



CIRRELT

Centre interuniversitaire de recherche
sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport

Interuniversity Research Centre
on Enterprise Networks, Logistics and Transportation

Impacts de la configuration de l'entrepôt et de la localisation des produits sur l'efficacité des parcours de collecte : un cas réel

Élise Tremblay
Fayez Boctor
Jacques Renaud

Octobre 2012

CIRRELT-2012-54

Document de travail également publié par la Faculté des sciences de l'administration de l'Université Laval,
sous le numéro FSA-2012-012.

Bureaux de Montréal :

Université de Montréal
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal (Québec)
Canada H3C 3J7
Téléphone : 514 343-7575
Télécopie : 514 343-7121

Bureaux de Québec :

Université Laval
2325, de la Terrasse, bureau 2642
Québec (Québec)
Canada G1V 0A6
Téléphone : 418 656-2073
Télécopie : 418 656-2624

www.cirrelt.ca

Impacts de la configuration de l'entrepôt et de la localisation des produits sur l'efficacité des parcours de collecte : un cas réel

Élise Tremblay, Fayez Boctor*, Jacques Renaud

Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation (CIRRELT) and Department of Operations and Decision Systems, 2325, de la Terrasse, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6

Résumé. Cet article étudie l'impact de la configuration des allées d'un entrepôt et de la localisation des produits dans ces allées sur la distance à parcourir lors de la collecte des commandes. Cette étude est basée sur les données réelles d'un centre de distribution de la région de Québec. Les résultats obtenus, basés sur un échantillon de plus de 1000 commandes, démontrent que des réductions importantes des parcours de collecte, de l'ordre de plus de 16 %, peuvent être réalisées.

Mots clés. Gestion des entrepôts, localisation des produits dans un entrepôt, configuration de l'entrepôt.

Remerciements. Cette recherche a été partiellement financée par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), subventions OGP0172633 et OPG0036509. Ce support est grandement apprécié. Nous remercions également les dirigeants de l'entreprise pour avoir accepté de nous fournir toutes les informations nécessaires sur l'entrepôt ainsi que sur les commandes.

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

* Auteur correspondant: Fayez.Boctor@cirrelt.ca

Introduction

L'aménagement physique d'un centre de distribution, la localisation des produits ainsi que les techniques de collecte ont un impact direct sur le temps de prélèvement des commandes et sur la capacité de traitement du centre. Ce sont ces éléments qui déterminent avec quelle rapidité et précision un centre de distribution pourra expédier les commandes à ses clients.

Le présent article s'appuie sur le cas d'une compagnie québécoise œuvrant dans le secteur de l'alimentation désirent optimiser ses activités d'entreposage. Cette entreprise est un chef de file dans la fabrication de biscuits, de craquelins, de collations, de céréales et de chocolat. Afin de demeurer compétitive, l'entreprise innove constamment tant au niveau de ses produits qu'au niveau de ces processus opérationnels. Nous allons plus particulièrement étudier le processus de collecte des commandes dans le centre de distribution de la compagnie situé dans la ville de Québec. Ce centre de distribution est responsable de l'approvisionnement de tous les clients québécois de la compagnie. Les quantités commandées peuvent être à la caisse comme à l'unité en fonction de la taille du client. Le centre de distribution étudié ne dessert pas les autres centres de distribution satellites de la compagnie qui sont approvisionnés en pleines palettes à partir d'une usine de production distincte.

Le centre de distribution étudié doit assembler plus de 1000 commandes par semaine. Les opérations liées à la collecte des produits et à la préparation des commandes dans l'entrepôt sont donc d'une grande importance. De plus, puisque les produits sont ramassés à la caisse ou à l'unité et que cette activité nécessite plusieurs employés, il s'agit d'une source majeure de coûts comparativement aux autres activités d'entreposage. La compagnie est consciente de la nécessité de réduire les coûts de collecte pour demeurer concurrentielle. Lors d'études précédentes, il a été démontré que la stratégie actuelle de localisation des produits dans les alvéoles n'était pas très efficace et que d'importants gains étaient possibles.

Dans le but d'améliorer les performances actuelles du centre de distribution, nous allons analyser l'effet à la fois de certaines modifications de la configuration de l'entrepôt et de la relocalisation des produits dans l'entrepôt. Une amélioration de la performance des opérations se traduira par une réduction de la distance globale parcourue par les cueilleurs lors de la collecte des commandes.

Le présent article est structuré comme suit. La prochaine section présente une brève revue de la littérature sur les principaux éléments de gestion d'un centre de distribution. Nous proposons ensuite l'ajout de certaines allées dans l'entrepôt afin d'améliorer l'accessibilité aux produits. La relocalisation des produits aux différentes alvéoles est ensuite proposée. La cinquième section présente la méthode qui sera utilisée pour planifier les tournées de collecte des produits. Les résultats numériques sont ensuite exposés et les conclusions terminent l'article.

Revue de la littérature

La recherche sur la gestion des entrepôts et des centres de distribution a connue une augmentation significative au cours des dernières années. Les revues récentes par Gu et al. (2010), Roodbergen et Vis (2009), de Koster et al. (2007), Gu et al. (2007), Rouwenhorst et al. (2000) et de Van den Berg (1999) démontrent l'ampleur de l'intérêt à l'égard de cette problématique. Parmi les principales activités d'un centre de distribution que sont la réception, l'entreposage, la collecte des commandes et l'expédition (respectivement *receiving*, *storage*, *order picking* et *shipping* en anglais), plus de 93% des publications se concentraient sur l'entreposage et la collecte (Gu et al. 2007).

La recherche sur l'entreposage se concentre principalement sur le positionnement (localisation) des produits en entrepôt ainsi que sur la quantité d'espace à attribuer à chaque produit. Au niveau des stratégies de positionnement notons l'entreposage dédié, aléatoire, par classe ou par zone (De Koster et al. 2007). Le problème de l'utilisation d'une zone de collecte rapide et d'une zone de réserve tout comme l'affectation des produits à ces zones est également un sujet important (Ven Den Berg et al. 1998). Dans le présent travail l'entreprise utilise une zone de collecte rapide avec un entreposage dédié, c'est-à-dire que chaque produit présent dans la zone de collecte rapide occupe toujours la même localisation.

Il existe une littérature abondante sur la collecte des commandes. De façon générale nous pouvons classer les techniques de collecte comme étant discrète, par zone (séquentielle ou parallèle), groupé, par vagues ou comme toutes combinaisons hybrides de ses modèles de base (De Koster et al. 2007). Dans le cadre de cette recherche, l'entreprise utilise une technique de collecte des commandes discrète, c'est-à-dire que chaque cueilleur collecte seul tous les produits d'une seule commande à la fois. Il existe une littérature abondante sur les méthodes heuristiques pour planifier les tournées lorsque la collecte discrète des commandes est utilisée (Petersen et Aase, 2004; De Koster et Van Der Poort, 1998, Petersen, 1997).

Alors que la gestion de l'entreposage et des routes de collecte sont des considérations tactiques, la configuration d'entrepôt est un problème stratégique beaucoup plus complexe à optimiser (Rouwenhorst et al. 2000). En effet, à chaque configuration distincte peut correspondre une stratégie d'entreposage et de collecte particulière. L'optimisation simultanée de ces éléments est particulièrement difficile.

Configurations analysées

La configuration exacte de l'entrepôt au moment où nous avons mené cette étude est présentée à la Figure 1. Les produits sont localisés en 186 emplacements répartis sur les trois allées 8, 6 et 5. L'allée 7 est une allée de réserve utilisée pour le réapprovisionnement des alvéoles de collecte. Les allées 4, 3, 2 et 1 sont également des allées de réapprovisionnement en plus de servir à l'entreposage des matières premières. Puisqu'elles sont non pertinentes pour cette étude elles ne sont pas illustrées à la Figure 1. Notons que l'allée 8 est large de 15 pieds ce qui en fait une allée de prédilection pour localiser les produits fréquemment commandés. Les allées 6 et 5 sont beaucoup moins larges (seulement 6 pieds de largeur) ce qui fait qu'elles doivent être parcourues par un seul cueilleur à la fois.

Puisque 128 produits doivent être entreposés et que l'entreprise dispose de 186 localisations, elle positionne les produits comme suit. Premièrement les 62 produits les plus commandés sont positionnés à l'intérieur de l'allée 8 aux positions 1 à 62. Notons que la position 0 (en rouge sur la figure) représente le lieu de consolidation et de préparation des commandes. Les cueilleurs y débutent et terminent donc toutes leurs routes. Les autres produits sont placés dans l'allée 6 aux localisations 63 à 124. Finalement, les quatre produits les moins commandés sont positionnés aux localisations 125, 126, 156 et 157. Une fois tous les 128 produits positionnés, il reste 58 alvéoles libres dans l'allée 5. Pour ces 58 alvéoles, l'entreprise utilise le principe du *miroir*, c'est-à-dire qu'elle reproduit l'allée 6 dans l'allée 5. Pour chaque position libre dans l'allée 5, nous positionnons le produit qui occupe la même position dans l'allée 6. Ainsi, à la Figure 1, les produits occupant les localisations 65 à 93 seront également placés aux localisations 127 à 155 et ceux qui occupent les positions 96 à 124 seront dupliqués aux localisations 158 à 186. L'objectif de cette stratégie repose sur le fait que ces deux allées sont étroites et qu'elles ne peuvent être parcourues que par un seul cueilleur à la fois. Donc si un cueilleur est déjà engagé dans l'allée 6, un second cueilleur pourra emprunter l'allée 5 et y retrouver pratiquement les mêmes produits.

Le défaut de cette configuration et que les cueilleurs doivent parcourir entièrement les allées avant de pouvoir passer à la suivante. Cette situation est particulièrement défavorable lorsque les commandes renferment peu de produits et qu'une allée doit être parcourue entièrement avant de pouvoir passer à la suivante. L'objectif des configurations présentées aux Figures 2 à 5 vise à contourner ce problème.

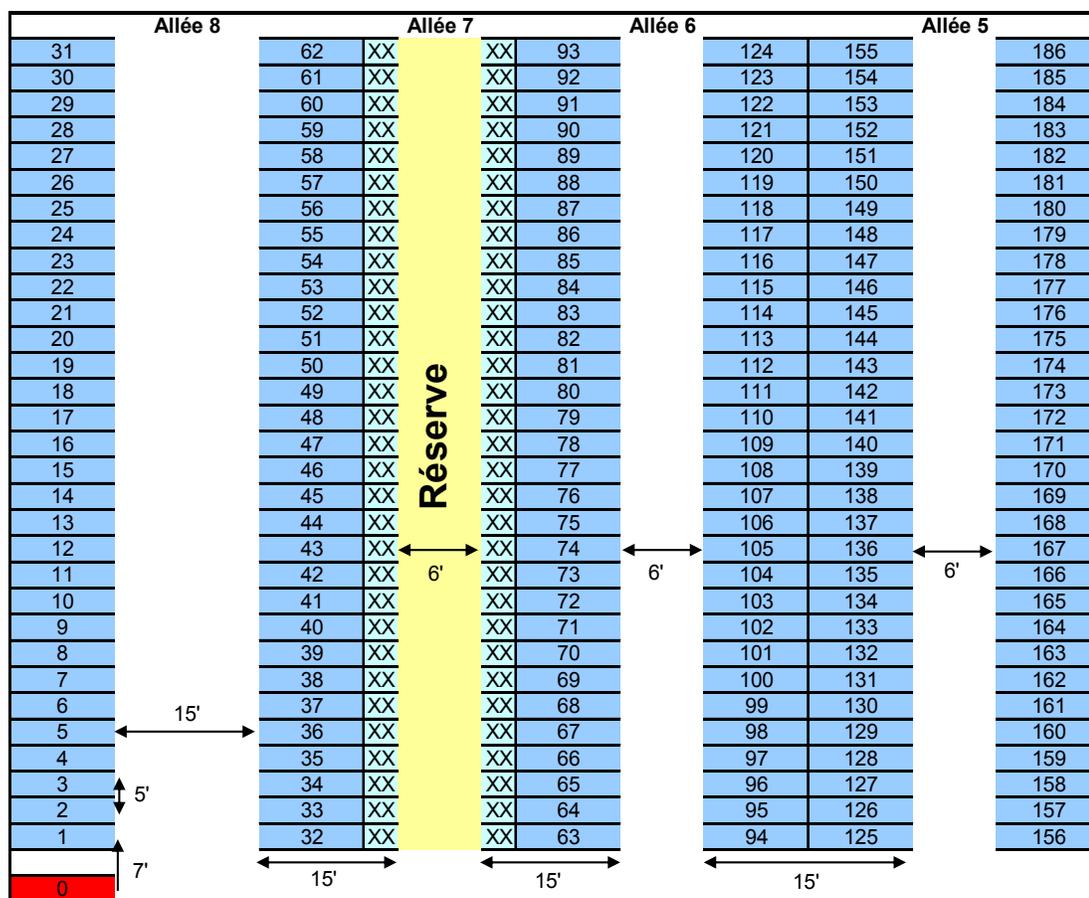


Figure 1: La configuration initiale

flexibilité au début des allées 8 et 6. Ainsi, avec un couloir au premier tiers de l'allée 8, plus d'alvéoles sont à une plus petite distance du point de départ.

La troisième configuration proposée possède deux grands couloirs parallèles qui traversent les trois allées de cueillette (Figure 4). Cette configuration possède 170 emplacements, soit une perte de 16 emplacements par rapport à la configuration initiale. L'hypothèse à vérifier ici est que malgré la perte d'emplacements due à la création des deux couloirs, les cueilleurs vont maintenant pouvoir bénéficier d'une flexibilité accrue lors de leurs déplacements. Par exemple, peu importe où le cueilleur se situera dans l'entrepôt, il pourra entrer ou sortir rapidement d'une allée. L'inconvénient est qu'en perdant des alvéoles, les produits qui y étaient entreposés originalement sont maintenant plus éloignés du point de départ.

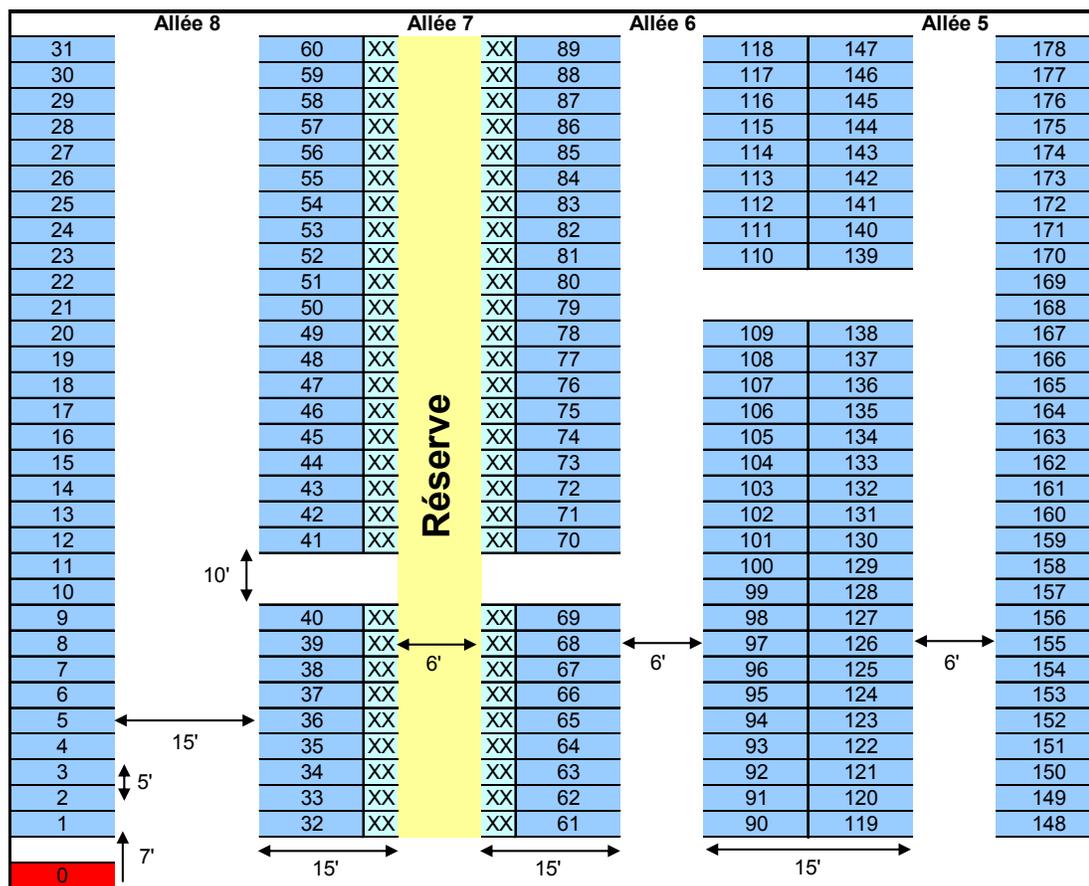


Figure 3: La configuration proposée # 2

La dernière configuration proposée, Figure 5, utilise 3 courts couloirs et possède 174 emplacements soit 12 de moins que la configuration initiale. L'avantage de cette configuration vient du fait de conserver un plus grand nombre d'emplacements pour l'allée 8 qui renferme les produits très en demande. De plus, considérant le fait que les allées 6 et 5 renferment des produits peu commandés, les deux couloirs permettent d'augmenter la flexibilité des déplacements entre ces allées. On suppose

La nouvelle méthode de localisation, appelée ci-après « emplacement Jaccard », que nous proposons est basée sur l'indice de Jaccard. L'indice de Jaccard est un coefficient d'association connu pour étudier la similarité entre des objets caractérisés par des données binaires de présence-absence (Youness et al., 2004). L'indice de Jaccard est un coefficient qui permet de déterminer, en pourcentage, le degré de ressemblance entre deux éléments. Dans notre contexte, cet indice mesure la fréquence à laquelle deux produits se retrouvent en même temps dans une commande. Plus l'indice est élevé pour une paire de produits donnée, plus la fréquence à laquelle ces deux produits se retrouvent en même temps dans une commande est élevée. Nous avons donc intérêt à localiser ces produits près les uns des autres. Par exemple, si l'indice de Jaccard pour la paire de produits 2 et 9 est de 80%, cela indique que lorsque que le produit 2 apparaît dans une commande, la probabilité que le produit 9 y apparaisse également est estimée à 80%. L'indice de Jaccard entre les produits p et q se calcule comme suit :

$$J(p, q) = \frac{X(p, q)}{X(p, q) + X(p, \bar{q}) + X(\bar{p}, q)}$$

Alors que :

$X(p, q)$ = nombre de commandes incluant à la fois le produit p et le produit q ;

$X(p, \bar{q})$ = nombre de commandes incluant le produit p mais n'incluant pas le produit q ;

$X(\bar{p}, q)$ = nombre de commandes n'incluant pas le produit p mais incluant le produit q .

La Figure 6 présente une liste des 10 commandes pour 6 différents produits. Pour la paire de produits 1 et 5, on constate que ces deux produits ne sont commandés simultanément que dans la commande 2, alors $X(1,5) = 1$. Par ailleurs, le produit 1 est dans les commandes 1, 5, 8 et 9 sans que le produit 5 n'y soit, ainsi, $X(1, \bar{5}) = 4$. Pareillement, le produit 5 est dans les commandes 6 et 10 sans que le produit 1 ne s'y trouve, alors $X(\bar{1}, 5) = 2$. L'indice de Jaccard, $J(1,5) = \frac{1}{1+4+2} = \frac{1}{7}$.

		Produit					
		1	2	3	4	5	6
Commande	1	1					
	2	1	1		1	1	
	3						
	4		1	1			1
	5	1			1		
	6					1	
	7			1			
	8	1		1	1		
	9	1					
	10		1		1	1	

Figure 6. Une liste de 10 commandes

La procédure de localisation des produits basés sur l'indice de Jaccard peut maintenant être décrite comme suit :

0. Sélectionner deux seuils α et β qui dirigent l'utilisation de l'indice Jaccard. Considérer seulement les localisations des allées 8 et 6 ainsi que le nombre suffisant de localisations de l'allée 5 pour obtenir un total de 128 localisations.
1. Si tous les produits sont localisés, aller à l'étape 6. Sinon, soit p le produit non localisé apparaissant le plus souvent dans les commandes.
2. Assigner le produit p à l'alvéole encore libre la plus proche du point de départ.
3. Soit q le produit ayant le plus fort indice de similarité de Jaccard avec p . Si $J(p,q) \geq \alpha$, assigner q à l'alvéole encore libre la plus proche de celle de p . Sinon, retourner à l'étape 1.
4. Soit k le produit ayant le plus fort indice de similarité de Jaccard avec p ou avec q . Si $J(p,q) - \text{Max}(J(p,k) ; J(k,q)) \geq \beta$, assigner k à l'alvéole encore libre la plus proche de celle de p . Sinon, retourner à l'étape 1.
5. Retour à l'étape 4.
6. Lorsque tous les produits auront été localisés, combler les localisations restantes de l'allée 5 en utilisant le principe du miroir.

Des tests préliminaire (Martel 2008) ont montrés que les valeurs $\alpha = 0,35$ et $\beta = 0,35$ procurent les meilleurs résultats.

Définition des tournées de collecte

Il est bien connu que le problème de définition des tournées de collecte des produits dans un entrepôt général avec des allées pouvant être parcourues dans les deux sens correspond à un problème du voyageur de commerce (TSP – *Traveling Salesman Problem*). Cela est vrai lorsque chaque produit occupe une seule localisation dans l'entrepôt. Ratliff et Rosenthal (1983) ont démontré que si le système est composé de plusieurs allées complètes disposées en parallèle, il s'agit d'un cas particulier du TSP qui est polynomial, donc facile à résoudre. Roodbergen et de Koster (2001) ont prolongé les travaux de Ratliff et Rosenthal en démontrant que le problème demeurerait facile en présence d'un couloir transversal unique qui croise toutes les allées au même endroit. Ces résultats ne peuvent cependant pas être appliqués au cas où seules certaines allées disposent d'un couloir ou si les couloirs ne sont pas situés aux mêmes endroits dans les diverses allées. De plus, lorsque certains produits sont présents en plusieurs localisations, le problème de tournées correspond alors à un problème du voyageur de commerce généralisé (GTSP – *Generalized Traveling Salesman Problem*, voir Renaud et Boctor, 1998) où, en plus de devoir déterminer la tournée la plus courte, il faut également choisir en quelle localisation les produits seront collectés. Le GTSP demande de déterminer le cycle le plus court visitant chaque groupe de nœuds une et une seule fois et visitant un seul nœud par groupe. Le problème de collecte que nous devons résoudre est donc beaucoup plus complexe et se modélise sous la forme d'un GTSP.

La définition du parcours de collecte pour chaque commande demande donc la résolution d'un GTSP. À titre d'exemple, si une commande particulière demande la collecte de 20 produits disposés dans un total de 25 localisations nous devons résoudre un GTSP ayant 26 nœuds (les 25 localisations plus le point de départ). Chaque produit positionné dans une seule localisation est modélisé comme un groupe ayant un seul nœud. Pour chaque produit ayant deux localisations et plus on forme un groupe comportant autant de nœuds que de localisations. La première étape consiste donc à extraire la matrice des distances de ces 26 nœuds à partir de l'ensemble des distances de l'entrepôt et à créer les groupes nécessaires. Une fois cette étape effectuée, le GTSP peut être résolu à l'aide d'heuristiques reconnues. Puisque l'objectif de

cette étude n'est pas de développer une heuristique performante pour le GTSP, nous avons implanté une approche basée sur l'insertion la plus éloignée (Rosenkrantz et al., 1977) en l'adaptant pour le GTSP (Noon, 1988). Ainsi, à chaque étape nous cherchons le nœud k le plus loin de tous les autres nœuds sur le tour. Si ce nœud k appartient à un groupe pour lequel un autre nœud l est déjà sur le tour, le nœud k est éliminé et n'a plus à être considéré. Autrement, le nœud k est inséré sur le tour entre deux autres nœuds p et q en appliquant le principe de l'insertion la moins coûteuse; c'est-à-dire que les nœuds p et q sont sélectionnés de façon à ce que $d(p,k) + d(k,q) - d(p,q)$ soit minimisé, $d(p,k)$ étant la distance entre les nœuds p et k .

Résultats numériques

Dans cette section nous allons évaluer la performance de la configuration actuelle et des quatre configurations proposées combinées avec les trois méthodes de localisation des produits ce qui procure 15 combinaisons différentes. Pour évaluer chacune de ces combinaisons nous avons utilisé les 1 034 commandes d'une semaine de travail du mois de mai. Ces 1 034 commandes regroupent 18 302 lignes de produits pour un total de 41 413 caisses commandées.

Un logiciel a été développé en Pascal Delphi Studio afin d'implanter les différentes configurations d'entrepôt sous forme de réseaux, les techniques de localisation ainsi que l'approche de définition des tournées de collecte. Pour chacune des 15 combinaisons nous avons calculé la distance totale de cueillette pour les 1 034 commandes. Les temps de calcul sont négligeables et presque identiques pour toutes les configurations testées, ils ne sont donc pas présentés. Le Tableau 1 présente la distance totale parcourue en pieds (pour la collecte des 1 034 commandes) pour chacune des 15 combinaisons testées.

	Configuration Initiale	Configuration expérimentale # 1	Configuration expérimentale # 2	Configuration expérimentale # 3	Configuration expérimentale # 4
Emplacements Initiaux	482 200	481 136	484 020	466 096	462 942
Emplacements Distances	460 550	436 314	438 168	424 770	431 956
Emplacements Jaccard	402 978	407 530	402 146	409 794	409 180

Tableau 1. Distance totale parcourue pour chacune des combinaisons

Les résultats ombragés représentent les meilleurs résultats pour chaque type de configuration ainsi que pour chaque méthode de localisation testée. À prime abord, on constate que pour chaque configuration c'est-à-dire, la configuration initiale et les 4 configurations expérimentales, la stratégie de localisation des produits selon l'indice de Jaccard performe mieux dans tous les cas avec des améliorations allant de 11,6% à 16,9% par rapport à la localisation initiale. Dans le cas de la configuration actuelle, la réduction est de 79 222 pieds par semaines ce qui est considérable.

On peut conclure que la configuration expérimentale # 2 (Figure 3) combinée avec la stratégie de localisation des produits selon l'indice de Jaccard est la combinaison offrant la meilleure performance en termes de distance totale parcourue, soit 402 146 pieds, il s'agit d'une réduction de 16,43% par rapport à

la situation actuelle (482 200 pieds). Cependant, cette configuration offre les moins bons résultats si elle est utilisée avec la localisation actuelle des produits. La distance totale à parcourir est alors de 484 020 pieds, soit une légère augmentation de 0,3%. Cela s'explique par le fait que la présence de couloirs repousse certains produits et que si un repositionnement adéquat n'est pas effectué, les résultats se dégradent.

Notons finalement que pour l'entrepôt étudié, la méthode localisation des produits a un impact plus important sur les résultats que la configuration. Pour une méthode de localisation donnée, l'écart de performance entre les configurations est toujours inférieur à 36 000 pieds. À l'opposé, pour une configuration donnée l'écart de performance entre les différentes localisations est de 53 000 à 79 000 pieds. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les allées de l'entrepôt sont relativement courtes et peu nombreuses ce qui réduit l'impact de l'augmentation de la flexibilité qu'apporte les couloirs. Des résultats différents seraient à prévoir si les allées étaient beaucoup plus longues.

Conclusion

Cet article a analysé l'importance de la localisation des produits et de la configuration du système d'entreposage sur les opérations de collecte d'une entreprise réelle œuvrant dans le domaine alimentaire. Nous avons modélisé l'entrepôt actuel ainsi que quatre configurations alternatives. Nous avons reproduit la localisation des produits utilisés par l'entreprise et testé quatre méthodes de localisation alternatives. Nous avons reproduit les opérations de l'entreprise en utilisant un ensemble de plus de 1000 commandes. Nos résultats démontrent qu'un simple repositionnement des produits dans l'entrepôt permet de réduire la distance de collecte de plus de 79 000 pieds par semaine soit une réduction de 16,4 %. Si l'entreprise accepte de positionner des couloirs supplémentaires, des réductions allant jusqu'à 82 000 pieds sont réalisables soient 16,9 %. Dans les deux cas les améliorations proposées peuvent être implantées sans effort notable.

Références

- De Koster R. & Van Der Poort E., 1998. Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *IIE Transactions*, 30, 469-480.
- De Koster R., Le-Duc T. & Jan Roodbergen K., 2007. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481-501.
- Gu J., Goetschalckx M. & McGinnis L. F., 2007. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 117, 1-21.
- Gu J., Goetschalckx M. & McGinnis L. F., 2010. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203, 539-549.
- Martel D., 2008. Localisation optimale des marchandises dans un entrepôt. Mémoire de maîtrise. Faculté des sciences de l'administration, Université Laval.
- Noon C. E., 1988. The generalized traveling salesman problem. Ph. D. thesis, The University of Michigan.
- Petersen II C. G., 1997. An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17, 1098-1111.
- Petersen C. G. & Aase G., 2004. A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92, 11-19.

- Ratliff H. D. & Rosenthal A. S., 1983. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31, 507-521.
- Renaud J. & Boctor F. F., 1998. An efficient composite heuristic for the symmetric generalized traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 108, 571-584.
- Roodbergen K. J. & de Koster R., 2001. Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133, 32-43.
- Roodbergen K. J. & Vis I. F.A., 2009. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194, 343-362.
- Rosenkrantz D. J., Stearns R. E. & Lewis II P. M., 1977. An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. *SIAM Journal on Computing*, 6, 563-581.
- Rouwenhorst B., Reuter B., Stockrahm V., van Houtum G. J., Mantel R. J. & Zijm W. H. M., 2000. Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.
- Tremblay É., 2008. Impacts de la configuration d'un entrepôt sur la performance des opérations. Mémoire de maîtrise. Faculté des sciences de l'administration, Université Laval.
- Van den Berg J. P., 1999. A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE Transaction*, 31, 751-762.
- Van den Berg J. P., Sharp G. P., Gademann A. J. R. M. (Noud) & Pochet Y., 1998. Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments. *European Journal of Operational Research*, 111, 98-113.
- Youness G. & Saporta G., 2004. Une méthodologie pour la comparaison de partitions. *Revue de Statistique Appliquée*, 52 97-120.