilité de stock vide	Fréquence d'approvisionnement	Taux de couverture	Réseaux de pétri : Analyses qualitative et quantitative, Simulation
	(Pères et Grenouilleau, 2002)			les risques de la gestion d'approvisionnement	le risque de reporter la tâche de la maintenance	Reformulation mathématique L'utilisation d'un graphe
	(Pères et Grenouilleau, 2003)	Coût relié à la stratégie sélectionné	Notion de priorité d'élément	Délai limité	Contrainte de capacité	réseaux de pétri
	(Grenouilleau et Pères, 2006)			Les risques de l'approvisionnement d'une quantité insuffisante.	Risques de report d'une opération de maintenance . Classes de gravité.	Programmation dynamique La démarche de réduction des risques
	(Pères et al, 2007)	Coût de stockages Coût de livraison Coût de pièces	Disponibilité des pièces	Ces paramètres sont les modules d'activités	Réparation	Les réseaux de pétri associés à la simulation Monte-Carlo

Nous avons remarqué que l'évaluation de la gestion d'approvisionnement est faite à travers des indicateurs sur les paramètres qui influencent sur le système. Les coûts sont formalisés selon les cas des indicateurs et d'approvisionnements et les plus considérés sont les coûts de stockage, d'achat, de livraisons et de passation de commande, en générale les coûts liés à la stratégie considérée. Ainsi, les risques les plus considérés dans l'évaluation et la formulation des coûts, sont les risques liés à la rupture de stock, le délai et le stock vide. Un autre

risque traité est le risque lié à la maintenance comme le report de la tâche. Par contre, selon la revue, le risque d'obsolescence n'est pas traité dans l'évaluation.

D'après les références et les études faites, les réseau de pétri est l'un des outils les plus puissant et étudiés pour la modélisation et l'évaluation des performances. Ainsi, en se basant sur la revue de littérature, l'analyse par simulation en utilisant les réseaux de pétri est une technique riche pour l'étude et l'analyse du comportement des paramètres.



Finalement, nous pouvons conclure que certains paramètres sont liés entre eux. Par exemple, un délai dépassé ou réapprovisionnement retardé influence sur le niveau du stock et la probabilité d'avoir un stock vide (risque de rupture du stock), ceci peut reporter la tâche de maintenance ainsi arrêt de production (perte de gain). Le stock mort (risque d'obsolescence) peut provoquer un rupture de stock et report de la tâche de maintenance.

IV. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons fait une revue de littérature sur l'évaluation des performances de la gestion de l'approvisionnement. Parmi les outils utilisés, cette évaluation est traitée par les modèles graphiques comme les réseaux bayésien et de pétri. Ainsi, les indicateurs considérés sont sur le stock et le délai d'approvisionnement. Nous avons remarqué que les réseau de pétri est l'un des outils les plus puissant et étudiés pour la modélisation et l'évaluation des performances. Ainsi, les risques les plus considérés dans l'évaluation et la formulation des coûts, sont les risques liés à la rupture de stock, le délai et le stock vide.

En perspective, nous visons d'adopter comme outil les réseaux de pétri, en intégrant des paramètres, utilisés dans la prévision, rarement traités avec ce type d'outil comme étant des indicateurs de performance. En se basant sur des références qui traitent gestion d'approvisionnement en général, nous allons adopter et améliorer un modèle pour l'évaluation des performances d'approvisionnement des pièces de rechange.

REFERENCES

- [1] Patrick Jaulent, Marie-Agnès Quarès, *Pilotez vos performances*, 2e édition, 2008.
- [2] Ghorbel N., *Gestion des réapprovisionnements périodiques des pièces de rechange sous incertitudes pour le MCO de parc matériels : maîtrise de risque de rupture des stocks*, thèse de doctorat, Vincennes Saint-Denis Paris 8 university, 2013.
- [3] Lazrak Adnane, *Amélioration des processus de prévision et de gestion des stocks dans le cas d'une chaîne logistique des pièces de rechange*, l'université Nantes Angers Le Mans, thèse de doctorat, 2016.
- [4] Labadi Karim, *Contribution à la modélisation et à l'évaluation de performances des systèmes logistiques à l'aide d'un nouveau modèle de réseaux de pétri stochastiques*, Sciences de l'ingénieur, Universités de technologies de Troyes, 2005.
- [5] Pérès François et Grenouilleau Jean-Christophe, *Initial spare parts supply of an orbital system*, aircraft engineering and aerospace technology, vol 74 (3) (2002) pp 252-262.
- [6] Pérès François et Grenouilleau Jean-Christophe, *Spare parts supply modelling : application to a space station*, International journal of quality and reliability management, vol 20 (3), 2003, pp360-377.
- [7] Grenouilleau Jean-Christophe et Pérès François, *Gestion d'approvisionnement initial en éléments de rechange d'un système orbital*, Journal européen des systèmes automatisés, June 2006, vol 40 (4-5), pp397-417.
- [8] Pérès F., Verron S., Dejean J.-P et Averbuch D., *Formalisation d'une approche structurée de modélisation d'un système industriel complexe par réseaux de pétri : application aux systèmes pétroliers offshore ultra grands fonds*, Oil & Gas science and technology – Rev. IFP, Vol 62 (3) (2007) pp 375-389.
- [9] Kostas-Platon A., Magou I., Dekker R., Tagaras G., *Inventory control of spare parts using bayesian approach: case study*, European journal of operational research 154, 2004, pp. 730-739.
- [10] Hausman W. H. & Joseph T. L., *Inventory control with probabilistic demand and periodic with draws*, Management Science 18 (5), Theory series, part 1, 1972, pp. 265-275.
- [11] Topan E., Bayindir Z. P., Tan T., *Heuristics for multi item two echelon spare parts inventory control problem with batch ordering in the central warehouse*, beta research school for operation management and logistics, Beta working, 2010, paper 321.
- [12] Panagiotidou S., 2014. *Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures*, European Journal of Operational Research 235 (3), pp. 300-314.
- [13] Vaughan T.S., *Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy*, European Journal of Operational Research 161(1), 2005, pp. 183–190.
- [14] Sarker R. & Haque A., *Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation*, Applied Mathematical Modelling 24 (10), 2000, pp. 751–760.
- [15] Mhada F., Malhame R., Sadr J., Gharbi A., Pellerin R., (Q, s) models for inventory policy with random component procurement lead times, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management 2013.
- [16] Tongdan J., Haitao L., 2008. *Spare parts inventory control considering stochastic growth of an installed base*, Computers & Industrial Engineering, pp. 452-461.
- [17] Chen K. K., Chang C.-T., *A seasonal demand inventory model with variable lead time and resource constraints*, Applied Mathematical Modelling 31, 2007, pp. 2433–2445.