

Réduction du temps de préparation des commandes à travers l'amélioration du placement des produits dans l'entrepôt

MOHAMED MAFTAH^{1,2}, BRUNO AGARD^{1,2}

¹ Laboratoire en Intelligence des Données
Département de mathématiques et génie industriel,
École Polytechnique de Montréal, CP 6079, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada
mohamed.maftah@polymtl.ca, bruno.agard@polymtl.ca

² Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'Entreprise, la Logistique et le Transport (CIRRELT)

Résumé

Pour être compétitives, les entreprises cherchent à améliorer leur offre de service en optimisant leur chaîne logistique, y compris la façon dont elles font leur entreposage. La préparation des commandes est une étape cruciale dans la chaîne logistique car elle touche directement la satisfaction des clients. Plusieurs facteurs impactent la préparation des commandes. Dans cette étude l'intérêt est porté sur le placement des produits dans l'entrepôt, qui est considéré comme l'un des moyens de réduction du temps d'assemblage des commandes. Le cas d'étude porte sur un entrepôt classique constitué de deux blocks, avec des allées parallèles et où la collecte des produits se fait manuellement. La base de données traitée contient cinq années de données d'expédition concernant les ventes effectuées en ligne. Avec la distance parcourue comme indicateur de performance, les produits sont ré-agencés à l'aide d'une heuristique basée sur le stockage par index suivant différents scénarii. Les résultats obtenus montrent des diminutions de la distance totale parcourue durant une année allant de 43% à 62%.

Abstract

In order to remain competitive, companies try to optimize their services by improving their supply chain management, including the way that they conduct their storage. Order-picking is a crucial step towards that goal. Indeed, because, order-picking impacts directly client satisfaction. Order-picking depends on many factors. In this project we are interested in storage assignment as a way to reduce the time needed to complete order-picking operations. We consider a classic warehouse made of two blocks, with parallel aisles and where order-picking is done manually. The dataset we have at our disposal contains five years of warehouse data concerning online sales. Using distance as our performance measure, we reassign products to storage locations by developing a method based on storage by index. Results show a decrease in the total distance going from 43% up to 62%.

Mots clés - Placement des produits, préparation des commandes, stockage par index, gestion d'entrepôt.

Keywords - Storage location assignment problem, Order-picking, index based storage, warehouse management.

1 INTRODUCTION

Face à la concurrence du marché, plusieurs entreprises cherchent à se différencier de leurs concurrents en réduisant leurs coûts et en offrant de meilleurs services. Cela passe en particulier par l'optimisation leurs chaînes d'approvisionnement. Pour ce faire, elles essayent de faire des choix plus judicieux concernant la gestion de leur inventaire de matière première en déterminant quelle quantité de produits garder en stock et quand se réapprovisionner, ou bien en essayant d'augmenter la productivité de leurs systèmes de production par exemple en implantant le juste-à-temps, ou encore en améliorant leurs systèmes de distribution en minimisant le nombre de kilomètres parcourus ainsi que les délais de livraison.

L'entrepôt n'échappe pas cette tendance. Effectivement, les changements qu'apportent les entreprises à leur chaîne d'approvisionnement impactent l'entreposage et rendent sa gestion plus complexe. Dans un entrepôt où des milliers d'items doivent être expédiés quotidiennement, la préparation de commande – opération basique dans tout entrepôt qui consiste à rassembler des produits des endroits où ils sont stockés afin de satisfaire la commande d'un client – est une tâche très laborieuse qui génère jusqu'à 55% des coûts opérationnels d'un entrepôt [Tompkins et al., 2003].

Dans le présent article, nous proposons une méthodologie qui vise à réduire le temps de préparation des commandes dans un cas industriel spécifique. Ceci se fera à travers le développement d'une stratégie d'assignation des produits à des emplacements dans l'entrepôt qui tient en compte de la structure de l'entrepôt, de la stratégie de routage, de la méthode de fabrication des listes de cueillette ainsi que des caractéristiques de la demande des clients. Dans la prochaine section, nous présenterons l'état de l'art, qui portera sur les différents facteurs qui impactent la préparation des commandes et puis sur les méthodes d'assignation des produits aux emplacements. En section 3, nous présenterons une méthode de placement des produits basée sur le stockage par index, s'en suivra ensuite l'application à un cas d'étude (section 4) et enfin la conclusion.

2 ÉTAT DE L'ART

Afin de bien cerner le problème dans sa globalité l'état de l'art présente les différentes manières dont peut être optimisé le temps de préparation des commandes (section 2.1) et nous nous concentrons par la suite sur les méthodes de placement de produits dans l'entrepôt (section 2.2).

2.1 Facteurs qui impactent la préparation des commandes

Afin de réduire le temps de préparation des commandes, quatre leviers d'optimisation sont disponibles :

- L'aménagement de l'entrepôt c'est-à-dire décider de comment seront agencées les allées (en parallèle ou en chevron) leurs dimensions, la distance entre elles, le nombre d'allées transversales et où situer le point d'arrivée/départ [Tompkins et al., 2003], [Meller et Gau, 1996].

- Le stockage des produits, qui consiste à déterminer où stocker les produits (zone de réserve ou zone de cueillette [Heragu et al., 2005]) et comment les placer.

- Le groupement des items, qui consiste à rassembler les items commandés dans des listes de cueillette. Le groupement se fait en se basant sur la proximité entre les items. Ce problème a été beaucoup étudié et on trouve des heuristiques de groupement basées sur l'algorithme de Clarke & Wright [Clarke et Wright, 1996] ainsi que l'heuristique 2-opt [Gademann, 2001]. On trouve également d'autres méthodes de groupement basées sur le data mining [Chen et al., 2005], les algorithmes génétiques [Hsu et al., 2005] et la programmation mathématique [Chen et Wu, 2005].

- La stratégie de routage, qui détermine le trajet qu'emprunte l'employé pour rassembler les produits. Déterminer l'ordre dans lequel ramasser les produits dans un entrepôt est un cas spécial du problème du voyageur de commerce. La différence étant que toutes les 'villes' n'ont pas besoin d'être visitées et que certaines peuvent l'être plus d'une fois [de Koster et Roodbergen, 2007]. Il existe un algorithme capable de résoudre ce problème à l'optimalité dans le cas d'un entrepôt à 1 bloc [Ratliff et Rosenthal, 1983]. Cet algorithme a été généralisé pour le cas de 3 blocs [Roodbergen et de Koster, 2001a], [Roodbergen et de Koster, 2001b]. Bien que des méthodes optimales existent, en pratique des heuristiques sont utilisées pour leur simplicité et à cause de certaines restrictions sur le déplacement au sein l'entrepôt.

Ces leviers d'optimisation ne sont pas indépendants les uns des autres, car, en effet, afin de faire du groupement de produits par proximité il faut d'abord avoir une notion de distance et pour mesurer la distance séparant deux produits il faut (1) avoir placé les produits et (2) avoir défini une stratégie de routage. De plus, l'aménagement de l'entrepôt impacte la manière dont seront placés les items et conditionne la stratégie de routage utilisé. Des études ont été faites pour déterminer les relations entre ces leviers et des méthodes qui intègrent plus d'un levier ont été développées afin de diminuer le temps de préparation des commandes ; ce référer à [Gils et al., 2018] pour une revue de littérature sur ce sujet.

Dans ce présent article nous nous intéressons au développement d'une stratégie de stockage pour réduire le temps d'assemblage de commande.

2.2 Assignment des produits aux emplacements

Le problème d'assignation des produits consiste à assigner un emplacement à chaque produit dans un entrepôt. « Trouver une manière adéquate de stocker des milliers de produits est l'une des tâches majeures à laquelle se trouve confronté les gestionnaires d'entrepôts » [Gils et al., 2018]. En effet, [Boysen et Stephan, 2013] montrent que ce problème dans sa forme la plus simple (ils ne considèrent qu'une seule allée d'un entrepôt) est NP-difficile. Le problème d'assignation des produits est plus formellement décrit de la manière suivante :

« Étant donné :

- des informations sur la structure de l'entrepôt, incluant les zones de stockage et leur l'aménagement;

- des informations sur les emplacements de stockage, incluant leurs dimensions, leurs capacités et positions;

- des informations sur les produits à placer, incluant leurs dimensions, demande et quantité;

Déterminer l'endroit où les produits doivent être stockés.

Sujet à des contraintes telles que la capacité de la zone de stockage, la compatibilité entre les produits et les positions de stockage et l'accessibilité du produit en fonction de son poids (les items lourds ne peuvent pas être placés sur des étagères hautes). » [Gu et al., 2007].

Les stratégies de stockages qui assignent des produits à des emplacements sont divisées en deux catégories : (1) le stockage aléatoire qui consiste à mettre chaque produit dans le premier emplacement disponible et (2) le stockage dédié dans lequel chaque emplacement est réservé pour un produit spécifique [Accorsi et al., 2012]. Le stockage dédié est à son tour divisé en trois grandes familles de stratégies de stockage : le stockage par classe, par index et par corrélation [Accorsi et al., 2012]. Nous détaillons ces derniers dans les prochaines sous-sections.

2.2.1 Le stockage par classe

Le stockage par classe, connu aussi sous le nom « classification ABC », consiste à diviser les items en classes et ensuite à les assigner à des zones. Cela requiert tout d'abord de trier les items selon un critère, ensuite de trouver un moyen de les classer et puis de déterminer les zones et comment les placer dans ces zones. Plusieurs algorithmes de stockage par classes ont été proposés prenant en compte des critères tels que la quantité commandée par item, le nombre de commandes par client et la fréquence de commande des produits.

Le défi majeur de cette méthode est de trouver un moyen de subdiviser un entrepôt en zones. Des études ont été faites dans le cas des entrepôts avec allées parallèles [Eynan et Rosenblatt, 1994], [Le-Duc et de Koster, 2005], [Muppani et Adil, 2008a] et [Muppani et Adil, 2008b]. Il existe aussi des méthodes standard pour assigner les classes de produits aux zones (Figure 1).

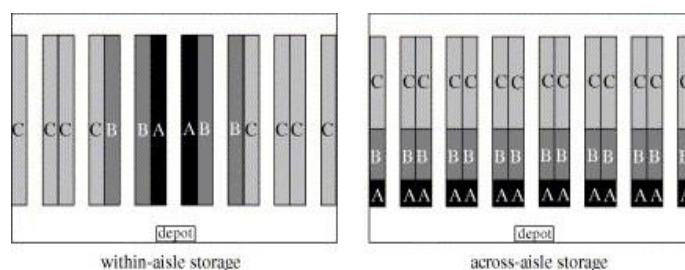


Figure 1. Implémentation de la classification ABC [de Koster et Roodbergen, 2007].

[Ashayeri et al., 2002] ont développé une méthode d'assignation basée sur la géométrie (Figure 2).

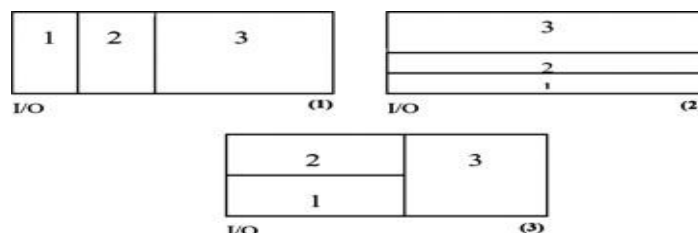


Figure 2. Division d'un entrepôt en trois zones [Ashayeri et al., 2002].

2.2.2 Le stockage par index

Le stockage basé sur un index trie les items selon un critère et puis assigne le premier item à l'emplacement le plus proche du point de départ/arrivé, le second item au deuxième emplacement le plus proche, et ainsi de suite. Les index utilisés sont la quantité totale commandée du produit, le chiffre d'affaire de ce produit, la fréquence d'accès à ce produit, etc. Le tri selon l'index du 'cube-par-commande' [Heskett, 1963], définit comme étant le ratio entre l'espace qu'occupe un item et le nombre d'aller-retour nécessaires pour satisfaire sa demande sur une période, est optimal pour le cas simple d'une seule rangée où un seul article peut être ramassé à la fois [Harmatuck, 1976]. Le défi majeur du stockage par index est la répartition des items dans l'entrepôt une fois trié. Peterson [26] introduit le concept de « golden zone » qui consiste à mettre les items à demande élevée sur les étagères qui se trouve à mi-hauteur d'Homme et propose, dans le cas d'un entrepôt à un bloc, quatre méthodes d'assignation:

- *Within-aisle (W)* qui consiste à remplir les étagères d'une allée colonne par colonne.
 - *Within-aisle with golden zone bin swap (WB)* qui consiste à remplir la golden zone de chaque colonne en premier puis le reste des étagères avant de passer au reste des colonnes.
 - *Golden zone within-aisle (GZW)* qui consiste à remplir les golden zone d'une allée en premier et suite revenir pour remplir le reste des étagères.
 - *Golden zone across-aisle (GZA)* qui consiste à remplir toute la golden zone avant de remplir le reste des étagères.
- La figure 3 illustre ces méthodes d'assignation.

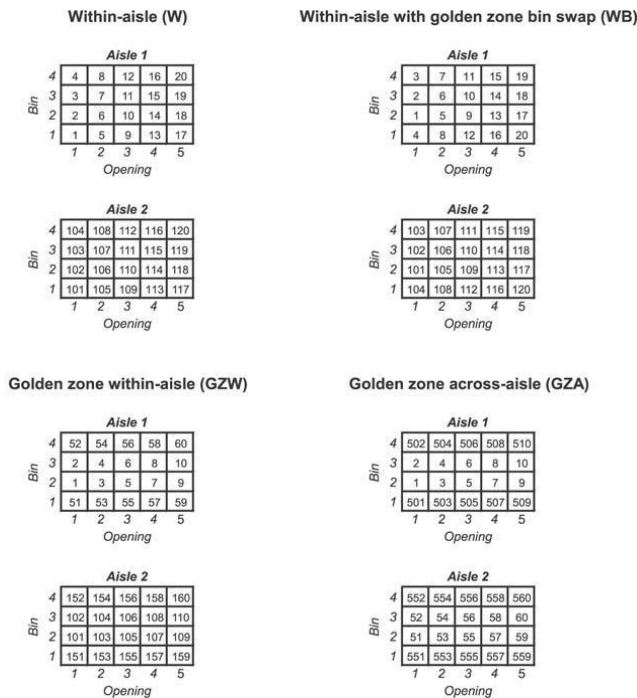


Figure 3. Méthodes d'assignation des produits [Petersen et Heiser, 2005].

Les chiffres dans ces figures indiquent l'ordre dans lequel les colonnes et les étagères sont remplis.

2.2.3 Le stockage par corrélation

Le stockage par corrélation, prend en compte les relations entre les produits pour les segmenter en groupes et ensuite assigner à

chaque groupe des emplacements. [Liu, 1999] définit la corrélation comme étant le nombre de fois que deux articles ont été commandés ensemble. [Chiang et al., 2011] utilisent des règles d'association pour déterminer la similitude entre produits. [Hsieh et Tsai, 2001] utilisent la gamme de production des produits afin de trouver les plus similaires. Une fois que le calcul de la corrélation est fait, les produits doivent être segmentés en groupes. Les données de bases utilisées pour le calcul de la corrélation sont binaire (1 si les produits A et B sont commandés ensemble 0 sinon), [Choi et al., 2010] recense 76 métriques différentes pouvant être utilisées pour ce calculer, or les articles consultés pour cette revue de littérature ne justifient jamais la métrique utilisée lors de la segmentation.

3 METHODOLOGIE

Nous proposons une stratégie d'assignation de produits à des emplacements qui s'inscrit dans la famille des méthodes de stockage par index, basé sur la méthode de [Petersen et Heiser, 2005] et qui l'élargi au cas de plusieurs blocs et qui tient en compte de la stratégie de routage utilisée.

L'indicateur de performance choisi afin d'évaluer notre heuristique est la distance, car d'après [Bartholdi et Hackman, 2005] 50% du temps des préposés à la préparation des commandes est du temps passé à se déplacer d'un produits à l'autre, le reste est divisé entre la recherche des items, la cueillette, l'organisation et autres (Figure 4).

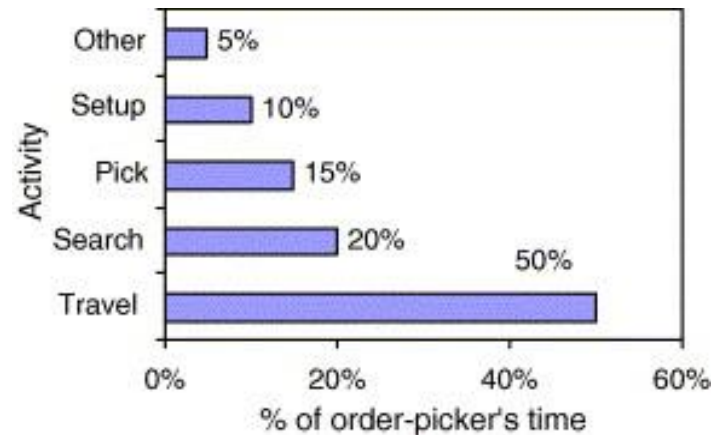


Figure 4. Les facteurs qui impactent le temps de préparation des commandes. [de Koster et Roodbergen, 2007]

La figure 4 montre les tâches qui constituent l'opération de préparation des commandes et le pourcentage de temps qu'elles requièrent.

La méthode proposée se compose de 3 phases qui seront détaillées une par une. Le déroulement complet de la méthode permet de placer chaque produit.

3.1 Phase 1 : Calcul de la distance parcourue lors de l'assemblage d'une commande.

Cette phase consiste à (1) préparer les données fournies par le partenaire industriel en traitant les données manquantes, en cherchant des incohérences (le même produit stocké à deux endroits différents) etc. ... (2) valoriser les données par le calcul de divers indicateurs de performance (3) visualiser ces données à

travers des graphiques. Une fois les données analysées et la structure de l'entrepôt étudiée, le développement d'une procédure capable de calculer la distance parcourue lors de l'assemblage des commandes sera entamé. Cette fonction a pour données d'entrée une liste de positions dans l'entrepôt. Une position est un quadruplet constitué du numéro de rangée, de colonne, d'étagère et de la position au sein de cette étagère.

3.2 Phase 2 : Placement des produits

Le placement des produits est basé sur les travaux de [Petersen et Heiser, 2005] et est élargie pour tenir compte des spécificités du cas étudié. De plus plusieurs critères sont testés pour faire le placement ainsi que différentes manières de découpage de l'entrepôt en zones et d'assignation (classes-zones et produits-emplacements) sont simulés. Les scénarios évalués permettent la réduction de la distance totale sur une année de 43% à 62%.

3.3 Phase 3 : Validation des résultats

Afin de s'assurer de la qualité des heuristiques proposées la méthode de validation suivante est proposée : en se basant sur les données des commandes des années précédentes, assigner les produits aux emplacements proposés et comparer la distance total obtenue dans l'année courante avec et sans les nouveaux emplacements. Cinq années de données sont disponibles et donc pour chaque heuristique quatre évaluations sont faites.

4 CAS D'ETUDE

4.1 Contexte / mise en situation

Logistik Unicorp est une compagnie qui fait la conception, la production et la livraison d'uniformes. Le projet concerne un contrat spécifique, stable et actif sur une longue période de temps.

L'entrepôt est divisé en deux zones : une zone de réserve où sont stockés les produits en grande quantité et une zone de préparation de commandes où les unités de stockages sont plus petites. C'est dans la seconde zone que se déroule le projet.

La zone de picking est scindée en deux blocks chacun constitué de rangées parallèles, chaque rangée est constitué de colonnes et chaque colonne est constituée à son tour d'étagères.

Au début de chaque journée, l'information concernant les commandes à assembler est disponible. Chaque employé se voit assigné des listes de cueillette (« pick-list »).

Le regroupement d'items dans des listes de cueillette se fait par rapport au contrat ou sous-contrat auquel appartiennent les items. Une fois les articles groupés, l'ordre suivant lesquels ceux-ci sont assemblés dépend du numéro de rangée, de colonne et d'étagère de chaque produit. En effet, les produits après avoir été regroupés sont triés par ordre décroissant de rangée, ensuite de colonne et puis d'étagère. Ceci fait que les employés se dirigent toujours de la gauche de l'entrepôt vers la droite.

La stratégie de stockage utilisée est du type stockage par classes. Celle-ci ne repose pas sur une règle définie mais plutôt sur l'expérience du directeur d'entrepôt.

La stratégie de routage que suivent les employés pour rassembler les items est l'heuristique dite 'S-Shape'. Cette méthode dit que

si l'employé rentre dans une allée celui-ci doit ne peut la quitter que par l'autre bout (doit poursuivre son chemin jusqu'au bout). Cette règle est utilisée à cause de restrictions sur le sens de circulation au sein des allées (Figure 5).

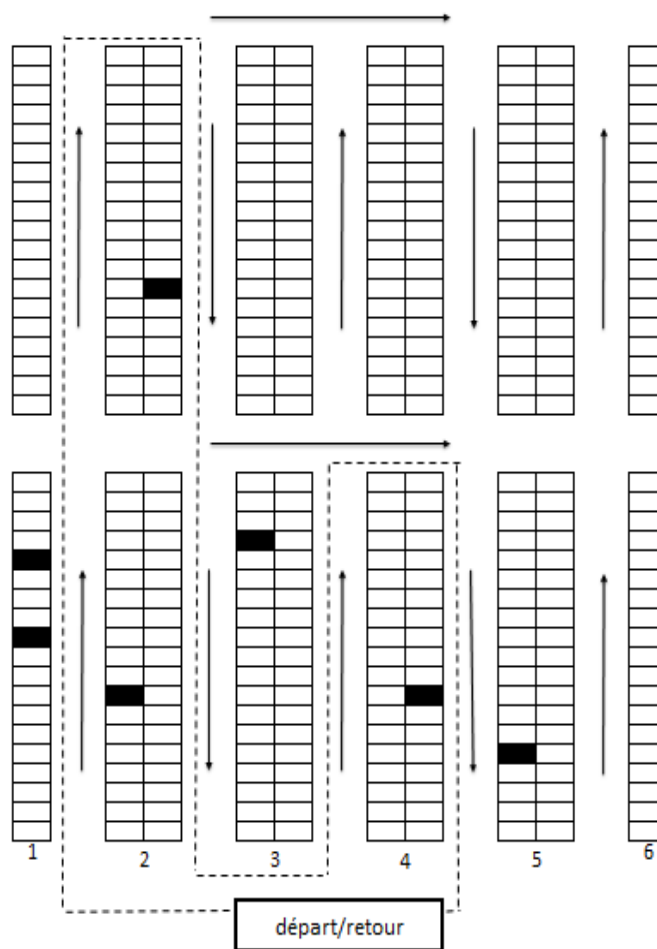


Figure 5. Une tournée dans l'entrepôt, vu de haut.

Cette figure montre une tournée de collecte suivant la méthode 'S-Shape' où les cases coloriées en noir représentent les emplacements des items à ramasser. Les restrictions sur le sens de circulation sont aussi illustrées.

La préparation des commandes se fait suivant la méthode dite « low-level picker-to-parts sort-while-pick » où 'low-level' signifie que tous les produits sont à la portée des mains des employés (les chariots élévateurs ne sont pas utilisés) et 'picker-to-parts' veut dire que ce sont les employés qui se déplacent vers les items et non l'inverse comme c'est le cas dans les entrepôts automatisés et 'sort-while-pick' indique que les items sont triés selon la commande à laquelle ils appartiennent pendant qu'ils sont rassemblés.

4.2 Mise en œuvre de la démarche

Afin de mener ce projet à son terme, une démarche en trois phases est proposée : (1) obtenir et traiter les données de la préparation des commandes afin de déterminer les caractéristiques de la demande du client et de calculer la distance parcourue par les employés lors de l'assemblage des commandes, (2) développer une heuristique basée sur le stockage par index et (3) valider les résultats.

4.2.1 Phase 1 : Calcul de la distance parcourue lors de l'assemblage d'une commande

Les données disponibles sont basées sur les historiques, elles contiennent : les identifiants des pick-list, des employés qui ont fait la collecte, des expéditions, des commandes et des produits. De plus, de la date durant laquelle s'est effectuée la collecte des items ainsi que de la position de chacun d'entre eux sont elles aussi disponibles. Et bien sûr les dimensions de l'entrepôt, longueur des allées et distance entre rangées.

En agrégeant ces données par date et par pick-list le nombre d'articles commandés par année est calculé. La demande reste stable d'année en année (Figure 6). Il en est de même pour le nombre d'employés nécessaires pour préparer les commandes et le nombre d'expéditions. Cette stabilité ainsi que la méthode de validation laissent penser que les améliorations proposées perdureront dans le futur.

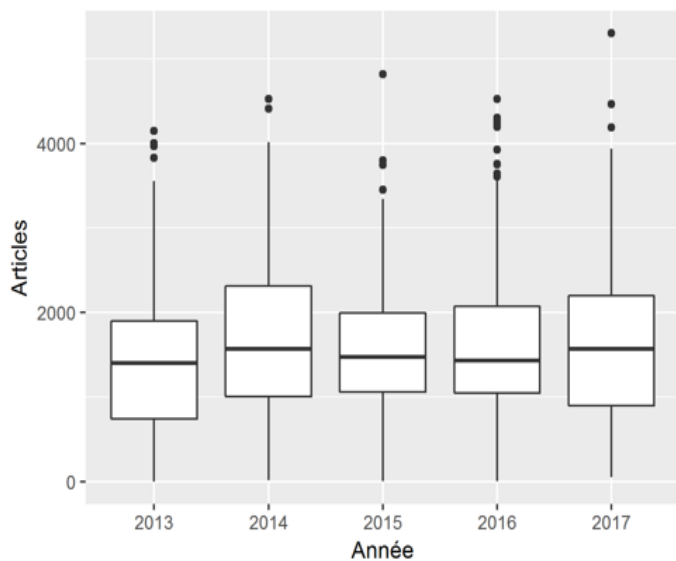


Figure 6. Statistiques sur le nombre de produits commandés par année.

Cette figure montre le diagramme des quartiles du nombre d'article expédiés annuellement.

Afin de calculer la distance parcourue pour collecter les items d'une pick-list, il faut étudier les différents cas de figures de déplacement possibles.

Remarquons d'abord deux choses :

- La première : la distance peut être décomposée en distance entre rangées et distance le long des allées. La distance totale entre les rangées peut être obtenue simplement en calculant la distance entre la rangée du dernier item sur la liste et celle du premier (grâce à la manière dont sont triés les items dans la liste) et en la multipliant par deux. La distance le long des allées s'obtient au cas par cas.
- La seconde : puisque la stratégie de routage utilisée fait que dès qu'un employé s'engage dans une allée celui-ci doit la traverser d'un bout à l'autre, la colonne et l'étagère où se trouve le produit n'importent pas dans le

calcul de la distance le long de l'allée. Seuls sont importants : la rangée (pour connaître le sens de circulation) et le block. 16 cas de figures sont donc possibles.

Donnons d'abord l'exemple d'un cas : l'employé se trouve au premier block dans le sens de monté (B1/M) et souhaite ramasser l'item suivant dans sa liste qui se trouve aussi dans le premier block et dans le même sens. Celui-ci devra parcourir deux allées.

Le Tableau 1 donne le nombre d'allées à parcourir dépendamment du cas dans lequel se trouve l'employé :

Tableau 1: Distance à parcourir le long des allées selon le cas.

	B1/M	B1/D	B2/M	B2/D
B1/M	2	1	1	2
B1/D	1	2	2	3
B2/M	3	2	2	1
B2/D	2	1	1	2

Pour calculer la distance totale, il suffit d'additionner la distance entre rangées et la distance le long des allées (Tableau 1) et puis d'ajouter la distance qu'il faut parcourir le long de la première allée pour atteindre le premier item à partir du point de départ.

La distance totale parcourue par semaine sur cinq ans est calculée en agrégeant les données disponibles par pick-list et par date.

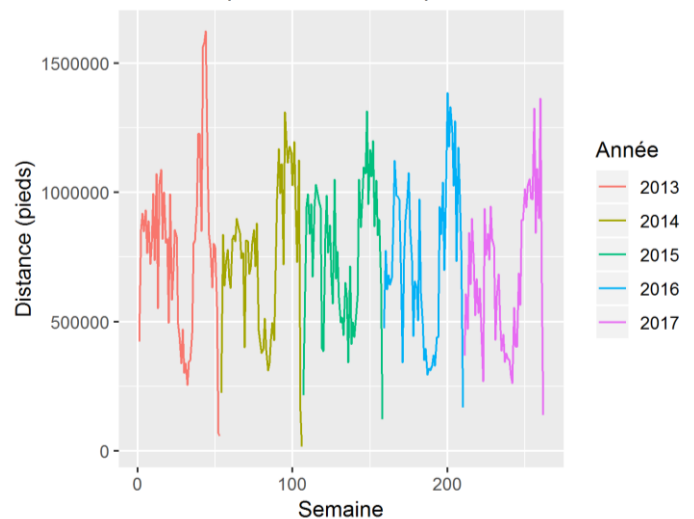


Figure 7. Distance parcourue à chaque semaine, par année.

On remarque la présence d'une saisonnalité stable, d'année en année, ce qui vient renforcer le constat tiré de la figure 6.

4.2.2 Phase 2 : Placement des produits

Les produits sont triés par ordre décroissant selon leur popularité (le nombre de fois que l'on est allé chercher le produit dans l'entrepôt). Ensuite, chaque produit est attribué à un emplacement selon chacune des 4 stratégies suivantes.

Une stratégie de placement est définie par (1) la manière dont on assigne les produits aux rangées et (2) la façon dont on les stocks dans les rangées.

Deux manières d'assignation des produits aux rangées sont considérés (Figures 8 et 9) :

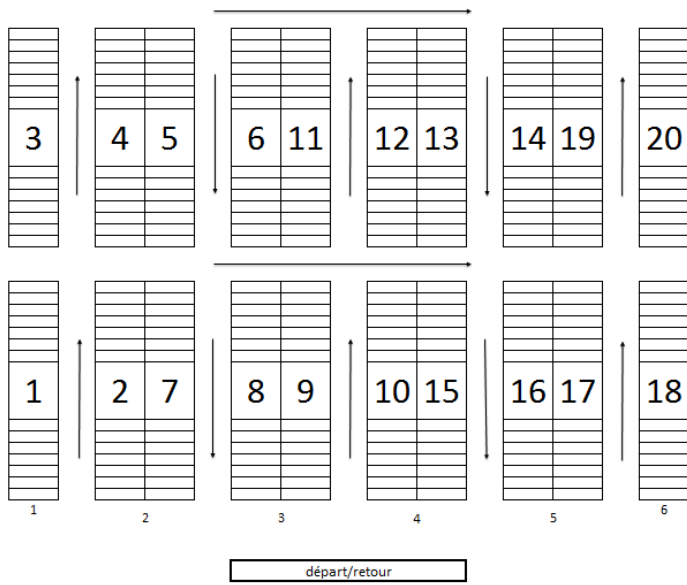


Figure 8. Première méthode d'assignation des produits aux rangées.

Cette méthode consiste à alterner entre les blocks.

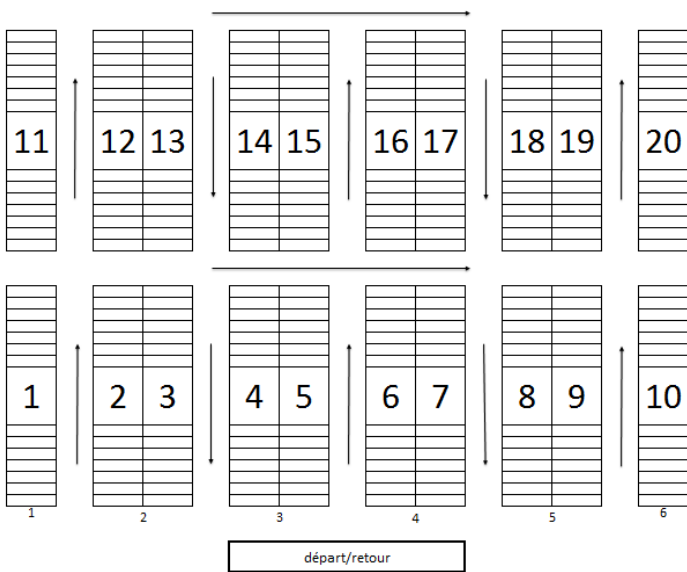


Figure 9. Seconde méthode d'assignation des produits aux rangées.

Cette méthode remplit le premier block avant de passer au second.

Quant à façon dont on stocke les produits au sein des rangées, les trois méthodes proposées par [Petersen et Heiser, 2005] *Within-aisle (W)*, *Within-aisle with golden zone bin swap (WB)* et *Golden zone within-aisle (GZW)* forment une seule méthode dans notre contexte à cause de la restriction sur le sens de circulation. Nous choisissons la méthode GZW (Figure 10) comme méthode représentative de ces trois cas car elle tire avantage le plus de la notion de 'golden zone'. La seconde méthode testée est : *Golden zone across-aisle (GZA)* (Figure 11).

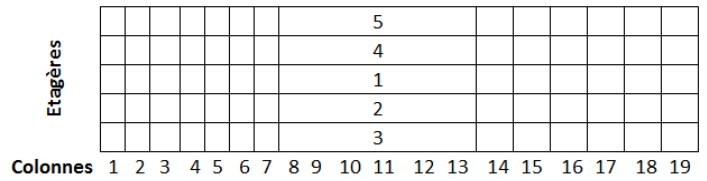


Figure 10. Méthode GZW.

Cette figure montre la manière dont les produits sont assignés aux étagères de chaque rangée. En comptant à partir du bas, on commence par remplir la troisième étagère, puis la seconde, ensuite la première, la quatrième et en fin la cinquième.

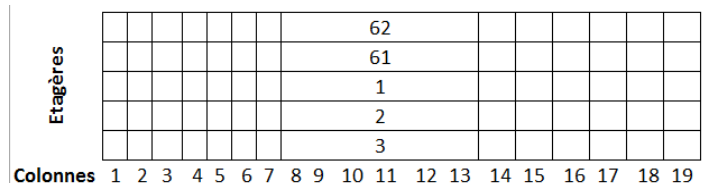


Figure 11. Méthode GZA.

Toutes les 'golden zone' sont remplies rangée après rangée, pour ensuite revenir et remplir les étagères quatre et cinq.

La combinaison des méthodes d'assignation des produits aux rangées et de stockage des produits au sein des rangées donne quatre stratégies de placement. Les améliorations qu'apportent ces stratégies sont exposées dans la section suivante.

4.2.3 Phase 3 : Validation des résultats

Afin d'évaluer l'impact de ces stratégies sur le temps de préparation des commandes, les données des années antérieures sont utilisées pour trier les produits, et ensuite comparer la distance totale parcourue durant l'année suivante avec le nouveau placement et celle obtenue avec la stratégie actuelle (Figure 12).

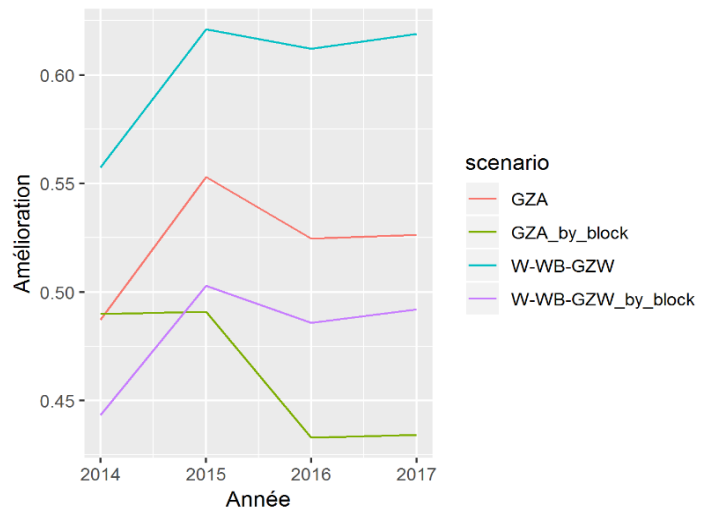


Figure 12. Réduction de la distance par scénario.

L'amélioration est obtenue en calculant la différence entre le la distance actuelle et la nouvelle distance et en divisant le résultat par la distance actuelle. Un ratio positif indique donc une diminution de la distance parcourue.

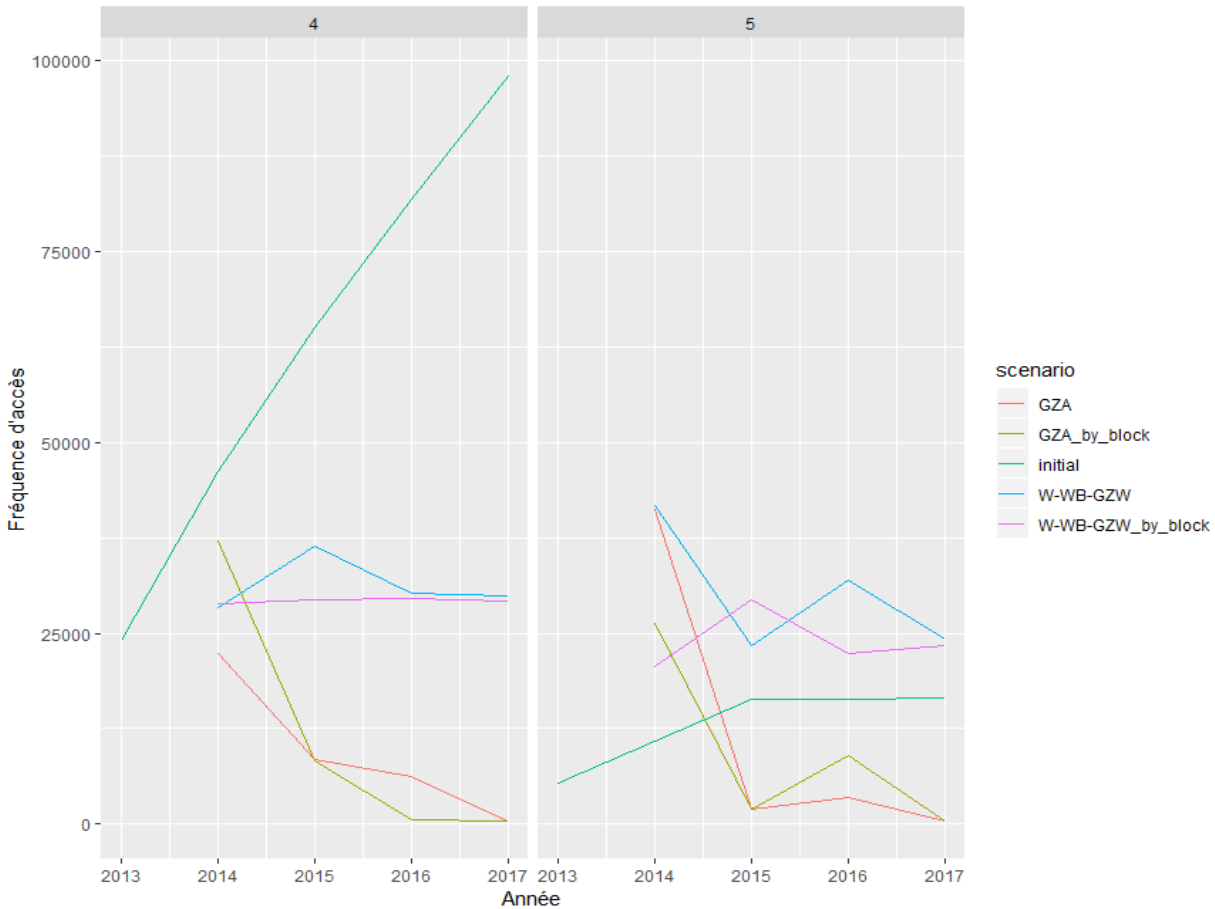


Figure 13. Fréquence d'accès aux étagères supérieures.

Un second indicateur de la qualité de la solution est l'ergonomie (Figure 13). Ces figures montrent, pour chaque cas, le nombre de fois par année qu'il a fallu chercher des items des étagères 4 (figure de gauche) et 5 (figure de droite). L'accès aux étagères supérieures est montré aussi pour le cas initial à titre de comparaison.

4.3 Analyse des résultats

La méthodologie proposée permet la réduction du temps de préparation des commandes comme le montre le cas d'étude. Mais le succès de cette méthode dépend du profil de la demande des clients. En effet, à partir des données, il apparait que les commandes des clients ne sont pas corrélées entre elles. Ceci fait que le cas étudié se prête bien à la méthode du stockage par index.

5 CONCLUSION

Nous avons proposé une méthode de placement de produit qui fait partie des méthodes de stockage par index, qui permet de réduire le temps passé à rassembler les commandes. Cette méthode se décline sur 3 phases. La démarche a été testée sur un cas d'étude, dans le contexte d'un contrat avec Logistik Unicorp. Les résultats ont été significatifs car des améliorations ont été obtenues dans tous les cas de figure et qu'ils peuvent être projetés dans le futur avec confiance. Néanmoins, le cas où les commandes sont corrélées reste à traiter.

Un inconvénient majeur du stockage par index est que cette méthode-là offre peu de flexibilité au directeur de l'entrepôt

lorsque de nouveaux produits arrivent. Effectivement, il faudrait, dans ce cas-là, refaire le tri des produits; ce qui résultera en un nouveau positionnement pour l'ensemble des produits. Ceci nécessite en pratique un effort colossal de mobilisation des employés pour replacer tous les produits.

De ce fait, une seconde étude portera sur le stockage par classe qui a pour avantage le fait de permettre au gestionnaire de savoir dépendamment des classes auxquelles seront attribué aux nouveaux produits l'endroit où ils devront être stockés.

De plus, le stockage par classe se contente d'assigner des rangées aux classes et non des positions précises pour chaque item, ce qui laisse plus de liberté au responsable de l'entrepôt pour faire face aux contraintes opérationnelles.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance au partenaire industriel Logistik Unicorp pour sa collaboration au projet et la fourniture des données. Les auteurs soulignent également le support financier de MITACS (projet IT 12058).

7 REFERENCES

- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., Facilities Planning. *John Wiley & Sons*, NJ (2003).
- Meller, R.D., Gau, K.Y., (1996) The facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 15 (5), pp. 351-366.

- Heragu, S.S., Du, L., Mantel, R.J., Schuur, P.C., (2005) Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43 (2), pp. 327-338.
- Clarke, G., Wright, W., (1964) Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12, pp. 568-581.
- Chen, M.C., Huang, C.L., Chen, K.Y., Wu, H.P., (2005) Aggregation of orders in distribution centers using data mining. *Expert Systems with Applications*, 28 (3), pp. 453-460.
- Gademann, A.J.R.N., Van den Berg, J.P., Van der Hoff, H.H., (2001) An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 33, pp. 385-398.
- Hsu, C.M., Chen, K.Y., Chen, M.C., (2005) Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56 (2), pp. 169-178.
- Chen, M.C., Wu, H.P., (2005) An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega International Journal of Management Science*, 33 (4), pp. 333-343.
- De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J., (2007) Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182 (2), pp. 481-501.
- Ratliff, H.D., Rosenthal, A.S., (1983) Orderpicking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31 (3), pp. 507-521.
- Roodbergen, K.J., De Koster, R., (2001) Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39 (9) (2001), pp. 1865-1883.
- Roodbergen, K.J., De Koster, R., (2001) Routing order-pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133, pp. 32-43.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., (2007) Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177, pp. 1-21.
- Accorsi, R., Manzini, R. and Bortolini, M. (2012) A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(6), 351–364.
- Van Gils, T., Ramaekers, K., Braekers, K., Depaire, B., Caris, A., (2018a) Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. *International Journal of Production Economics* 197, 243–261.
- Eynan, A., and Rosenblatt, M.J., (1994) Establishing zones in single-command class-based rectangular AS/RS. *IIE Transactions*, 26(1) 38–46.
- Le-Duc, T., and De Koster, R., (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.
- Muppani V.R., Adil G.K., (2008a) Class-based storage-location assignment to minimise pick travel distance. *Int J Log Res Appl*, 11(4):247–265.
- Muppani V.R., Adil G.K., (2008b) A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *Eur J Oper Res*, 189(2):492–507.
- Heskett, J. (1963), “Cube-per-order index: a key to warehouse stock location”, *Transportation and Distribution Management*, Vol. 3, pp. 27-31.
- Harmatuck, D.J. (1976), “A comparison of two approaches to stock location”, *Logistics and Transportation Review*, Vol. 12 No. 4, pp. 282-4.
- Liu, C.M., (1999) Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers & Operations Research*, 26 (10), pp. 989-1002.
- Chiang, D., Lin, C. and Chen, M. (2011) The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centres. *Enterprise Information Systems*, 5(2), pp. 219–234.
- Hsieh, S., and Tsai, K. C., (2001) A BOM oriented class-based storage assignment in an automated storage/retrieval system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17(9), pp. 683–691.
- Choi, S.S., Cha, S.H., and Tappert, C. C., (2010) A survey of binary similarity and distance measures, *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, vol. 8, no. 1, pp. 43–48.
- Ashayeri, J., Heuts, R.M., Valkenburg, M.W.T., Veraart, H.C., Wilhelm, M.R., (2002) A geometrical approach to computing expected cycle times for zonebased storage layouts in AS/RS. *International Journal of Production Research*, 40 (17), pp. 4467-4483.
- Petersen, C.G. Siu, C., Heiser, D.R., (2005) Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management* 25 (10), pp. 997-1012.
- Bartholdi, J.J. III and Hackman, S.T. (2005), *Warehouse and Distribution Science*, Bartholdi & Hackmann, Atlanta, GA.
- Chan F.T., Chan H. (2011) Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 2686-2700.
- Boysen, N., & Stephan, K. (2013) The deterministic product location problem under a pick-by-order policy. *Discrete Applied Mathematics*, 161(18), 2862-2875.