

Allocation d'espaces de stockage: Cas de l'entrepôt des laboratoires Merinal

Lyna Meryem HAMADOU ¹

Encadrée par : Cherif Mouauia BOUZID ¹

RÉSUMÉ

Déterminer les emplacements de stockage appropriés pour des milliers de produits est une tâche majeure que rencontre le responsable des entrepôts lors de la conception d'un nouvel entrepôt ou de la rénovation d'une installation existante. De nombreux facteurs jouent un rôle dans l'affectation du stockage notamment la méthode de préparation des commandes. Par exemple la taille et la disposition du système de stockage, du système de manutention, des caractéristiques des produits,...etc. Nous présentons le résultat de notre étude face à un problème d'allocation d'espace rencontré dans l'entrepôt des laboratoires Merinal.

Mots-clés -Stockage, Optimisation, Politique de stockage, Allocation, Gestion d'entrepôt, Affectation.

1 INTRODUCTION

L'optimisation de la Supply Chain est un terme d'une solennité excessive qui a eu ces dernières années l'intérêt de nombreux chercheurs logisticiens. Les études qui ont traité cette matière s'intéressent principalement aux trois parties prenantes de la chaîne logistique en amont pour alimenter sa production tout comme en aval pour distribuer ses produits finis aux consommateurs, en maximisant la valeur ajoutée créée dans un temps record.

Et pour que ces industries arrivent à leurs objectifs, il est impératif de maintenir l'équilibre du triangle "QCD" : Qualité, Coût, Délais, au sein de ces centres de distribution et ces entrepôts qui engendrent des charges importantes pour ces entreprises et donc les activités logistiques dans ces organisations de distributions et de stockage. Les gestionnaires des entrepôts se trouvent souvent face à ce défi qui est une tâche majeure : la détermination des emplacements de stockage appropriés pour potentiellement des milliers d'articles et qui est le sujet phare de cet article.

La manifestation de la performance de cette tâche est de trouver la meilleure façon d'affecter ces produits dans le but de minimiser l'effort de manutention ou optimiser l'espace occupé ou bien éradiquer les risques qui touchent le volet de la qualité du triangle "QCD". (voir Reyes et al. [11]). Ce problème est reconnu dans la littérature sous le nom de Storage Location Assignment Problem "SLAP", l'adressage des produits s'effectue selon plusieurs critères : relatif à l'article (la nature du produit, sa valeur économique, le type de conditionnement, la rotation...etc), un autre critère concernant l'entrepôt (le type d'entrepôt, sa configuration, le matériel statique utilisés...etc). Frazelle et Sharp [4] classe le SLAP comme NP-Difficile, en raison des variations causées par le nombre de produits et les caractéristiques de stockage en entrepôt. Selon Silva et al [12] les SLAPs sont des problèmes très difficiles à résoudre à l'aide des méthodes exactes, des heuristiques généralement simples sont utilisées pour générer l'affectation des produits.

Cependant lorsque le nombre de produits est égal au nombre d'espaces de stockage, le problème est défini comme un problème d'allocation quadratique (voir Kofler et al. [9]). De plus, si le nombre de produits est supérieur au nombre d'espaces de stockage et que chaque espace de stockage peut stocker plusieurs produits, cela devient un problème de sac à dos en anglais knapsack problem (voir Gu et al. [5]).

L'adressage selon Hausman et al. [7] est réparti en trois grandes catégories, appelées politiques de stockage ou Storage policies en anglais :

- stockage aléatoire,
- stockage dédié
- stockage basé sur des classes.

Bindi et al [2] ont défini ces politiques comme suit :

1. Le stockage aléatoire : repose sur le principe que chaque palette entrante ou une quantité de produits similaires par carton est affectée à un emplacement choisi au hasard dans la zone de stockage. Le produit entrant est généralement stocké au premier emplacement vide le plus proche de la zone d'entrée/sortie .

¹ Département de Génie Logistique et transport, École Nationale Supérieure de Technologie (ENST) Dergana, Algérie. 2022

2. Le stockage dédié : approuve l'idée que chaque produit est situé dans un endroit prédéterminé (fixe). et donc un emplacement est réservé aux mêmes produits même en état de rupture de stock. L'un des premiers algorithmes de stockage dédié est le cube-per-order index "COI" qui a été proposé par Heskett [8]. Le COI d'un produit est défini comme le ratio entre l'espace total requis des produits par rapport au nombre de voyages requis pour satisfaire la demande dans une période donnée. L'algorithme consiste à localiser les produits ayant le plus faible COI c.-à-d. les taux de vente les plus élevés (il peut être remplacé par les prévisions ou bien la demande), le plus près du dépôt ou la zone de chargement.
3. Le stockage basé sur des classes : Dans ce cas Les produits sont fréquemment regroupés en différentes familles de famille , appelées classes . Selon [11] c'est la politique la plus utilisée dans la littérature ,il existe deux types de stockage basé sur les classes :
 - des fins dédiées (voir Brynzér et Johansson.[3])
 - classification ABC. (voir Ashayeri et al. [1] ; Montulet et al .[10]) chaque famille ou classe de produits est alors affectée à une zone dédiée de l'entrepôt .

Le stockage aléatoire et dédié sont en fait des cas extrêmes de la politique de stockage basée sur les classes. Le stockage aléatoire regroupe tous les produits dans une seule classe et un stockage dédié à chacun des produits affectés à une classe distincte. Ce type de stockage peut supporter multiples méthodes d'allocation des produits nous mentionnons l'allocation à travers le rayonnage " within Aisle " qui consiste à remplir les racks du magasin successivement de la plus proche du point Entrée/Sortie , la politique diagonale "diagonal" qui procède à un remplissage successif des diagonales du même point de vue qu'une matrice. il existe encore d'autre méthodes d'allocation comme au travers le rayonnage cross Aisle et Across floors qui procède à un remplissage par niveau de rack.(Voir Guerriero et al.[6]) pour une revue exhaustive des méthodes d'allocation d'espaces de stockage.

2 CAS D'ÉTUDE

Laboratoires MERINAL est une entreprise algérienne qui exerce dans le secteur pharmaceutique, elle dispose d'une unité de production et des entrepôts de stockage et de distribution qui forment notre cas d'étude.

2.1 Description de l'entrepôt

L'entrepôt de MERINAL est construit de 3 magasins adjacents aller de MD1 jusqu'à MD3. Dans notre étude, nous allons nous focaliser à l'étude du magasin d'expédition des produits finis de cette entreprise car il représente l'endroit de stockage permanent des articles, commençant par une description de ce dernier :

- Superficie : 1210 m².
- Nombre de rack : 10 .
- Niveau maximum des racks : 3 .
- Nombre d'allée de service : 5 .
- Nombre d'allée de circulation : 3 .
- Nombre total des emplacements : 999 slots.

2.1.1 Les produits

Notre étude sera limitée à la production de MERINAL seulement car elle représente 62 références de 65 existant, les 3 références restantes sont soumises à d'autres contraintes de fragilité, d'approvisionnement c.à.d. hors production MERINAL (importation) ou ne représentent pas un stock à cause de leurs taux de rotation très élevés. Il existe encore 3 types de produits de différents conditionnement qui sont M1, M2, M3. Notre affectation sera par rapport au nombre des cartons que le magasin reçoit de chaque article pour multiples raisons :

- Approvisionnement partiel des produits (les quantités ne rentrent pas au même temps)
- Les emplacements ne sont pas adaptables à la hauteur des palettes d'entrée.
- L'hétérogénéité des alvéoles du magasin MD2.

2.1.2 Les racks

Le magasin dispose de 10 racks libellés {A, B, ..., J} comprenant chacun trois niveaux 0 (sol), 1 et 2. Les racks contiennent un certain nombre d'alvéoles qui contiennent à leurs tours trois emplacements. les racks du magasin MD2 n'ont pas la taille comme indiqué au tableau 1 :

Le magasin dispose des racks à multi-niveaux, le problème est reconnu dans la littérature par M-SLAP. On considère tout au long de notre projet qu'il existe un seul point de sortie.

TABLE 1 – Le nombre des emplacement du magasin MD2 pour chaque rack dans un seul niveau

Libelle du Rack	Nombre d'emplacement
A	45
B	45
C	45
D	45
E	45
F	21
G	21
H	21
I	21
J	24

2.1.3 Les alvéoles

Les alvéoles ont trois hauteurs au magasin MD2. Le tableau 4 présente la capacité de réception d'une alvéole selon sa hauteur :

TABLE 2 – Capacité de réception des alvéoles

Type d'alvéole	(cartons M1 , cartons M2, cartons M3)
1	(36,30,35)
2	(30,24,30)
3	(42,30,35)

Le dernière cas, numéro 4 est particulier, liée à la forme du toit, au niveau supérieur du rack l'un des 3 emplacements ne peut recevoir que (30,24,30) cartons.

Le design de cet entrepôt est présenté par la figure 1, la numérotation représente :

1. Le SAS
2. Allée de service
3. Allée de circulation
4. Bureaux administratifs.
5. Vestiaires.
6. Chambre froide .

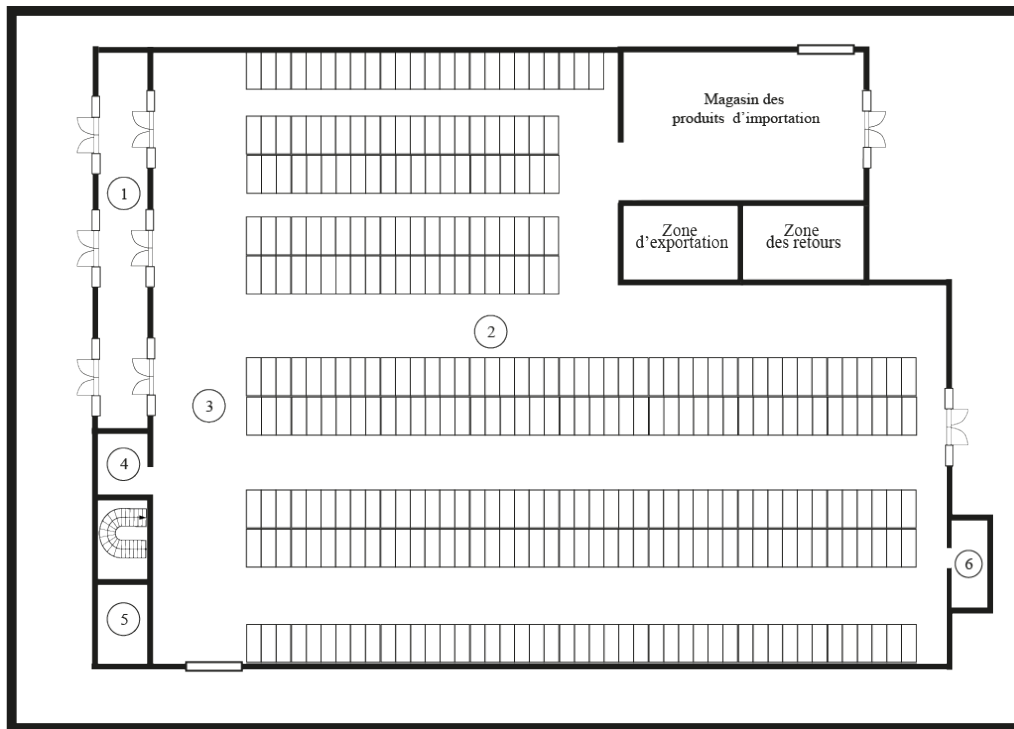


FIGURE 1 – Plan du magasin

2.2 Description de la Problématique

Nous avons rencontré à “MERINAL” plusieurs pratiques qui montre la fragilité de son organisation, un encombrement au niveau des allées, des palettes aux milieux des couloirs et d’autre concernant le temps d’attente considérable des clients, une organisation archaïque de l’entrepôt, un service de livraison de qualité moyenne, l’ajout de temps supplémentaire pour libérer la totalité de la file d’attente et le chevauchement des activités dans l’entrepôts qui crée une charge de travail. Dans ce qui suit on va tenter de résoudre le problème de stockage dans cette entreprise afin de trouver à chaque produit un emplacement idéal selon sa demande et son nombre de sortie.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Vue générale

Dans ce papier on va s’intéresser à proposer des nouvelles configurations à l’entrepôt .Notre approche d’optimisation sera portée sur l’adaptation des heuristiques de politiques de stockage . Ce problème de SLAP est évalué à travers le taux d’occupation de l’espace, tout en respectant les contraintes rencontrées sur le terrain. Pour mieux expliquer notre méthodologie le principe est de trouver la meilleure politique de stockage tirée des résultats des localisation des articles trouvées. Tout d’abord, les produits sont classé selon une Analyse ABC, puis affectés en utilisant une politique de stockage.

3.2 Méthodologie Storage Assignment Location Problem :

Tout d’abord, on va procéder à une réorganisation de l’entrepôt (Re-warehousing) ,en prenant l’entrepôt dans son état initial c.à.d. vide. Par la suite, nous choisissons une politique de stockage qu’on doit suivre. Notre sélection était “stockage à la base des classes” car elle figure la plus adaptable dans ce cas. Afin d’implémenter cette politique les classes sont créées à partir d’une analyse ABC selon la demande annuelle,qui représente un paramètre pertinent en logistique dans le but de reconnaître la rotation des produits et les positionnés suivant leurs nombres de sortie (vente). Ensuite, on utilisera une approche similaire à celle de Cube per index order qui consiste à donner un ordre d’affectation aux articles, en respectant des conditions, dans cette application : condition de poids, condition de type de carton et enfin condition d’approvisionnement. L’affectation se fait d’une manière verticale c.à.d à partir du niveau inférieur “0” au niveau supérieur “2”. Suivant des politiques d’allocation sélectionnées qui sont :

- L'allocation en diagonale : signifie que les produits les plus demandés se trouvent à des localisations le plus près du point E/S et vice versa les produits dont la demande est faible dans des localisations(diagonale) les plus éloignées.
- L'allocation à travers le rayonnage : on ne parle pas des localisations mais des racks avec le même principe d'attribution des produits selon la classe.
- L'allocation aléatoire : cette configuration fait l'objet d'une référence dans notre projet, pour fonder une comparaison entre la réalité et le terrain et nos résultats. Les données pour cette séquence sont générées aléatoirement et peuvent changer d'une compilation à une autre.

L'algorithme 1 représente l'heuristique appliquée pour résoudre ce problème du SLAP :

Algorithm 1 Storage Location Assignment

Entrées : Soit les séquences des emplacements suivantes : (Within Aisle), (Diagonal), (Random).

les produits i ($i=1, \dots, n$) à affecter

Sortie : $Aff[i]$ tel que $Aff[i] = \{(A, 0, 1) : 30, (A, 1, 1) : 30, \dots\}$

Liste des dictionnaires des emplacements auxquelles est affecté le produit i

Début :

1. Trier les produits i ($i=1, \dots, n$) selon un ordre donné, par Ex : demande, chiffre d'affaire ou autre, pour obtenir le séquençement d'affectation $T[1..n]$
 n = nombre de produit
2. Choisir une politique d'affectation c.à.d (Random , Diagonal , Within Aisle)
 n = nombre de produit
 $i \leftarrow 1$
 $j \leftarrow 1$
3. **Tant que** $i \leq n$ **faire**
 - (a) Déterminer $SeqEmp[j..j+k]$ pour les prochains emplacements pouvant accueillir la totalité des cartons de $T[i]$ en respectant les contraintes mentionnées.
 - (b) Enregistrer dans $Aff[T[i]]$ les emplacements affectés à $T[i]$ avec les quantités
 $i \leftarrow i + 1$
 $j \leftarrow j + k + 1$

fait

fin

L'algorithme 2 présente la manière d'obtention des diagonales d'une matrice :

Algorithm 2 Obtention de toutes les diagonales d'une matrice

Entrées : Soit M une matrice de dimension $n \times m$

Sortie : $Vec = [0, 10, \dots, 449]$

Debut :

```

Vec = []
pour k ← 1 haut m - 1 faire
    i ← k
    j ← 1
    Tant que i ≤ 1 et j ≤ m faire
        Ajouter M[i][j] au tableau Vec.
        i ← i - 1
        j ← j + 1
pour k ← 1 haut n faire
    i ← m - 1
    j ← k
    Tant que j ≤ n - 1 faire
        Ajouter M[i][j] au tableau Vec.
        i ← i - 1
        j ← j + 1

```

fin

4 RÉSULTAT

Les premiers résultats concernant , l'analyse ABC et les tableaux de 4-7 représentent le taux de remplissage en appliquant la politique basée sur des classes, Class-based en anglais pour (3) trois politiques d'allocation dans cet ordre : À travées le rayonnage, Diagonale et Aléatoire ,en anglais et abrégés par (WA) : Within Aisle, (Di) : Diagonal ,(Ra) : Random .

Les algorithmes de séquençage présentés à la section 3 ont été implémentées en Python 3.9 sur un PC Intel Core i3-6100U @ 2.30 Ghz , 3.88 GO de RAM et utilisant un OS Windows. les temps de calcul sont négligeables dans cette étude.

Classe	% de stock	% de demande
Classe A	29%	75.83%
Classe B	34%	19.7%
Classe C	37%	4.47%

TABLE 3 – Classification ABC

Politique de stockage	Ra	WA	Di
Nombre d'emplacement occupés	416	453	433

TABLE 4 – Nombre d'emplacement occupés pour chaque politique

Libelle des racks	Nb d'emplacement	% de remplissage des racks
A	135	0%
B	135	0%
C	135	0%
D	135	69%
E	135	93%
F	63	89%
G	63	70%
H	63	71%
I	63	63%
J	72	69%

TABLE 5 – Le taux de remplissage pour chaque rack avec la politique à travers le rayonnage

Libelle des racks	Nb d'emplacement	% de remplissage des racks
A	135	24%
B	135	23%
C	135	27%
D	135	32%
E	135	33%
F	63	73%
G	63	71%
H	63	86%
I	63	81%
J	72	74%

TABLE 6 – Le taux de remplissage pour chaque rack avec la politique Diagonale

Libelle des racks	Nb d'emplacement	% de remplissage des racks
A	135	36%
B	135	39%
C	135	39%
D	135	21%
E	135	39%
F	63	46%
G	63	46%
H	63	41%
I	63	46%
J	72	40%

TABLE 7 – Le taux de remplissage pour chaque rack avec la politique Aléatoire

La politique « Random » donne des valeurs satisfaisantes : bonne répartition d’allocations , et preseeve l’entrepôt de subir une congestion lors des préparations de commandes , on ajoute que cette politique nécessite un ERP qui gère les entrées et les sorties des produits à lecture électronique comme une lecture de code à barre ou code QR, pour bien maîtriser les approvisionnements et éviter les erreurs au moment de l’inventaire. Pour la politique à travers le rayonnage (Within Aisle) l’allocation est concentrée sur les premiers racks {J,I,H...} avec des pourcentages de remplissage aux alentours du 100% les derniers racks {A,B,C}. Enfin, la politique diagonale a eu une distribution des produits à caractère décroissant, on remarque que les premiers palettiers sont occupés plus que les plus éloignés du point Entrée/Sortie.

La figure 2 est la représentation des nouveaux emplacements après une reconfiguration du magasin MD2 selon les politiques (Wa figure (a) et Di figure (b)).

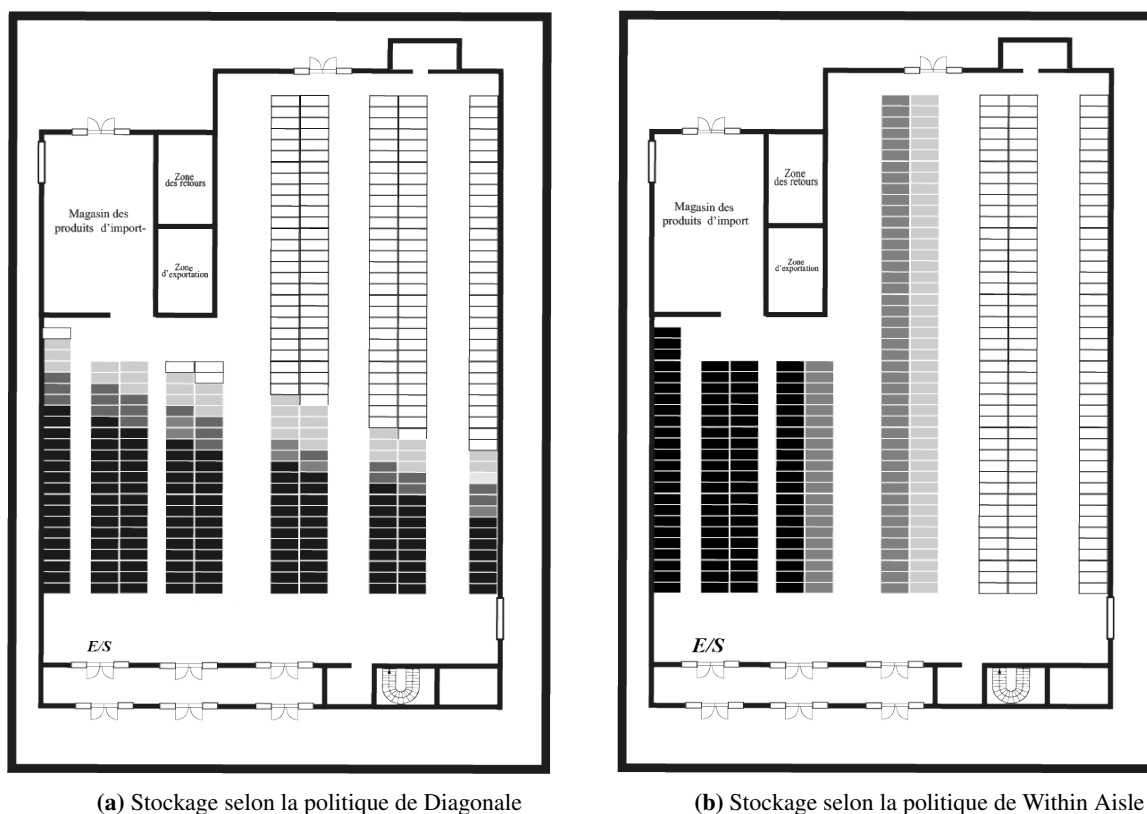


FIGURE 2 – Résultats d’allocation des emplacements

5 CONCLUSION

Dans cet article, on s'est intéressé à l'allocation des emplacements dans un entrepôt qui possède des racks à multiniveaux avec des capacités d'emplacement hétérogènes. Dans un premier temps, on a procédé à l'allocation d'espace selon une politique de stockage "basée sur des classes" et donc une classification des données "produit" a été faite selon la loi de Pareto, dans un second temps on a sélectionné trois (3) politiques d'allocation : à travers le rayonnage, Diagonale et enfin aléatoire pour affecter les produits selon l'ordre établi et les contraintes rencontrées. Par la suite, on a pris les contraintes rencontrées : contrainte du poids, contrainte d'approvisionnement et contrainte de conditionnements (les cartons de dimensions différentes en hauteur seulement).

Ici les importantes conclusions qu'on a eues après cette étude :

1. La politique aléatoire ne présente pas un mauvais choix pour Merinal car elle permet de minimiser l'espace occupé par les produits, par ailleurs, elle nécessite une assistance d'un logiciel de gestion d'entrepôt.
2. La politique diagonale est gourmande en espace pour un entrepôt de ce genre de rack à capacité différente.
3. La politique à travers le rayonnage permet de concentrer les produits dans des racks adjacents, ce qui donne de meilleurs résultats par rapport au temps de la préparation de commandes.

On constate que d'autres recherches peuvent être effectuées comme suite à ce travail :

- L'ajout du critère de la similarité de demande pour effectuer une classification plus précise et améliorer en conséquent la qualité des classes obtenues.
- Procéder à un système de zonage pour chaque classe selon la capacité des zones créées.

RÉFÉRENCES

- [1] 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), 4467-4483.
- [2] Bindi, F., Manzini, R., Pareschi, A., Regattieri, A. (2009). Similarity-based storage allocation rules in an order picking system : an application to the food service industry. *International Journal of Logistics : Research and Applications*. 12(4), 233-247.
- [3] Brynzér, H., Johansson, M. I. (1996). Storage location assignment : Using the product structure to reduce order picking times. *Journal of Production Economics*, 6(1), 46, 595-603.
- [4] Frazelle, E. A., Sharp, G. P. (1989). Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation. *Industrial Engineering*. 21(4), 33-37.
- [5] Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F. (2010). Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems. *Journal of the Operational Research Society*. 61(6), 1013-1021.
- [6] Guerriero, F., Musmanno, R., Pisacane, O., Rende, F. (2013). A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraint. *Applied Mathematical Modelling*. 37(6), 4385-4398.
- [7] Hausman, W. H., Schwarz, L. B., Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science*. 22(6), 629-638.
- [8] Heskett, J. L. (1963). Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. *Transportation and distribution Management*. 3(1), 27-31.
- [9] Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., Affenzeller, M. (2015). Robust storage assignment in warehouses with correlated demand. In *Computational intelligence and efficiency in engineering systems*. (pp. 415-428). Springer, Cham.
- [10] Montulet, P., Langevin, A., Riopel, D. (1998). Minimizing the peak load : an alternate objective for dedicated storage policies. *International journal of production research* 36(5), 1369-1385.
- [11] Reyes, J., Solano-Charris, E., Montoya-Torres, J. (2019). The storage location assignment problem : A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 10(2), 199-224.
- [12] Silva, A., Coelho, L. C., Darvish, M., Renaud, J. (2020). Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning. *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*. 140, 102003.