

Modélisation continue du temps moyen de simple cycle d'un AS/RS multi allées avec le stockage par classe

Amina OUHOUD^{1,2}, Amine GUEZZEN^{1,2},

¹Laboratoire de productique Tlemcen
Université de Tlemcen, Faculté de technologie,
Tlemcen, Algérie

²Laboratory of Industrial Engineering, Production and
Maintenance, National School of Engineering, Metz
ami_ouh@yahoo.fr, amine.guezzen@yhoo.fr

Zaki SARI

Department of Industrial Engineering
Izmir University of Economics
Izmir, 35330 Turkey
zaki_sari@yahoo.fr

Résumé— Dans ce travail nous étudions les systèmes automatisés de stockage/déstockage multi-allées soumis à une politique de stockage par classe. Nous développons une approche continue. Cette dernière est une approche analytique basée sur une approximation continue des différentes distributions discrètes exactes modélisant les déplacements horizontaux et verticaux de la machine S/R dans chaque classe A, B et C.

Mots-clés—*component; formatting; style; styling; insert (key words)*

I. INTRODUCTION

Les systèmes automatisés de stockage/déstockage sont des éléments clés dans les chaînes d'approvisionnement modernes et jouent un rôle vital dans le succès ou l'échec des entreprises d'aujourd'hui [1].

La gestion efficace et efficiente des stocks aide les entreprises à maintenir un avantage concurrentiel, surtout en période de mondialisation accélérée [2]. Le nombre de produits stockés détenus par les grandes entreprises peut facilement atteindre des dizaines de milliers. De toute évidence, il est nécessaire d'adopter une politique de gestion des stocks économique, robuste et efficace en termes de temps et d'investissement. Dans ce chapitre, nous limitons notre attention sur les politiques de stockage par classes. La méthode de stockage par classes organise les positions de stockage par les fréquences de demande des différents produits.

Généralement, le nombre de classes est limité à trois : " A " représente la classe des articles qui ont une forte rotation, " B " comprend la classe des articles avec une rotation moyenne, et " C " couvre le reste. Le temps de cycle moyen de la machine S/R est un paramètre important dans cette politique car il permet l'optimisation lors de la conception de nouveaux systèmes pour le dimensionnement des classes ainsi que le calcul du débit (throughput) du système.

Plusieurs modèles ont été développés pour étudier la

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

stratégie de stockage par classe dans les AS/RS à charge unitaire, mais il n'existe pratiquement aucun modèle dans la littérature pour le stockage par classes dans les AS/RS Multi-allées.

Dans cet article, nous considérons le temps de cycle avec deux politiques de stockage aléatoire et par classe dans un AS/RS multi allées. Nous proposons un modèle mathématique continu pour calculer le temps de cycle, et ceci pour les deux politiques d'assignement citées précédemment

Après un état de l'art sur les différentes approches de stockage dans les AS/RS multi allées, nous poserons le problème de l'évaluation du temps moyen de simple cycle. Nous développons une approche continue pour l'utilisation opérationnelle du stockage par classes. Nous terminerons par un exemple numérique permettant de comparer les deux modes de stockages.

II. ETAT DE L'ART

La politique de stockage dans les AS/RS a reçu une attention considérable dans la littérature. Cette politique du stockage sert à déterminer les endroits de stockage des produits. [3].

La politique du stockage est considérée comme optimale si elle minimise le temps moyen nécessaire pour stocker et déstocker un produit tout en satisfaisant les différentes contraintes imposées par le système [4]. La stratégie du stockage est basée sur les besoins des opérations de fabrication qui peuvent augmenter non seulement la performance des AS/RS mais aussi la performance du système de production [5]. Plusieurs stratégies de stockage peuvent être trouvées dans la littérature pour l'AS/RS. Les cinq politiques souvent utilisées sont: le stockage dédié, le stockage aléatoire, le stockage aléatoire ouvert (closest open location storage), le stockage full-turnover et le stockage par classes. [6][7][8][9][10] [3]

Hausman et al [6] sont parmi les premiers à avoir considéré le problème du stockage par classes dans un AS/RS à charge unitaire, en utilisant la courbe ABC. Graves et al [7]

ont démontré, en utilisant la simulation, que la forme en L des différentes régions, pour un stockage par classes, n'est pas nécessairement optimale pour un rack carré. [11][12][13] ont estimé le temps de cycle moyen dans un entrepôt utilisant un stockage par classes. [10] a proposé un algorithme qui assigne à chaque référence de produits sa classe. [14][15] ont proposé un modèle de temps de cycle pour un entrepôt à 2-blocks avec un stockage COI-par classes (cube-order index, COI). [16] ont utilisé une approche géométrique pour calculer le temps de cycle pour un stockage par classe (voir Fig. 1). Les résultats ont montré que le troisième type de stockage a le plus court temps de traitement tandis que la seconde disposition a la plus longue durée de traitement.

[17] [18] ont étudié et analysé les performances d'un AS/RS à mini-charge à 2-classes. [19][20][21] ainsi que [22] ont estimé le temps de cycle d'un déstockage par lots, c'est-à-dire regroupant plusieurs demandes de déstockage en une livraison afin de réduire le temps de réponse moyen.

L'ensemble de ces études montre l'importance des performances des méthodes de stockage dans les magasins, avec plus particulièrement un critère de performance relatif au temps moyen de simple cycle.

Plusieurs travaux ont également démontré que le stockage par classes permet une réduction considérable en temps de déstockage par rapport aux autres méthodes de stockage telles que le stockage dédié et le stockage aléatoire. Dans la plupart de ces recherches, l'AS/RS utilisé est à charge unitaire. Ainsi, Guenov [23] compare trois configurations de la forme des zones dans un AS/RS. Il a conclu que la configuration des zones pour le stockage par classes dépend de la position du point d'entrée/sortie d'un AS/RS à charge unitaire. [24][25] ont essayé de déterminer le nombre de classes optimal pour un AS/RS en utilisant la méthode de Hausman [6] et ils ont conclu qu'il est préférable d'utiliser des AS/RS avec un facteur de forme $b \geq 0.6$ et moins de 7 classes. Ashayeri [16] ont développé une approche heuristique pour déterminer l'emplacement des zones de stockage pour le stockage par classes dans un AS/RS. L'algorithme détermine la taille et le nombre de zones, ainsi que leur disposition relative dans l'AS/RS. Ha et Hwang, 1994 [26] ont montré que le stockage par classes à 2 classes réduit le temps de stockage et le temps de déstockage par rapport à un stockage aléatoire pour un simple et double cycle pour un système de stockage à carrousel.

Eldemir [27] ont proposé un nouveau modèle analytique pour les

AS/RS afin de déterminer le temps de cycle et l'espace requis pour un stockage par classes. Ils ont conclu qu'il nécessite moins d'espace de stockage par rapport à un stockage aléatoire ou un stockage dédié. Muppanti [28] ont développé un modèle non-linéaire de programmation en nombre entier et un algorithme de type Branch & Bound pour comparer le stockage par classes au stockage dédié, en considérant l'espace de stockage et son coût, le coût de maintenance et de préparation de commande pour un stockage par classes. L'approche présentée a permis de démontrer qu'il existe des économies importantes en utilisant le stockage par classes,

bien que le stockage dédié et le stockage aléatoire soient couramment utilisés dans la planification de stockage en entrepôt. Une heuristique de stockage a été développée par Gaouar [29][30] pour réduire le temps de déstockage dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel. Cette heuristique a permis une amélioration de la durée de déstockage. Dans le même type de système, une nouvelle méthode de stockage/déstockage, appelée In- Deep Storage Class a été créée par Cardin [31]. Pour cela, deux algorithmes ont été développés pour prouver la faisabilité de la mise en œuvre de cette méthode. Cette étude a montré une réduction de plus de 60% du temps moyen de déstockage par rapport à un stockage aléatoire.

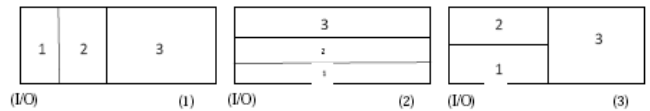


Fig. 1. Stockage par 3 classes [17]

III. STOCKAGE PAR CLASSES DANS UN AS/RS MULTI-ALLEES

Dans ce travail, nous considérons un système de stockage/déstockage automatisé, où il existe plusieurs allées. Chaque allée contient un rack de stockage dans les deux côtés. Toutes ces allées de desserte sont reliées par une allée commune placée perpendiculairement aux racks. Le système comporte une station de dépôt/livraison (station D/L) qui se trouve dans le coin inférieur gauche de l'AS/RS. Il y a aussi une seule machine de stockage/déstockage (S/R) dédiée à toutes les allées du système, qui peut se déplacer simultanément dans des directions verticales et horizontales. Ce mouvement est appelé déplacement de Tchebychev (Fig. 3)

Par conséquent, le temps de voyage entre deux points est égal au maximum des déplacements horizontaux et verticaux. L'utilisation d'une seule machine S/R, réduit considérablement le coût du système par rapport à d'autres types d'AS/RS. Car le coût des machines S/R représente approximativement 40% de l'investissement initial d'un système de stockage.

La fig. 2 illustre un AS/RS multi-allées avec une stratégie de stockage par classes, ainsi que ses composants et les notations adoptées pour ses dimensions.

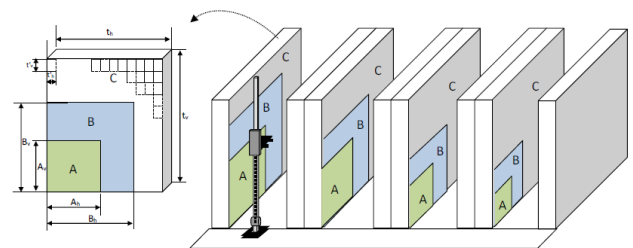


Fig. 2. Stockage par classe dans un AS/RS multi-allées

La machine S/R dessert l'ensemble des racks. Elle se déplace verticalement le long des colonnes formant les racks et horizontalement, le long des allées de desserte et le long de l'allée commune. (Fig. 3.)

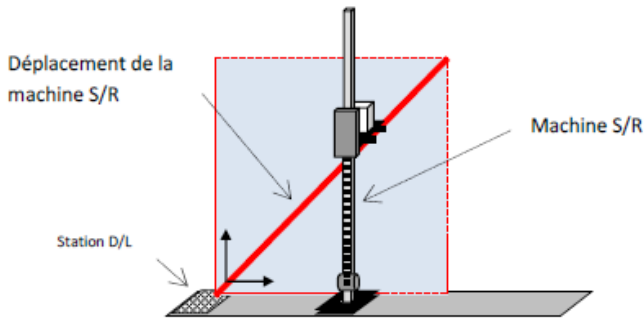


Fig. 3. Déplacement de la machine S/R

IV. HYPOTHESES ET NOTATIONS

A. Hypothèses

Les hypothèses suivantes ont été utilisées dans le présent document:

- La machine S/R se trouve à la station de dépôt/livraison à l'état initial.
- La station D/L se trouve dans le coin inférieur gauche de l'AS/RS.
- La machine doit terminer son cycle avant d'effectuer une nouvelle requête.
- Le système suit une stratégie de stockage par classe (ABC)
- Les délais dus à l'accélération/décélération de la machine S/R ne sont pas pris en considération.
- La machine S/R est capable de se déplacer simultanément dans le sens horizontal et vertical à vitesse constante. Donc, le déplacement nécessaire pour atteindre n'importe quel endroit dans le système est approximé par un déplacement de Tchebyshev.
- La machine S/R ne peut faire qu'une seule opération à la fois et ne peut fonctionner que dans le mode simple cycle.
- Les temps de dépôt/livraison associés à la manutention des produits par la machine S/R ne sont pas pris en considération dans le calcul du temps de cycle. Ces temps sont généralement indépendants de la forme du rack et de la vitesse de la machine S/R. Ils sont souvent déterministes et donc peuvent être ajoutés aux expressions des temps de cycles à posteriori.
- Dans l'approche continue, les faces des racks sont considérées comme étant une surface continue où les produits peuvent être stockés/déstockés en n'importe quel point.

B. Notations

- M Nombre de racks dans un AS/RS multi-allées
M/2 Nombre d'allées dans un AS/RS multi-allées
 A_k Nombre d'allées qui comprennent la classe A

- B_k Nombre d'allées qui comprennent la classe B
 N_H Nombre de casiers par ligne (casiers horizontaux)
 N_V Nombre de casiers par colonne (casiers verticaux)
N Nombre de casiers total dans le système $N = M \cdot N_L \cdot N_V$
 N_A Nombre de casiers dans la classe A
 N_B Nombre de casiers dans la classe B
 N_C Nombre de casiers dans la classe C
 $t'h$ Temps de déplacement horizontal d'un casier au suivant
 $t'v$ Temps de déplacement vertical d'un casier au suivant
 $t'p$ Temps de déplacement d'une allée à la suivante ($t'p = 3t'h$)
 t_h Temps nécessaire pour parcourir la longueur d'un rack ou d'une allée
 t_v Temps nécessaire pour parcourir la hauteur d'un rack
 t_p Temps nécessaire pour parcourir l'allée principale du système
E(SC) Temps moyen de simple cycle (stockage aléatoire)
E(sca) Temps moyen de simple cycle dans la classe A
E(scb) Temps moyen de simple cycle dans la classe B
E(scc) Temps moyen de simple cycle dans la classe C
E(SCBS) Temps moyen de simple cycle (stockage par classe)

V. MODELISATION CONTINUE DU TEMPS MOYEN DE SIMPLE CYCLE

A. Temps moyen de simple cycle dans la Classe A

Dans cette partie du travail nous présentons une autre méthode de modélisation mathématique du temps de simple cycle de la machine S/R. nous avons pu développer plusieurs modèles mathématiques continus pour mieux optimiser, piloter et gérer un système multi allées avec un stockage par classe. Cette méthode analytique continue est applicable sur plusieurs types d'AS/RS. L'idée principale de cette méthode est basée sur une approximation continue des lois de probabilités modélisant les déplacements de la machine S/R[32]. Par l'utilisation de cette méthode, nous construisons un modèle mathématique continu simple et facilement calculable.

Nous avons divisé le temps de cycle de la machine S/R en un ensemble de temps de déplacement. A partir des distributions trouvées, nous allons calculer la distribution totale du temps de cycle. L'espérance mathématique de cette distribution nous donne le temps de cycle moyen.

Pour le développement de notre modèle, nous procédons de la manière suivante:

Prenons un casier de coordonnées (i, j) dans la zone A. sachant que i et j sont des variables aléatoires indépendantes représentant les temps de déplacement horizontal et vertical vers l'emplacement considéré. Puisque les deux variables ne prennent que des valeurs discrètes, on parle alors de variables aléatoires discrètes. Le temps de déplacement total vers ce casier est :

$\text{Max}(i, j)$, ce qui implique que le temps de simple cycle est : $2 \cdot \text{Max}(i, j)$.

Les lois de probabilité des deux variables aléatoires permettent de connaître les chances d'apparition des différentes valeurs de ces variables. Dans ce cas, la loi de la variable i est déterminée par l'ensemble des probabilités $g(k) = g(i = k)$

avec une fonction de répartition donnée par : $G(k) = P(i \leq k)$;

et la loi de la variable j est déterminée par l'ensemble des probabilités : $h(k) = h(j = k)$ avec une fonction de répartition donnée par : $H(k) = P(j \leq k)$;

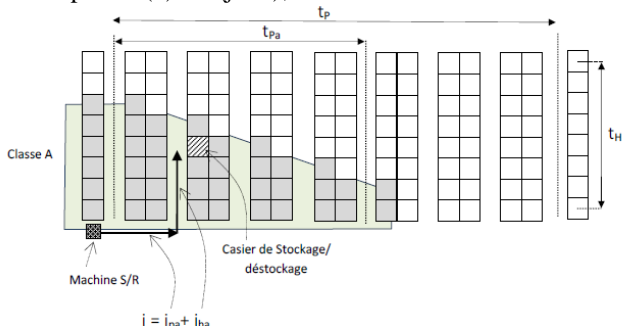


Fig. 4. Déplacement horizontal de la machine S/R dans la zone A (vue de haut)

Scindons le déplacement horizontal en deux déplacements. Les durées de ces déplacements horizontaux peuvent être représentées par les deux variables i_{pa} et i_{ha} .

La distribution exacte $g_p(k)$ peut être approchée par la distribution uniforme continue comme représentée sur la fig. 5.a

Tandis que la distribution exacte $g_h(k)$ peut être approchée par la distribution triangulaire continue représentée sur la fig. 5.b.

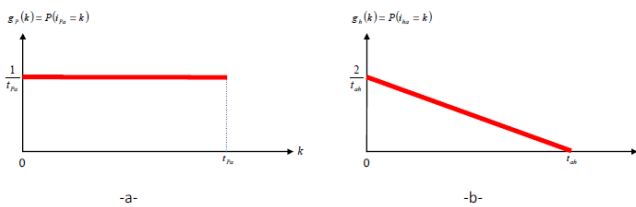


Fig. 5. Distributions continues approchées des variables i_{pa} et i_{ha}

$$g_p(k) = P(i_{pa} = k) = \begin{cases} \frac{1}{t_{pa}} & \text{Si } 0 \leq k \leq t_{pa} \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (1)$$

La variable aléatoire i_{ha} suit une loi triangulaire continue sur le support $[0 ; t_{ah}]$ et de mode 0. Elle est définie par la densité suivante sur $[0, t_{ah}]$:

$$g_h(k) = P(i_{ha} = k) = \begin{cases} \frac{2(t_{ah} - k)}{t_{ah}^2} & \text{Si } 0 \leq k \leq t_{ah} \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (2)$$

Le déplacement horizontal de la machine S/R est la somme de deux déplacements: $i = i_{pa} + i_{ha}$.

Donc, pour calculer la distribution de la variable i (notée $g(k)$), il faut calculer le produit de convolution des deux fonctions $g_p(k)$ et $g_h(k)$.

Nous trouvons la fonction suivante :

$$g(k) := \begin{cases} -\frac{k(k - 2tah)}{tpa tah^2} & k \leq tah \text{ et } 0 < k \\ \frac{tpa - 2k + 2tah}{tah^2} & tah < k \text{ et } k \leq tpa \\ \frac{(-tpa + k - tah)^2}{tpa tah^2} & tpa < k \text{ et } k \leq tpa + tah \end{cases} \quad (3)$$

Etudions maintenant le déplacement vertical de la machine S/R. L'approximation continue de ce déplacement est représentée dans la fig.6

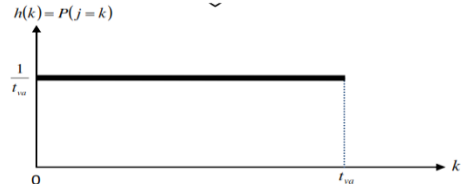


Fig. 6. Distribution de probabilité de la variable aléatoire j modélisant le déplacement vertical de la machine S/R

La densité de probabilité de ce déplacement vertical peut être représentée par la fonction suivante :

$$h(k) = P(j = k) = \begin{cases} \frac{1}{t_{va}} & \text{si } 0 < k \leq t_{va} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4)$$

Nous avons cité précédemment que le temps de déplacement total de la machine S/R est le maximum entre le déplacement horizontal et le déplacement vertical $\text{Max}(i, j)$. Alors, la fonction de répartition de $\text{Max}(i, j)$ notée par F est donnée par :

$$\begin{aligned} F(k) &= P(\text{Max}(i, j) \leq k) \\ &= P(i \leq k \text{ \& } j \leq k) \\ &= P(i \leq k) \cdot P(j \leq k) \\ &= G(k) \cdot H(k) \Rightarrow f(k) = F'(k) \\ &= g(k) \cdot H(k) + G(k) \cdot h(k) \end{aligned}$$

Selon les dimensions données pour la classe A et la configuration du système étudié, nous pouvons différencier 4 cas possibles dans le calcul de $F(k)$:

- 1^{er} cas: $0 < t_{va} \leq t_{pa}$
- 2^{ème} cas: $t_{pa} < t_{va} \leq t_{ah}$
- 3^{ème} cas: $t_{ah} < t_{va} \leq t_{pa} + t_{ah}$
- 4^{ème} cas: $t_{pa} + t_{ah} < t_{va}$

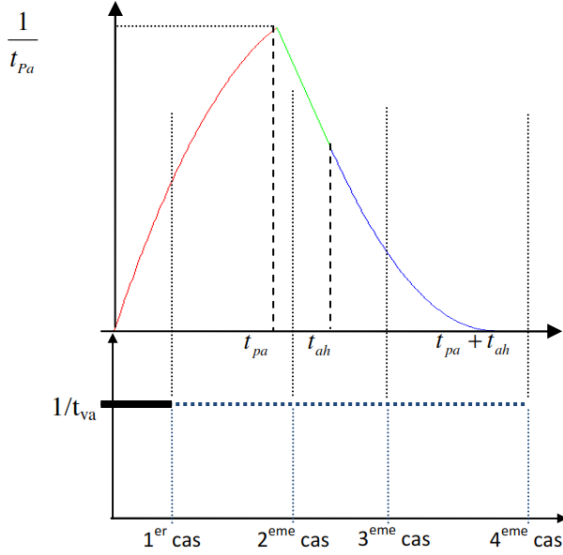


Fig. 7. Différents cas possibles

Après calcul, nous obtenons l'expression mathématique du temps moyen de simple cycle de la machine S/R dans le premier cas :

$$Esca_1 = \frac{1}{30} \frac{30 t_{pa}^2 t_{ah}^2 - t_{va}^4 + 5 t_{va}^3 t_{ah} + 20 t_{pa} t_{ah}^2}{t_{pa} \cdot t_{ah}^2} \quad (5)$$

Nous pouvons procéder de la même manière pour calculer le temps moyen pour le 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} cas. Notons que ($a=t_{ah}$, $b=t_{pa}$, $c=t_{va}$).

Nous trouvons, enfin, un système d'équations qui représente le temps moyen de simple cycle de la machine S/R pour visiter l'ensemble de casiers de la classe A.

$$E(sca) = \begin{cases} \frac{1}{30} \frac{-c^4 + 5c^3a + 30b^2a^2 + 20ba^3}{b^2a^2} & c \leq a \text{ et } 0 < c \\ \frac{1}{30} \frac{20b^2ca + 5c^2b^3 - 5c^4 - b^4 - 5b^3a + 20c^3a + 10b^2c^3 - 10b^2c^2 - 30ba^2c^2 + 30a^2cb + 20a^3c}{a^2c} & c \leq b \text{ et } a < c \\ \frac{1}{30} \frac{c^5 + (-5a - 5b)c^4 + 10(b+a)^2c^3 + (-10b^2 - 30b^2a - 10a^3)c^2 + 5(b+a)^4c - b^5 - 5b^4a - a^5}{a^2cb} & b < c \text{ et } c \leq b+a \\ \frac{1}{6} \frac{6c^2 + 2b^2 + 2ba + a^2}{c} & b+a < c \end{cases} \quad (6)$$

Le modèle que nous avons développé (6) est exprimé par des équations facilement calculables. Ce sont des fonctions continues et dérivables sur l'intervalle $[0, t_{pa}+t_{ah}]$, de plus, ce modèle peut être facilement utilisé pour l'étude et l'optimisation des dimensions de la classe A dans une stratégie de stockage par classe.

B. Temps moyen de simple cycle dans la Classe B

Pour calculer le temps moyen de simple cycle dans la classe B, nous procédons de la manière suivante :

- Suivant les mêmes étapes de calcul présentées dans la section précédente, nous calculons le temps moyen de simple cycle de la zone qui couvre la classe A et la classe B au même temps. Sachant que cette zone est

limitée par : t_{bh} , t_{pb} et t_{vb} , nous trouverons alors un système d'équation en fonction de t_{bh} , t_{pb} et t_{vb} . On le note : $E(scab)$.

- Après, nous calculons le nombre de casiers dans la zone A, (N_A) [33]
- Nous calculons ensuite le nombre de casiers dans la zone B, (N_B) [33]
- Enfin, nous calculons le temps moyen de simple cycle dans la classe B qui peut être représenté par l'expression suivante :

$$E(sc_b) = \frac{E(scba) \cdot (N_A + N_B) - E(sca) \cdot N_A}{N_B} \quad (7)$$

C. Temps moyen de simple cycle dans la Classe C

Nous avons, maintenant, les valeurs de $E(sc_b)$ et $E(sca)$, pour trouver le temps moyen de simple cycle dans la classe C. Il suffit alors de calculer la moyenne :

$$E(sc_c) = \frac{E(sc) \cdot N - E(sc_b) \cdot N_B - E(sca) \cdot N_A}{N_C} \quad (8)$$

Sachant que :

$$\begin{aligned} \overline{E(SC)} &= t_p + t_h + \frac{t_v^3}{12t_p t_h} \\ &+ \frac{(t_v - t_p - t_h)^3 \text{Max}(t_v - t_p, 0) - (t_v - t_h)^3 \text{Max}(t_v - t_h, 0)}{12t_p t_h t_v} \end{aligned} \quad (9)$$

Tel que $E(SC)$ est le modèle continu développé par [32] qui représente le temps moyen de simple cycle d'un AS/RS multi-allées avec une politique de stockage aléatoire.

VI. TEMPS MOYEN DE SIMPLE CYCLE POUR LE SYSTEME GLOBAL

Nous avons calculé précédemment les temps moyens de simple cycle pour les trois classes. La multiplication des trois expressions développées (6), (7) et (8) par le taux de rotation des produits dans chaque classe α , β et γ respectivement, nous donne finalement le temps moyen de simple cycle dans une politique de stockage par classe $E(SCBS)$:

$$\overline{E(SCBS)} = \alpha \overline{E(sca)} + \beta \overline{E(sc_b)} + \gamma \overline{E(sc_c)} \quad (9)$$

Avec

α : taux de rotation des produits dans la classe A

β : taux de rotation des produits dans la classe B

$\gamma = (1 - \alpha - \beta)$: taux de rotation des produits dans la classe C

VII. EXEMPLE NUMERIQUE

Dans cette section, nous présentons un exemple illustratif pour calculer le temps moyen de simple cycle $E(SCBS)$

Le stockage par classe subdivise les casiers en classes par rapport à leurs distances de la station de dépôt/livraison. Nous avons considéré trois classes de stockage différentes, à savoir:

A, B et C. Dans la classe A, les articles fréquemment commandés n'occupent qu'une petite place de l'espace de stockage total. Typiquement, les articles ou les produits qui occupent moins d'espace de stockage sont responsables de 80% (α) de rotation. 15% de rotation des produits peuvent être faites dans la classe B. Enfin, dans la classe C, le pourcentage de rotation des produits varie autour de 5%. (α , β , γ) sont répertoriés dans le table I.

TABLE I. TAUX DE ROTATION DES PRODUITS

Classe \ Stratégie	Classe A	Classe B	Classe C
Stockage par classe	80%	15%	5%
Stockage aléatoire	33.33%	33.33%	33.33%

Utilisant l'expression (9) et les paramètres énumérés dans le tableau 1, la valeur exacte du temps moyen de simple cycle E(SCBS) peut être facilement déterminée. Nous appliquons alors deux stratégies de stockages. Les résultats de ces paramètres sont donnés dans la table II.

TABLE II. COMPARAISON ENTRE LE STOCKAGE PAR CLASSE ET LE STOCKAGE ALEATOIRE

Configurations	1	2	3	4	5
Nombre de racks M	4	8	10	10	20
Nombre de casiers	800	3200	4000	16000	12500
NL	20	20	20	40	25
NH	10	20	20	40	25
(N_A, N_B, N_C)	(140,2 50,410)	(440,8 20,194 0)	(352,99 8,2650)	(2800,44 00,8800)	(910,217 0,9420)
Résultats du stockage aléatoire (33.33%,33.33% ,33.33%)					
E(SC)	208.45	278.32	272.61	505.59	340
Résultats du stockage par classe (80%,15%,5%)					
E(SC BS)	125.85	185.6	189.64	344,22	265.68

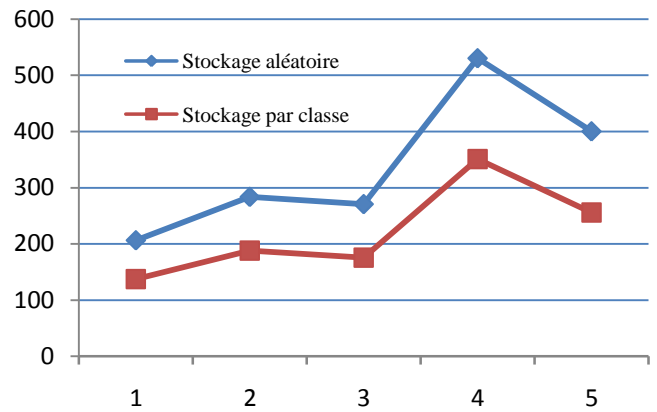


Fig. 8. Comparaison entre le stockage par classe et le stockage aléatoire

Nous pouvons remarquer à partir de la Fig. 8 que le stockage par classe s'avère très efficace par rapport au stockage aléatoire. Cette efficacité apparaît dans la diminution du temps entre les deux politiques. Cette diminution est autour d'une moyenne de 35%.

VIII. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons présenté l'approche continue développée. Cette dernière est une approche analytique basée sur une approximation continue des différentes distributions discrètes exactes modélisant les déplacements horizontaux et verticaux de la machine S/R dans chaque classe.

Le modèle développé est exprimé par des équations facilement calculables. Ce sont des fonctions continues et dérivables sur l'intervalle $[0, t_{pa} + t_{ah}]$, de plus, ce modèle peut être facilement utilisé pour l'étude et l'optimisation des dimensions de chaque classe A, B, C la classe A dans une stratégie de stockage par classe.

References

- [1] Frazelle, E. 2002 "Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management," 2002. McGraw-Hill, New York.
- [2] Silver, E.A., Pyke DF, Peterson R, « Inventory management and production planning and scheduling» 1998. 3rd ed., New York: Wiley;
- [3] Roodbergen K. J. and I. F. A. Vis «A survey of literature on automated storage and retrieval systems» European Journal of Operational Research, 194, p. 343-362, 2009
- [4] Goetschalckx, M., and Ratli., H.D, «Shared storage policies based on the duration stay of unit loads» Management Science 36(9), 1120-1132. 1990.
- [5] Hsieh, S., and Tsai, K.C, «A BOM oriented class-based storage assignment in an automated storage/retrieval system» International Journal of Advanced Manufacturing Technology 17(9), 683-691, 2001
- [6] Hausman, W.H., Schwarz, L.B., and Graves, S.C. 1976 «Optimal storage assignment in automatic warehousing systems» Management Science 22(6), 629-638.
- [7] Hausman, W.H., Schwarz, L.B., and Graves, S.C. «Optimal storage assignment in automatic warehousing systems» Management Science 22(6), 629-638, 1976.

- [8] Graves, S.C., Hausman, W.H., and Schwarz, L.B. «Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems» *Management Science* 23(9), 935-945, 1977.
- [9] Schwarz, L.B., Graves, S.C., and Hausman, W.H. «Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results» *AIIE Transactions* 10(3), 260-270, 1978.
- [10] Goetschalckx, M., and Ratli, H.D.«Shared storage policies based on the duration stay of unit loads» *Management Science* 36(9), 1120-1132, 1990.
- [11] Van den Berg, J.P. «A literature survey on planning and control of warehousing systems» *IIE Transactions* 31, 751-762, 1999.
- [12] Jarvis, J.M., and McDowell, E.D.«Optimal product layout in an order picking warehouse» *IIE Transactions* 23(1), 93-102, 1991.
- [13] Tang, L.C., and Chew, E.K. «Order picking systems: batching and storage assignment strategies» *Computers & Industrial Engineering* 33(3-4), 817-820,1997..
- [14] Chew, E.P., and Tang, L.C. «Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse» *European Journal of Operational Research* 112, 582-597, 1999.
- [15] Caron, F., Marchet, G., and Perego, A. «Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems» *International Journal of Production Research* 36(3), 713- 732, 1998.
- [16] Caron, F., Marchet, G., and Perego, A. «Layout design in manual picking system: a simulation approach» *Integrated Manufacturing Systems* 11(2), 94-104, 2000.
- [17] Ashayeri, J., Heuts, R.M., Valkenburg, M.W.T., Veraart, H.C., and Wilhelm, M.R. «A geometrical approach to computing expected cycle times for zone-based storage layouts in AS/RS» *International Journal of Production Research* 40(17), 4467-4483, 2002.
- [18] Park B.C., Park, J.Y., and Foley, R.D. «Carousel system performance» *Journal of Applied Probability* 40(3), 602-612,2003.
- [19] Park, B.C. «Performance of automated storage/retrieval systems with non-square in- time racks and two-class storage» *International Journal of Production Research* 44(6), 1107-1123, 2006.
- [20] Le-Duc, T. and R. De Koster, 2004 «Travel distance estimation in a single-block ABC storage strategy warehouse, In: Fleischmann and Klose (eds.) *Distribution Logistics: advanced solutions to Practical Problems*» p. 185-202 (Berlin: Springer Verlag).
- [21] Le-Duc, T., and De Koster, M.B.M. 2005 «Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse» *International Journal of Production Research* 43(17), 3561-3581.
- [22] Le-Duc, T., and De Koster, R.M.B.M. 2007 «Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse» *European Journal of Operational Research* 176(1), 374388.
- [23] Roodbergen K. J. and I. F. A. Vis, 2009 «A survey of literature on automated storage and retrieval systems» *European Journal of Operational Research*, 194, p. 343-362
- [24] Guenov, M., and Raeside, R. 1992 «Zone shapes in class based storage and multicommand order picking when storage/retrieval machines are used» *European Journal of Operational Research* 58(1), 37-47.
- [25] Rosenblatt, M.J., and Eynan, A. 1989 «Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage /retrieval systems» *Management Science* 35(12), 1519-1524.
- [26] Eynan, A., and Rosenblatt, M.J. 1994 «Establishing zones in single-command class-based rectangular AS/RS» *IIE Transactions* 26(1), 38-46.
- [27] Ha, J.W., and Hwang, H. 1994 «Class-based storage assignment policy in carousel system» *Computers & Industrial Engineering* 26(3), 489-499.
- [28] Eldemir F, R. J. Graves and C. J. Malmborg, 2004 «New cycle time and space estimation models for automated storage and retrieval system conceptualization» *International Journal of Production Research*, 42 (22), pp. 4767-4783.
- [29] Muppani V. R. et G. K. Adil, 2008 «A branch and bound algorithm for class based storage location assignment» *European Journal of Operational Research*, 189 (2) p. 492-507.
- [30] Gaouar N., Sari, Z., Ghouali, N.«Développement d'une Heuristique de Stockage/Déstockage pour un Système AS/RS à Convoyeur Gravitationnel». 6^{ème} Congrès International de Génie Industriel, (GI'2005), 7-10 Juin 2005, Besançon Micropolis, France
- [31] Gaouar, N., Sari,Z., Ghouali,N. 2006« Modélisation et implémentation d'une Heuristique de Stockage/Déstockage pour un Système AS/RS à Convoyeur Gravitationnel». 6^{ème} Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'06), 3-5 avril 2006, Rabat, Maroc.
- [32] Cardin,O., Pierre, C.,Sari,Z., Meghelli, N. 2012 «Performance evaluation of In-Deep Class Storage for Flow-Rack AS/RS». *International Journal of Production Research*, pp.6775-6791.
- [33] Guezzen A.H., Sari,Z, Castagna,P, Cardin,O, 2013 «Travel Time Modeling and Simulation of a Mobile Racks Automated Storage/Retrieval System» *IJET Vol.5 (3): 420-423 ISSN: 1793-8236*.
- [34] Ouhoud, A., A.H. Guezzen, Sari,Z, 2015 «Discrete Model for Single Cycle Time of Multi Aisles Automated Storage and Retrieval System with Class-Based Storage » In editing in *CEAI for Vol.16 (2): 2015 420-423 ISSN: 1454-8658*,