

Haute Ecole
Groupe ICHEC – ISC Saint-Louis – ISFSC



Enseignement supérieur de type long de niveau universitaire

Comment (ré)optimiser un entrepôt et comment mesurer les gains de productivité générés ?

Cas pratique au sein de l'entreprise Van Mieghem Logistics

Mémoire présenté par :

Corentin EMMERECITS

Pour l'obtention du diplôme de :

Master en gestion de l'entreprise

Année académique 2018-2019

Promoteur :

François GRISAY

Boulevard Brand Whitlock 6 - 1150 Bruxelles

Je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Il constitue l'aboutissement de cinq années de travail mais aussi (et surtout) d'amusement et de rencontres.

Merci Monsieur Grisay, pour votre accompagnement et vos précieux conseils durant cette année.

Merci Joël, pour votre accueil, votre patience et le temps passé à partager vos connaissances au cours des trois mois que j'ai passés chez Van Mieghem Logistics.

Merci Philippe, pour ta disponibilité, ton aide pendant ma recherche de stage et surtout pour ta relecture minutieuse et tes remarques pertinentes. Ce mémoire n'aurait certainement pas la forme qu'il a aujourd'hui sans ton intervention.

Merci Papa et Maman, pour votre soutien, vos relectures et votre aide dans la dernière ligne droite de ce travail.

Merci Hélène, pour tes commentaires et surtout pour m'avoir encouragé même dans les moments où j'étais persuadé que ce travail ne serait jamais terminé.

Merci aussi à tous les employés, responsables d'entrepôts et magasiniers de Van Mieghem Logistics pour votre accueil et le temps que vous m'avez accordé.

Enfin, merci à vous qui prenez le temps de lire mes dernières lignes rédigées en tant qu'étudiant.

Table des matières

Table des matières
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux	VI
Introduction	1
Partie I : Gestion et optimisation d'un entrepôt	2
1. Supply chain et entrepôts	2
2. Externaliser le transport et la logistique	5
3. Activités de l'entrepôt.....	6
3.1. Réception	7
3.2. Mise en stock.....	8
3.2.1. <i>Systèmes de stockage</i>	8
Stockage au sol.....	8
Racks.....	8
3.2.2. <i>Stockage dédié</i>	9
3.2.3. <i>Stockage partagé</i>	9
3.2.4. <i>Classification ABC</i>	10
3.2.5. <i>Autres politiques</i>	11
3.3. Picking.....	11
3.4. Emballage/palettisation.....	12
3.5. Envoi	12
4. Retours.....	13
5. Cross-docking.....	13
6. Optimiser un entrepôt	15
6.1. Structure technique.....	16
6.1.1. <i>Entrepôt « unit-load »</i>	17
Structure de stockage	17
Cycle simple et cycle double	22
Point P&D	23
6.1.2. <i>Entrepôt « picking au carton »</i>	23
6.1.3. <i>Entrepôt « picking à la pièce »</i>	24
6.2. Order picking	25
6.2.1. <i>SKU & pick density</i>	25
6.2.2. <i>Routing</i>	25
Travelling Salesman Problem.....	26
Algorithme de Dijkstra	26
Algorithme de Ratliff & Rosenthal.....	28
Méthodes heuristiques	31
6.2.3. <i>Méthodes d'order picking</i>	32
Méthodes employant des humains.....	33
Méthodes employant des machines	33
7. Automatisation	34
7.1. Picker-to-parts	34
7.1.1. <i>Scanners</i>	34
7.1.2. <i>Voice picking</i>	34
7.1.3. <i>Pick-to-light</i>	35

7.1.4. Guidage par induction et fourches tri-directionnelles	35
7.1.5. Radio Frequency Identification (RFID)	35
7.2. Parts-to-picker	36
7.2.1. Convoyeurs.....	36
7.2.2. Transstockeurs.....	37
7.2.3. Carrousels.....	39
7.2.4. Automated Guided Vehicle (AGV).....	39
Robots et étagères mobiles	40
Robots Ocado	40
Robots de picking Locus	41
7.3. Le futur de l'entrepôt.....	42
8. Lean six-sigma warehousing.....	43
8.1. Lean six-sigma	43
8.1.1. Lean.....	43
8.1.2. Six-sigma	45
8.2. DMAIC : la boîte à outils de la résolution de problèmes	45
8.2.1. D – Define	45
Value Stream Mapping (VSM).....	45
Voice of Customer (VOC).....	47
Critical To Quality (CTQ)	47
Autres.....	47
8.2.2. M – Measure	47
5W2H.....	47
Corrélation	47
Analyse Pareto.....	47
8.2.3. A – Analyze	48
Diagramme d'Ishikawa	48
5 Why.....	48
Inférence statistique	48
8.2.4. I – Improve	49
Poka Yoke.....	49
5S	49
8.2.5. C – Control.....	49
Standard Operating Procedure (SOP)	50
Statistical Process Control (SPC).....	50
Visual management.....	50
9. Mesures de performance dans l'entrepôt.....	51
9.1. Key Performance Indicators (KPI).....	51
9.2. « Warehouse Assessment in a Single Tour » (WAST)	52
10. Conclusion	53
Partie II : Cas pratique : Entrepôt de Van Mieghem Logistics à Fleurus	54
1. Mise en contexte.....	54
1.1. L'entreprise.....	54
1.2. L'entrepôt de Fleurus.....	54
1.2.1. Organisation physique.....	54
1.2.2. Volume d'activité	56
1.2.3. Organisation des activités	59
Réception.....	59
Mise en stock	59
Picking	60

Emballage/palettisation	61
Envoi	61
2. Description du problème	62
2.1. Résultat global	62
2.2. Détail des résultats par catégorie	63
2.2.1. <i>Satisfaction du client</i>	63
2.2.2. <i>Propreté, environnement, ergonomie, sécurité et hygiène</i>	63
2.2.3. <i>Utilisation de l'espace, état du bâtiment et installations techniques</i>	64
2.2.4. <i>Etat du matériel de manutention</i>	64
2.2.5. <i>Travail d'équipe, management et motivation</i>	64
2.2.6. <i>Méthodes de stockage</i>	64
2.2.7. <i>Méthodes de préparation de commandes</i>	65
2.2.8. <i>Coordination de la supply chain</i>	65
2.2.9. <i>Niveau et utilisation de l'IT</i>	65
2.2.10. <i>Engagement pour la qualité</i>	65
2.2.11. <i>Gestion de l'efficacité et de la flexibilité</i>	66
2.3. Conclusion	66
3. La réorganisation	67
3.1. Ajout de racks	67
3.1.1. <i>Racks de stockage classiques</i>	67
3.1.2. <i>Racks d'accumulation</i>	68
3.2. Optimisation du stockage au sol	68
3.3. Gestion des obsolètes	69
3.4. Resserrage du stock	69
3.5. Chemin de picking	70
3.6. Politique de stockage	71
3.7. Picking & palettisation	71
3.8. Autres	72
3.9. Conclusion	73
Partie III : Résultats	74
1. Warehouse Assessment in a Single Tour (WAST)	74
1.1. Résultat global	74
1.2. Détail des résultats par catégorie	75
1.2.1. <i>Satisfaction du client</i>	75
1.2.2. <i>Propreté, environnement, ergonomie, sécurité et hygiène</i>	75
1.2.3. <i>Utilisation de l'espace, état du bâtiment et installations techniques</i>	75
1.2.4. <i>Etat du matériel de manutention</i>	75
1.2.5. <i>Travail d'équipe, management et motivation</i>	75
1.2.6. <i>Méthodes de stockage</i>	76
1.2.7. <i>Méthodes de préparation des commandes</i>	76
1.2.8. <i>Coordination de la supply chain</i>	76
1.2.9. <i>Niveau et utilisation de l'IT</i>	76
1.2.10. <i>Engagement pour la qualité</i>	76
1.2.11. <i>Gestion de l'efficacité et de la flexibilité</i>	76
2. Mesure de la productivité (KPI)	77
2.1. Productivité du picking	77
2.2. Productivité de l'activité globale	79
3. Conclusion	82

Partie IV : Recommandations	83
1. Etiquetage – RFID	84
2. Lean – Relation client : packaging	84
3. Lean – Visual Management	85
4. Automatisation – Robots de picking.....	85
5. Stockage – Formalisation de la politique de stockage dans le WMS.....	86
6. Layout – Optimisation du layout.....	86
7. Routing – Guidage des opérateurs via le scanner.....	87
8. Données – Tracking des erreurs	87
9. Sécurité – Aménagement des allées de circulation.....	87
10. Stockage – Resserrage des lignes de stockage au sol.....	87
Conclusion.....	88
Bibliographie	89

Liste des figures

Figure 1 : Chase demand	4
Figure 2 : Level production	4
Figure 3 : Réactivité et coûts logistiques selon le nombre d'implantations	4
Figure 4 : Schéma des flux de produits dans un entrepôt classique	6
Figure 5 : Schématisation des flux entrants et sortants)	6
Figure 6 : Répartition classique des coûts opérationnels d'un entrepôt.....	7
Figure 7 : Idéalisation du niveau de stock d'un emplacement	9
Figure 8 : Schéma d'un entrepôt avec classification ABC	10
Figure 9 : Classification ABC	10
Figure 10 : Flux et fonctions de l'entrepôt	13
Figure 11 : Principes de cross-docking.....	14
Figure 12 : Niveaux de décision dans une supply chain	15
Figure 13 : Types d'entrepôts	17
Figure 14 : Configurations traditionnelles.....	18
Figure 15 : Configuration "Flying-V"	18
Figure 16 : Configuration Fishbone Aisles	19
Figure 17 : Comparaison des améliorations apportées par les configurations originales	19
Figure 18 : Profondeur des racks : 1 palette vs. 2 palettes	20
Figure 19 : Allocation de l'espace de stockage perdu aux espaces de stockage	21
Figure 20 : Trajets en cycle simple Figure 21 : Trajets en cycle double.....	22
Figure 22 : Position du point P&D.....	23
Figure 23 : Algorithme de Dijkstra : Situation initiale	26
Figure 24 : Algorithme de Dijkstra : Etape 1	27
Figure 25 : Algorithme de Dijkstra : Etape 2 avec d comme nœud actuel	27
Figure 26 : Algorithme de Dijkstra : Fin de l'étape 2.....	28
Figure 27 : Algorithme de Dijkstra : Etape 3	28
Figure 28 : Entrepôt et points de décision.....	29
Figure 29 : Chemins possibles entre les allées 2 et 3	30
Figure 30 : Graphe final du chemin de picking.....	30
Figure 31 : Résultat de l'optimisation du chemin de picking.....	31
Figure 32 : Méthodes de routing	31
Figure 33 : Méthodes d'ordre picking.....	33
Figure 34 : Guidage par induction	35
Figure 35 : Convoyeur pour caisses	36
Figure 36 : Transstockeur.....	37
Figure 37 : Carrousel.....	39
Figure 38 : Scallog : Etagère, robot et station de picking	40
Figure 39 : Schématisation du fonctionnement de l'entrepôt Ocado	41
Figure 40 : Bras de picking dans l'entrepôt Ocado	41
Figure 41 : Robot Locus	41
Figure 42 : Robots Locus dans une allée.....	42
Figure 43 : La philosophie lean.....	44
Figure 44 : Symboles principaux de la VSM	46
Figure 45 : Exemple de VSM.....	46
Figure 46 : Plan de l'entrepôt.....	55
Figure 47 : LEP – Activité en pièces 2017-2018	57
Figure 48 : Activité en pièces ECF 2017-2018.....	57

Figure 49 : Comparaison des stocks LEP et ECF	58
Figure 50 : Répartition des racks	58
Figure 51 : LEP et ECF - Activité en nombre d'entrées et sorties 2018	58
Figure 52 : Exemple d'une partie d'allée	60
Figure 53 : Résultat du WAST avant réorganisation	62
Figure 54 : Etiquette de position	63
Figure 55 : Racks d'accumulation	68
Figure 56 : Zone de stockage au sol avant (gauche) et après (droite) réorganisation	68
Figure 57 : Extrait d'une allée du hall G (nouvelle configuration)	70
Figure 58 : Nouvelle étiquette de position	71
Figure 59 : WAST après réorganisation	74
Figure 60 : LEP et ECF - Temps de picking	77
Figure 61 : ECF - Productivité du picking	78
Figure 62 : LEP - Productivité du picking	78
Figure 63 : ECF - Entrées et sorties	80
Figure 64 : LEP - Entrées et sorties	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Types de produits	2
Tableau 2 : Types de supply chains	3
Tableau 3 : Définition des distances	29
Tableau 4 : Vitesses de déplacement en entrepôt	37
Tableau 5 : Mise en stock d'une palette par un chariot à mat rétractable	38
Tableau 6 : Statistiques RH	56
Tableau 7 : Résultat de l'ajout de racks (hall G)	67
Tableau 8 : Résultats de l'analyse des rotations	69
Tableau 9 : Résultat du resserrage	70
Tableau 10 : Statistiques RH	79
Tableau 11 : Récapitulatif des résultats	81
Tableau 12 : Recommandations	83

Introduction

Depuis des années, je suis baigné dans un milieu où l'entrepreneuriat est valorisé. J'ai notamment travaillé à l'élaboration d'un business plan concernant une solution de gestion des stocks à destination des entrepreneurs dans le bâtiment. Avec le recul, je me suis rendu compte que mes connaissances en gestion des stocks et plus largement en logistique étaient trop limitées pour proposer une solution crédible à de potentiels clients.

J'ai donc choisi d'orienter la fin de mes études vers le domaine du supply chain management. Pour ce faire, j'ai notamment passé trois mois chez Van Mieghem Logistics, en tant que stagiaire. La problématique dont il est question dans ce travail est directement issue du projet auquel j'ai pu prendre part lors de mon passage dans l'entreprise. En effet, j'ai eu l'occasion de participer à la réorganisation d'un entrepôt de marchandises. Le but de ce projet était d'améliorer les conditions de travail, ce qui devait mener à accroître la productivité. L'objectif de ce travail est donc de mettre en lumière ce qui peut être mis en place pour améliorer la productivité d'un entrepôt. Dès lors, la problématique traitée au cours de ce travail est la suivante :

*Comment (ré)optimiser un entrepôt et
comment mesurer les gains de productivité générés ?*

Pour répondre à cette question, plusieurs pistes seront explorées dans les pages qui suivent. Le travail sera divisé en quatre parties principales, elles-mêmes scindées en chapitres :

- 1) La première a trait à toute la théorie pouvant être mobilisée en matière de gestion et d'optimisation d'un entrepôt. La majeure partie des éléments que j'exposerai est issue de la littérature scientifique ;
- 2) La seconde partie est consacrée au cas de Van Mieghem Logistics. C'est dans cette partie je détaillerai le problème rencontré. Pour ce faire, je m'appuierai sur une méthode qualitative basée sur une grille d'évaluation. (de Koster M. , 2008) Ensuite, j'expliquerai les actions qui ont été mises en œuvre pour pallier ce problème ;
- 3) Le troisième volet porte sur les résultats de la réorganisation. En d'autres termes, c'est dans cette partie qu'est mesurée l'efficacité de la réorganisation. Pour ce faire, je ferai appel à deux méthodes : une nouvelle application de la méthode de de Koster (2008) et des indicateurs de performances (KPI), basés sur des statistiques internes de Van Mieghem. Logiquement, on s'attend à avoir un impact positif sur les KPI grâce à la réorganisation ;
- 4) La dernière est quant à elle consacrée aux recommandations. C'est dans cette partie que j'utiliserai en pratique des concepts théoriques abordés au préalable. L'objectif est de mettre en perspective les éléments exposés dans le cas pratique grâce aux acquis théoriques.

La démarche suivie consiste donc à construire une base théorique relative à l'optimisation d'un entrepôt, puis à relater le déroulement d'un projet de réorganisation pratique. Cela permettra de comprendre les différences pouvant exister entre les deux perspectives.

1. Supply chain et entrepôts

Bartholdi et Hackman (2017) définissent l'entrepôt comme le « point de la supply chain où le produit s'arrête » (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 3) et est manipulé. La littérature scientifique distingue deux types d'entrepôts : les entrepôts *unit-load* et les entrepôts *order-picking*. Dans les premiers, les marchandises sont manipulées par palettes complètes tandis que les seconds traitent des commandes au colis ou à la pièce. (Roodbergen, Sharp, & Vis, 2008) Dès lors, l'utilisation d'entrepôts, quoique nécessaire, nécessite de la main d'œuvre et de l'espace. On sait ces deux ressources particulièrement coûteuses, ce qui rend nécessaire une gestion optimale des activités d'entreposage.

Dans ce contexte, il est légitime de se demander quel avantage une entreprise peut retirer de l'utilisation d'un entrepôt. La réponse est liée à la demande fluctuante et au besoin de flexibilité de la supply chain en découlant. En effet, dans la plupart des secteurs, la demande varie plus fortement que la capacité de production. Dès lors, les entrepôts servent à s'adapter plus rapidement aux pics de demande (saisonnalités) ou à faire face à une diminution temporaire. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Plus précisément, on peut classer le type d'articles qu'une entreprise produit en deux catégories : les fonctionnels et les innovants. Le tableau suivant résume la différence entre les deux catégories.

Tableau 1 : Types de produits

	Fonctionnels	Innovants
Demande	Prévisible	Imprévisible
Cycle de vie	Long (> 2 ans)	Court (3 mois à 1 an)
Marge	5-20 %	20-60 %
Variété des produits	Faible	Elevée
Erreur moyenne dans les prévisions	10 %	40-100%
Taux de rupture de stock moyen	1-2%	10-40%
Soldes forcées	Non	10-25%
Exemples	Sel, papier toilette, pain	IPad, vêtements mode

Source : Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your product ? *Harvard Business Review*, 105-116. Récupéré de <https://pdfs.semanticscholar.org/647a/c2ded3d69e41bb09ef5556aa942e01abd14d.pdf>

Ce tableau aide à faire la distinction entre un produit innovant et technologique. En effet, il est important de comprendre qu'un produit technologique (smartphone, tablette, etc.) sera généralement considéré comme innovant mais que tout produit innovant n'est pas technologique. Par exemple, l'enseigne Zara propose deux types de vêtements : les *basics* et les *fashionables*. Les premiers présentent les caractéristiques d'un produit fonctionnel tandis que les seconds sont de type innovant, sans être technologiques. (Tancrez, 2018b)

Selon le type de produits qu'une entreprise produit, le design de sa supply chain variera. On distingue également deux types de *supply chains* : les efficaces (*physically efficient*) et les *market responsive*.

Tableau 2 : Types de supply chains

	Supply chain efficiente	Supply chain market-responsive
Objectif principal	Satisfaire la demande prévisible au coût le plus bas possible	Réponse rapide à la demande imprévisible, pour minimiser les ruptures de stock, les soldes forcées et l'obsolescence des stocks
Capacité de production	Maintien d'un haut taux d'utilisation	Utilisation de coussins de sécurité et flexibilité de la capacité de production
Stocks	Minimisation et haut taux de rotation	Utilisation de coussins de sécurité (hauts niveaux de stocks) de produits finis ou semi-finis
Lead-time	A diminuer Si ça n'augmente pas les coûts	Investissement massif dans la réduction du lead-time
Fournisseurs	Sélection selon les coûts et la qualité	Sélection selon la rapidité, la flexibilité et la qualité
Product design	Maximiser la performance et minimiser les coûts	Design modulaire afin de prolonger autant que possible la différenciation

Source : Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your product ? *Harvard Business Review*, 105-116. Récupéré de <https://pdfs.semanticscholar.org/647a/c2ded3d69e41bb09ef5556aa942e01abd14d.pdf>

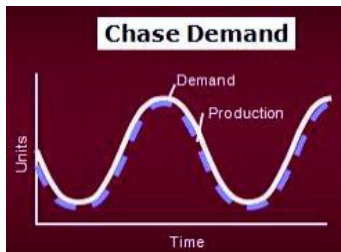
L'entreprise devra donc, idéalement, adapter sa supply chain en fonction du type de produits qu'elle propose. En d'autres termes, la stratégie commerciale devra être en accord avec la stratégie de supply chain et inversement. (Fisher, 1997) Zara a par exemple réussi à développer deux types de supply chain pour produire et délivrer ses deux types de produits évoqués plus haut. (Tancrez, 2018b)

Au plus les produits seront innovants, au plus la supply chain devra être *market responsive*. En particulier, au plus la supply chain doit être *market-responsive*, au plus le niveau de stock devra être élevé, afin de limiter au maximum le lead-time. On peut donc en conclure qu'une entreprise proposant des produits innovants au sens de Fisher (1997) requerra des niveaux de stocks, et donc ses besoins en capacité de stockage, élevés.

Indépendamment de ce lien entre le type de produit et de supply chain, Bartholdi et Hackman (2017) soulignent que les entrepôts peuvent constituer une solution pour parer aux éventuels problèmes de fiabilité du transport. En particulier, ils peuvent permettre aux entreprises de disposer de produits plus proches de leurs marchés et donc de satisfaire la demande dans un délai plus court. Les mêmes auteurs mentionnent aussi que les entrepôts et les cross-docks

peuvent permettre des économies d'échelle car ils offrent la possibilité d'agréger le transport. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Par ailleurs, la stratégie de planning de l'entreprise influencera également le besoin en capacité de stockage. On distingue deux stratégies principales à ce sujet :

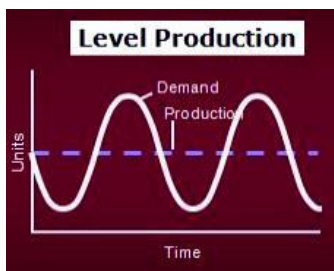


1) Tout d'abord, l'entreprise peut décider d'adapter son niveau de production aux fluctuations de la demande. Cette stratégie, nommée « **Chase Demand** », est utilisée lorsque détenir des stocks est particulièrement coûteux et que la capacité de production est flexible (main d'œuvre temporaire, machines assignées à d'autres productions, etc.). (Tancrez, 2018d)

Figure 1 : Chase demand

Source : Tancrez, J.-S. (2018d). *Accurate Response and Aggregate Planning*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

2) Inversement, une entreprise pourrait décider de conserver un niveau de production constant, quel que soit le niveau de la demande.



On appelle cette stratégie « **Level Production** ». Dans ce cas, le besoin en capacité de stockage sera plus important. En effet, les articles produits en période de faible demande seront stockés pour pouvoir satisfaire les commandes en période de haute demande. Cette stratégie sera utilisée si la flexibilité de la capacité de production est coûteuse et que le coût du stockage est faible. (Tancrez, 2018d)

Figure 2 : Level production

Source : Tancrez, J.-S. (2018d). *Accurate Response and Aggregate Planning*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

En pratique, on observe principalement une combinaison des deux stratégies. (Tancrez, 2018d) En conclusion, plus les produits sont innovants, plus le *response time* devra être minimisé et donc le nombre de facilités de stockage et de production sera plus élevé que dans le cas de produits fonctionnels. (Grisay, 2018a)

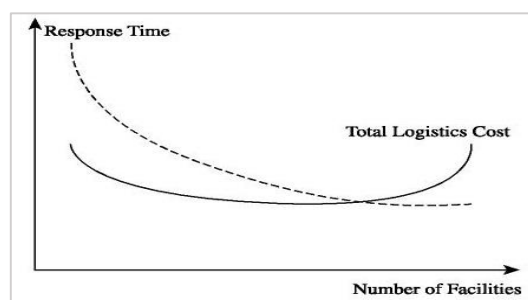


Figure 3 : Réactivité et coûts logistiques selon le nombre d'implantations

Source : Grisay, F. (2018a). *Deliver*. Présentation PowerPoint. ICHEC, Bruxelles.

2. Externaliser le transport et la logistique

Etant donné que l'analyse pratique de ce mémoire a été réalisée au sein d'une société de transport et logistique, il est intéressant de se pencher sur les raisons pouvant amener une entreprise à externaliser ce type d'activités.

Par « externaliser », on entend le transfert d'une activité d'une entreprise vers une autre. L'entreprise où l'activité est transférée est appelée tierce partie (*third party* en anglais). Par exemple, une entreprise pourrait choisir d'externaliser le stockage et le transport de ses marchandises. C'est par exemple le choix stratégique qu'a fait Lego. En Europe, l'entreprise a choisi de passer d'un réseau étendu de centres de distribution (DC) opérés par ses propres employés à un DC central géré par un opérateur externe, DHL en l'occurrence. (Wellian, 2010) Lorsque ce sont les opérations de transport et logistique, on parlera de *third party logistics* ou 3PL.

D'un point de vue général, une firme a intérêt à externaliser une certaine activité si les besoins de l'entreprise pour cette activité sont faibles, communs à d'autres entreprises et incertains (Tancrez, 2018a) :

- Faibles et communs à d'autres entreprises car ils doivent pouvoir être agrégés par une entreprise externe ;
- Incertains pour que l'entreprise bénéficie d'une réduction de risque en externalisant. Considérons la chaîne de magasins Wal-Mart qui possède sa propre flotte pour le transport des marchandises entre ses DC et son réseau de magasins. (Plambeck & Denend, 2007) Ce choix stratégique semble faire sens étant donnés les grands volumes transportés par Wal-Mart, ce qui rend plus difficile l'agrégation par un 3PL.

Par ailleurs, un 3PL aura la possibilité de gérer les pics saisonniers de ses clients en ayant un portfolio de clients caractérisés par des pics à différents moments de l'année. Le 3PL sera aussi généralement capable de proposer un meilleur service (par des temps de livraisons plus faibles par exemple). (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Externaliser comporte cependant des risques dont le principal est la perte de contrôle et de compétence dans l'activité externalisée.

3. Activités de l'entrepôt

Le flux des produits est généralement le même dans tous les entrepôts. Cependant, selon les auteurs, la différenciation entre les fonctions exercées dans l'entrepôt varie. Ainsi, Guillaume (2007) distingue la réception, le stockage, la préparation de commandes et l'expédition. Bartholdi et Hackman (2017) sont, eux, plus précis. Classiquement, selon eux, les produits arrivant dans l'entrepôt sont tout d'abord réceptionnés puis rangés dans les espaces de stockage. Ensuite, lorsqu'une commande est enregistrée, les préparateurs de commandes opèrent le picking et les produits sont emballés et/ou palettisés. Enfin, les palettes sont chargées et envoyées. (Bartholdi & Hackman, 2017) C'est cette classification qui est détaillée ci-dessous. On appelle également ces activités des processus. (Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M., 2000)

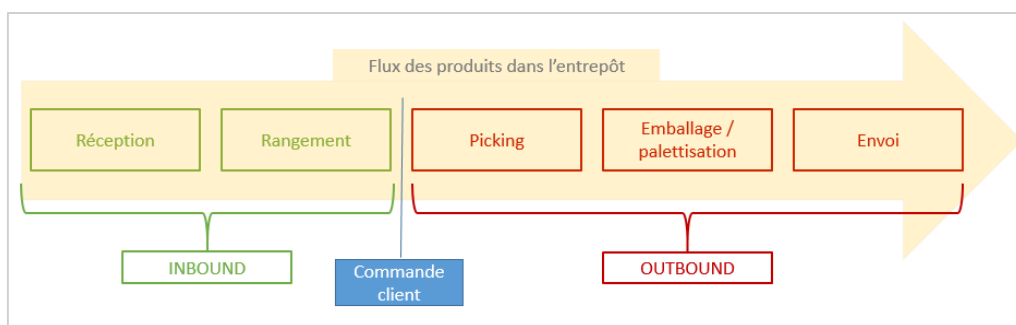


Figure 4 : Schéma des flux de produits dans un entrepôt classique

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Par ailleurs, les activités de l'entrepôt sont dites intensives en main d'œuvre. En effet, les produits arrivent généralement en grandes quantités dans l'entrepôt et en sortent en plus petites quantités, étant dispatchées vers différents clients / magasins. (Bartholdi & Hackman, 2017) En d'autres termes, les produits arrivent souvent par palettes complètes, sont stockées, puis les commandes des clients mixent les produits à expédier, ce qui demande une quantité non-négligeable de main d'œuvre.

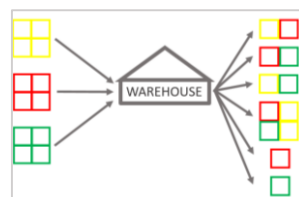


Figure 5 : Schématisation des flux entrants et sortants

La figure ci-dessus permet de visualiser pourquoi les activités opérées dans un entrepôt sont particulièrement intensives en main d'œuvre. Les marchandises arrivent en étant groupées par référence. Ensuite, les commandes qui font sortir les marchandises regroupent généralement différentes références. De plus, pour un nombre x d'entrées, on aura y sorties, avec $y > x$. En d'autres termes, le volume par sortie sera plus faible que celui par entrée. Cela implique que les marchandises entrées dans l'entrepôt n'en ressortiront qu'après avoir été re-palettisées, ce qui nécessite une quantité de main d'œuvre relativement importante.

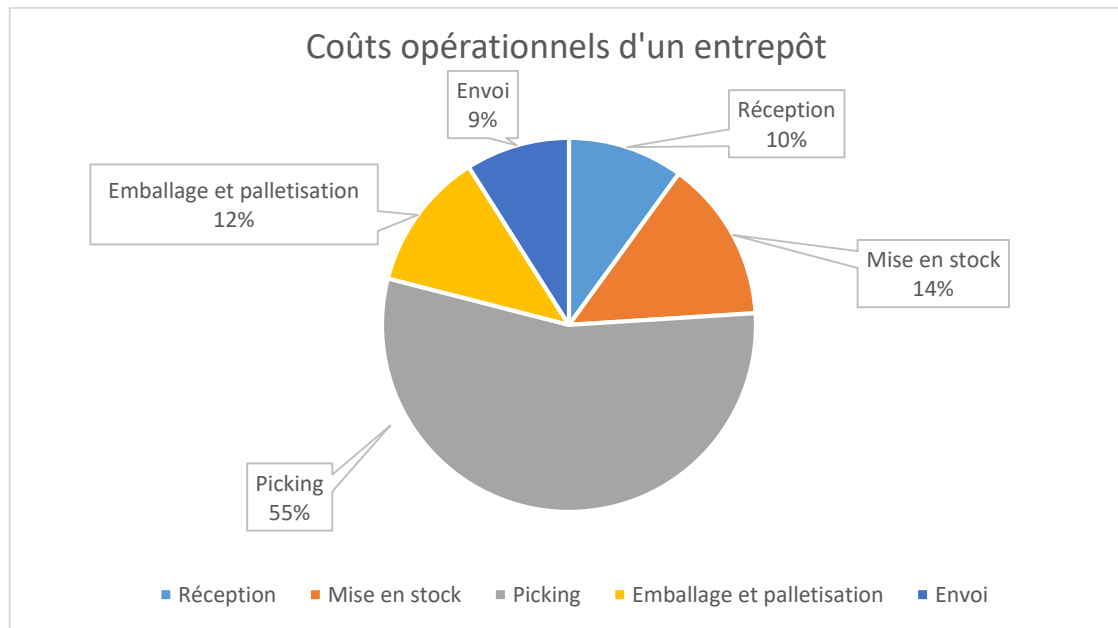


Figure 6 : Répartition classique des coûts opérationnels d'un entrepôt

Source : van den Berg, J. P., & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 519-528. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00114-5).

3.1. Réception

Idéalement, l'arrivée d'un camion à décharger est annoncée en avance de sorte que l'activité au sein de l'entrepôt puisse être adaptée selon la charge de travail. Classiquement, une fois le camion à quai, il doit être déchargé et les marchandises sont scannées pour que l'arrivée dans le dépôt soit enregistrée dans le système informatique, ou *warehouse management system* (WMS). Cela permet de rendre la marchandise disponible pour les commandes mais également de marquer la prise de possession de la marchandise. C'est également lors de la réception que les marchandises doivent être étiquetées. (ten Hompel & Schmidt, 2007) D'autre part, les marchandises doivent être inspectées pour s'assurer de leur bon état et que les quantités annoncées (informatiquement) correspondent à celles présentes physiquement. (Bartholdi & Hackman, 2017) Diverses procédures peuvent être mises en place, comme la prise de photos, le comptage et le contrôle qualité général (Karasek, 2013) Selon le type de marchandise, le contrôle qualité peut se limiter au contrôle physique mais il peut aussi aller jusqu'aux tests en laboratoire. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Une attention particulière doit être apportée lors de la réception des retours. En effet, les retours peuvent atteindre un taux de 30% des livraisons dans les activités classiques et l'état des articles retournés est hautement incertain.

Mis à part les cas où les marchandises arrivent sur des palettes mixtes (c'est-à-dire des palettes contenant plusieurs références) où une re-palettisation est nécessaire, ainsi que pour la réception des retours, la réception ne demande pas énormément de main-d'œuvre. Dès lors, cette activité ne représente que 10% des coûts opérationnels d'un entrepôt. (Bartholdi & Hackman, 2017)

3.2. Mise en stock

Les marchandises déchargées des camions doivent ensuite être rangées dans les emplacements corrects, selon la politique de stockage. On distingue deux politiques principales : le **stockage dédié** (*dedicated storage*) et le **stockage partagé** (*shared storage*). (Bartholdi & Hackman, 2017) D'autres auteurs (Jaimes, Pineda, Quiñones, & López, 2012) utilisent des dénominations différentes mais le principe des deux politiques reste identique. Par ailleurs, Rowenhorst *et al.* (2000) mentionnent une politique qui mélange les deux premières. Il s'agit du stockage basé sur la **classification ABC** (*class-based storage*). Ces politiques sont détaillées ci-dessous, après un aperçu des systèmes de stockage possibles.

Une fois rangés, les articles sont localisés, généralement au moyen d'un scanner qui assigne chaque colis à une adresse de l'entrepôt. (Bartholdi & Hackman, 2017) Cette étape est cruciale pour deux raisons principales :

- 1) Elle permet de retrouver les marchandises lorsque les commandes sont passées par le client ;
- 2) Dans le cas d'un 3PL, elle permet de déterminer le temps de stockage à facturer au client. Dès lors que cette étape est enregistrée dans le WMS, la marchandise est disponible pour des commandes.

3.2.1. Systèmes de stockage

On distingue d'un point de vue général deux systèmes de stockage : le stockage au sol et le stockage sur racks. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Stockage au sol

Il demande un investissement minime et présente de plus l'avantage d'être assez flexible. En effet, on peut par exemple relativement facilement modifier le sens des allées pour repenser le layout de l'entrepôt. Le stockage au sol est cependant caractérisé par un *tracking* des marchandises plus compliqué et moins précis que dans le stockage sur racks, ainsi que par une utilisation non-optimale du volume de stockage disponible. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Racks

L'utilisation de racks pour entreposer les marchandises permet de définir dans le WMS la position de chaque palette, ce qui améliore la précision. Par ailleurs, l'utilisation du volume de stockage est plus optimale que pour un stockage au sol. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Par ailleurs, on distingue le **stockage statique** du **stockage dynamique**. Le stockage statique implique qu'un article reste au même emplacement entre la mise en stock et le picking alors que, à l'inverse, le stockage dynamique implique des modifications de localisation au cours de la période de stockage, ce qui permet notamment de minimiser les distances parcourues lors du picking. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

3.2.2. Stockage dédié

Dans le cadre de cette première politique, un ou plusieurs emplacements de stockage sont attribués à chaque référence et aucune référence ne peut être stockée dans un emplacement dédié à une autre. Dès lors, il s'agit d'organiser l'assignement des emplacements selon la popularité des articles. On placera les articles les plus populaires dans les emplacements les plus pratiques pour les préparateurs de commandes. (Bartholdi & Hackman, 2017) Encore faut-il pouvoir définir ce que sont un article populaire et un emplacement pratique. Par exemple, dans un entrepôt où les préparateurs utilisent tous des chariots élévateurs pour procéder au picking, l'influence du niveau où sera stocké un article sera moindre que si les préparateurs utilisent des transpalettes. En effet, dans le deuxième cas, si l'article est stocké à un niveau trop élevé, le préparateur devra faire appel à un cariste qui viendra descendre la palette nécessaire. On notera également que le stockage dédié permet aux préparateurs de commandes d'intégrer au fil du temps l'emplacement des marchandises, ce qui, dans une certaine mesure, permet de diminuer le temps de picking. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Cette politique de stockage présente cependant le défaut de ne pas utiliser l'espace disponible optimalement. (Bartholdi & Hackman, 2017)

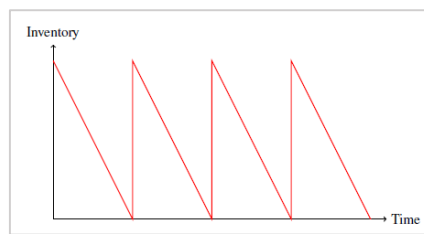


Figure 7 : Idéalisation du niveau de stock d'un emplacement

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

La figure ci-dessus représente la variation du stock d'un emplacement en considérant une politique de stockage dédié et une demande constante. Sous ces conditions, l'emplacement considéré est en moyenne à moitié vide. On peut extrapoler cette réflexion à l'ensemble de la capacité de l'entrepôt, ce qui amène à la conclusion que la capacité de stockage totale n'est utilisée en moyenne qu'à 50%. (Bartholdi & Hackman, 2017)

3.2.3. Stockage partagé

A l'inverse du stockage dédié, le stockage partagé laisse à l'opérateur le choix de l'emplacement des articles. Lorsqu'un emplacement est vidé par un préparateur lors du picking, le WMS libère l'emplacement pour que de nouvelles marchandises, quelle que soit la référence, puissent à nouveau y être entreposées. Dès lors, on s'attend avec cette politique à avoir une utilisation de l'espace de stockage plus optimale. Cependant, Bartholdi et Hackman (2017) relèvent plusieurs désavantages au stockage partagé. Tout d'abord, ils estiment que cette politique rend le processus de rangement plus lent. En effet, l'opérateur peut être amené à devoir disposer les marchandises dans un nombre d'emplacements plus élevé. Par ailleurs, cette politique ne permet plus au préparateur de mémoriser les emplacements des différentes

références. Enfin, cette politique requiert des « processus d'entrepôt plus disciplinés ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 16) En effet, comme un article peut être localisé à différentes positions, un préparateur de commande devant se rendre à une position éloignée pourrait être tenté de *picker* un article de la même référence localisé plus près de sa position. Le WMS doit être conçu de manière à empêcher ce type de manipulation afin d'éviter des écarts entre les stocks physiques et informatiques. (Bartholdi & Hackman, 2017) Une possibilité peut être d'imposer au préparateur de scanner la localisation avant de valider le retrait de l'article du stock.

3.2.4. Classification ABC

Cette politique de stockage mixe les stockages dédié et partagé. Il s'agit ici de classer les articles en stock en trois catégories (A, B et C). La catégorie A reprend les articles les plus importants en termes de volumes commandés par exemple. Les emplacements utilisés pour cette catégorie seront donc les plus accessibles pour les préparateurs de commandes. (Rouwenhorst, *et al.*, 2000) Les catégories B et C sont destinées aux articles moins importants selon le critère choisi.

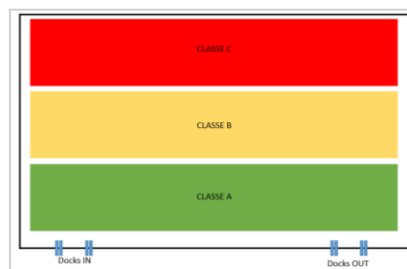


Figure 8 : Schéma d'un entrepôt avec classification ABC

La figure ci-dessus schématise l'idée de la classification ABC. Les références classées dans la catégorie A sont stockées dans les emplacements les plus pratiques (soit les plus proches des docks dans ce cas). On pourrait également avoir une classe A reprenant tous les emplacements situés aux niveaux sol et sol + 1, accessibles par un préparateur à pied, et les classes B et C aux niveaux supérieurs, moins facilement accessibles aux préparateurs.

Une autre possibilité d'organisation des articles selon la classification ABC est proposée par Cardona *et al.* (2016) dans le contexte d'un entrepôt avec un unique *picking and deposit point* (le point bleu sur le schéma ci-dessous).

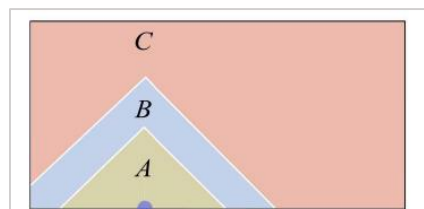


Figure 9 : Classification ABC

Source : Cardona, L. F., Rivera, L., & Jairo Martínez, H. (2016). Analytical optimization for the warehouse sizing problem under class-based storage policy. *Ingeniería y Ciencia*, 12(24), 221-248. <https://doi.org/10.17230/ingenieria.12.24.10>.

Ce schéma transmet mieux l'idée que les articles ayant la plus grande probabilité d'être manipulés (classe A) sont stockés le plus proche possible du point de début et fin de picking. Par ailleurs, il reflète également mieux la répartition des références entre les trois classes. En effet, la classification ABC est basée sur la loi de Pareto, communément nommée « loi 80/20 ». Cette loi prédit que 20% des références représentent 80% du volume traité ou du chiffre d'affaires, ce qui se vérifie souvent en pratique. On peut par exemple classer en A les 20% des références les plus importantes et répartir dans les classes B et C les 80% des références restantes.

3.2.5. Autres politiques

Rowenhorst *et al.* (2000) mentionnent le **correlated storage** qui vise à stocker les articles apparaissant régulièrement ensemble sur les commandes proches les uns des autres. Notons que la mise en œuvre de cette méthode requiert l'analyse des corrélations des présences des différents articles dans les commandes.

Dharmapriya & Kulatunga (2011) proposent eux d'attribuer un **facteur F** à chaque article. Ce facteur est fonction croissante de la demande pour l'article et du coût de déplacement propre à chaque article. L'équation proposée par les auteurs est la suivante :

$$F_i = \alpha * D_i + \beta * TC_i$$

où F_i est le facteur alloué à l'article i ;

D_i est la demande pour l'article i ;

TC_i est le coût de déplacement de l'article i ;

α est le poids de la demande dans le calcul du facteur F ;

β est le poids du coût de déplacement.

Selon cette équation, chaque article se voit allouer un facteur qui est fonction de sa demande et du coût de déplacement lié à l'article. Ensuite, les articles sont classés par ordre de facteur F et les articles avec les plus grands facteurs placés les plus proches des docks d'envoi de l'entrepôt. (Dharmapriya & Kulatunga, 2011)

La mise en œuvre d'une telle méthode peut se révéler compliquée, notamment concernant la valeur donnée aux paramètres α et β . Les auteurs ne proposent d'ailleurs pas d'exemple d'application de la méthode.

3.3. Picking

On parle de « picking » ou « order picking » pour désigner la préparation des commandes. Il s'agit de l'activité consistant à retirer les articles commandés par un client de leur emplacement de stockage au sein de l'entrepôt. (Rouwenhorst, *et al.*, 2000)

A la réception d'une commande, il faudra tout d'abord vérifier si les articles en question sont disponibles dans le stock de l'entrepôt. Si tel est le cas, le WMS génère une liste reprenant les articles à retirer et leur localisation, (Bartholdi & Hackman, 2017) ce qui permet à l'opérateur

de préparer la commande. Typiquement, le WMS est capable de sélectionner les références à sortir en fonction d'une règle préalablement établie (FIFO, LIFO, FEFO ou autre) grâce aux informations enregistrées lors de l'entrée en stock des marchandises. Chaque quantité d'un certain article à retirer constitue une *pick-line* ou ligne. Le WMS vérifie la disponibilité de la marchandise dans l'inventaire et associe chaque quantité à une adresse dans l'entrepôt. Il organise également le picking de manière à limiter au maximum les déplacements entre les adresses en classant les adresses à visiter par ordre croissant. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Il est généralement admis que le processus de préparation de commande est, relativement, le plus coûteux au sein d'un entrepôt. En effet, le *picking* représente en moyenne 55% des coûts opérationnels de l'entrepôt. (Bartholdi & Hackman, 2017) Par ailleurs, Bartholdi et Hackman (2017) soulignent que 55% du temps que les opérateurs passent au picking sont consacrés aux déplacements. Les autres activités sont réparties comme suit : 15% de recherche (des codes-barres à scanner, de l'article dans la loge, etc.), 10% de manutention des articles et 20% d'administratif (impression de documents, collage d'étiquettes, etc.). (Bartholdi & Hackman, 2017) Dès lors que les déplacements représentent la plus grande part du temps alloué au processus de *picking* et que ce processus représente plus de la moitié des coûts opérationnels d'un entrepôt, il est compréhensible que beaucoup de recherches portent sur l'optimisation du chemin parcouru par les opérateurs.

En résumé, le processus de picking consiste à rassembler les articles d'une commande d'un client, en fonction d'une liste établie par le WMS. L'optimisation du picking sera développée ci-dessous dans la partie consacrée à l'optimisation (cf. infra p. 31).

3.4. Emballage/palettisation

Après avoir collecté les articles lors du picking, il faut contrôler que la commande est bien complète pour ensuite assembler les différents cartons, sur une palette par exemple, et les préparer pour le transport. (Karasek, 2013) Le contrôle de la commande est important pour deux raisons principales. Tout d'abord, les commandes contenant des erreurs sont potentiellement problématiques pour le client. Deuxièmement, les commandes en erreur impliquent des retours qui devront être gérés, qui sont particulièrement coûteux. (Bartholdi & Hackman, 2017) Dans le cas où le picking est opéré par plusieurs magasiniers (picking par vague par exemple), il faut également rassembler les pickings des différents opérateurs. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

3.5. Envoi

La dernière étape du flux des marchandises dans l'entrepôt est l'envoi (ou *shipping*). Classiquement c'est lors de cette étape que la sortie des marchandises de l'entrepôt est enregistrée dans le WMS. Cette étape est généralement moins demandeuse en main d'œuvre. En effet, les articles ont déjà été rassemblés sur des palettes lors de l'étape précédente. Cependant, ce processus peut engendrer des déplacements et des manipulations supplémentaires si les produits sont stockés avant d'être chargés dans les camions. (Bartholdi & Hackman, 2017)

4. Retours

Lorsque le destinataire d'une commande refuse la marchandise (quelle que soit la raison), elle peut être renvoyée dans l'entrepôt. Concrètement, les marchandises doivent être rentrées en stock. Cette activité a tendance à prendre de l'ampleur avec le développement du e-commerce. (Bartholdi & Hackman, 2017)

5. Cross-docking

On parle de cross-docking lorsque des marchandises sont en transit dans l'entrepôt. En d'autres termes, les marchandises réceptionnées sont placées dans une zone tampon à proximité des quais pour être réexpédiées rapidement. Les étapes de mise en stock et de picking sont dès lors évitées, ce qui engendre des économies considérables. (FAQ Logistique, 2019a) En particulier, le cross-docking aide à réduire les stocks, diminuer le nombre d'étapes impliquées dans la satisfaction d'une commande, réduire le temps moyen qu'un article passe dans le stock et améliorer le service client. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

La figure ci-dessous illustre l'idée que l'activité de cross-docking constitue plutôt une activité de transit que de stockage. Les marchandises sont réceptionnées mais elles passent directement (ou très rapidement) à l'envoi, de telle sorte que peu, voire même pas du tout, de picking doit être opéré. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

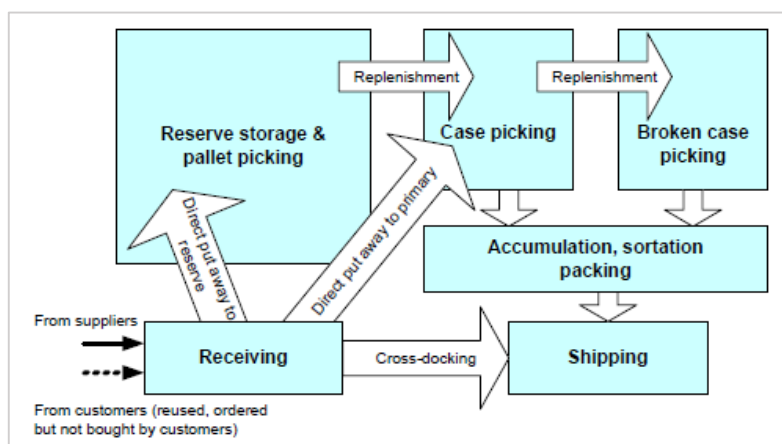


Figure 10 : Flux et fonctions de l'entrepôt

Source : 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), 481-501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>

Par ailleurs, on peut distinguer deux principes de cross-docking :

- 1) Les marchandises arrivent sur des palettes qui doivent être démontées et réorganisées selon les commandes, on peut alors parler de **cross-docking à deux niveaux** (ten Hompel & Schmidt, 2007) ;
- 2) Soit le travail de tri a été opéré en amont par le fournisseur et les palettes sont uniquement groupées en fonction des tournées, on parle ici de **cross-docking à un niveau**. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

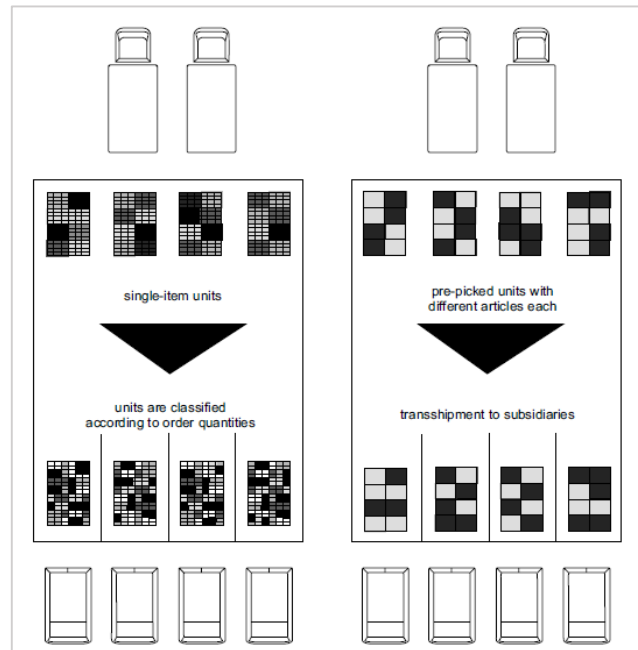


Figure 11 : Principes de cross-docking

Source : ten Hompel, M., & Schmidt, T. (2007). *Warehouse management: automation and organisation of warehouse and order picking systems*. Berlin : Springer. Récupéré de <https://epdf.tips/warehouse-management-automation-and-organisation-of-warehouse-and-order-picking-.html>

6. Optimiser un entrepôt

Classiquement, l'optimisation des opérations en entrepôt s'articule autour de plusieurs problèmes (ten Hompel & Schmidt, 2007) :

- Les quantités de main d'œuvre et de capital (au sens large) ;
- Les périodes d'inactivité ;
- Les déplacements non-productifs dans l'entrepôt ;
- Les délais ;
- Le respect des créneaux horaires.

Par ailleurs, les décisions au sein de la supply chain sont classées selon leur horizon temporel, comme l'illustre la figure ci-dessous.

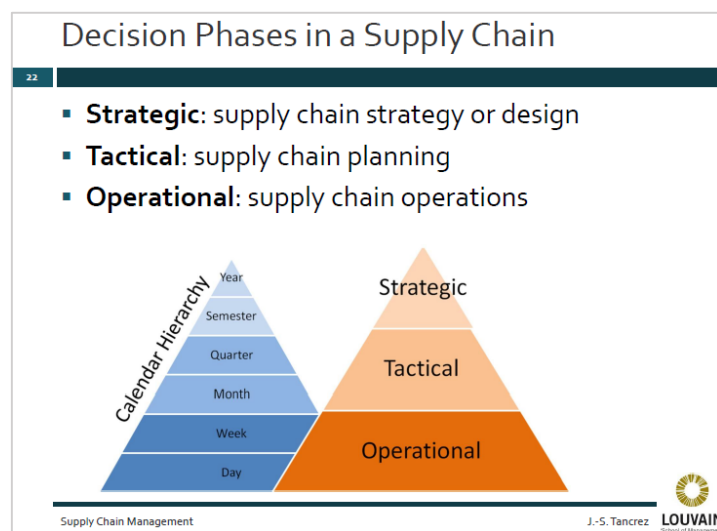


Figure 12 : Niveaux de décision dans une supply chain

Source : Tancrez, J. S. (2018c). *Supply Chain Management : Introduction*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

Les décisions stratégiques sont prises à long terme. Dans le cadre de la gestion d'entrepôt, il s'agira par exemple de choisir la localisation des installations. Les décisions stratégiques contraignent les décisions tactiques, qui concernent un horizon temporel moins lointain (moyen terme). Pour un 3PL, il s'agira par exemple de décider d'entamer ou non une relation commerciale avec un potentiel client. Cette décision est effectivement contrainte par la localisation de ses entrepôts (décision stratégique). Enfin, les décisions à court terme, influençant le travail au quotidien, sont dites opérationnelles. Ces décisions ont pour objectif d'implémenter au mieux les choix opérés aux niveaux décisionnels supérieurs (tactique et stratégique). (Tancrez, 2018c)

Ten Hompel & Schmidt (2007) classent dans les décisions stratégiques pour l'entrepôt la structure technique et les dimensions des structures de stockage ainsi que la technologie utilisée. Ils considèrent par contre l'organisation de l'assortiment de marchandises en stock, le planning de la main d'œuvre et des shifts de travail et la réorganisation des stocks comme étant des décisions tactiques. Enfin, au niveau opérationnel, il s'agit de toutes les décisions

concernant l'organisation du travail au *jour-le-jour* comme l'attribution des pickings aux préparateurs par exemple.

Le besoin d'optimiser ou de ré-optimiser peut être dû à différentes causes comme un changement de la demande pour certains articles ou de la gamme de produits stockés. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Karasek (2013) propose un état de l'art de l'optimisation des entrepôts divisé en trois champs : la structure technique, la structure opérationnelle et organisationnelle et les systèmes d'informations utilisés dans les entrepôts. La suite de ce chapitre s'oriente partiellement selon cette division. On s'intéresse premièrement à la structure technique, ou *layout*, pour ensuite détailler les possibilités d'optimisation en termes de picking (lié à l'organisation opérationnelle). L'optimisation grâce à l'automatisation fait quant à elle l'objet d'un chapitre complet plus loin dans ce travail.

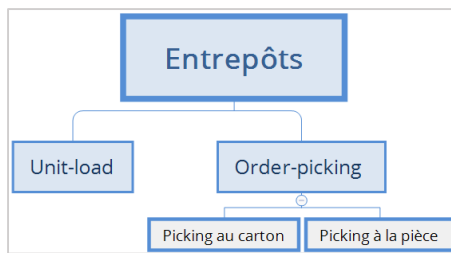
6.1. Structure technique

On parle de structure technique pour désigner le *layout* de l'entrepôt, mais aussi tous les équipements utilisés au sein de celui-ci. (Karasek, 2013) Si un entrepôt est généralement rectangulaire, le nombre de blocs, la longueur, la largeur et le nombre d'allées de service, la présence et, le cas échéant, la localisation des allées de circulation, la hauteur des racks et la localisation des docks sont autant de facteurs influençant le type de layout de l'entrepôt. (Karasek, 2013)

On entend par *allée de service* les allées permettant aux opérateurs « d'accéder aux emplacements de stockage et de picking » alors qu'une *allée de circulation* permet aux opérateurs « d'accéder aux allées de service ». (FAQ Logistique, 2019b)

Le choix de la structure technique est important car il conditionne fortement les optimisations possibles ultérieurement ainsi que les distances parcourues lors de la préparation de commandes. (Karasek, 2013) En effet, il s'agit d'une décision stratégique qui, comme mentionné plus haut, conditionne les décisions tactiques et opérationnelles. Concrètement, le projet de design du layout de l'entrepôt commence par la détermination de la taille du bâtiment, du type de structure de stockage (racks pour palettes, racks d'accumulation, étagères, etc.) et de l'équipement utilisé (chariots élévateurs frontaux, chariots à mat rétractable, chariots de picking, etc). Ensuite, ce sont les politiques opérationnelles (stockage, picking) qui doivent être décidées. (Roodbergen, Sharp, & Vis, 2008)

Roodbergen, Sharp & Vis (2008) distinguent deux types d'entrepôts (*unit-load* et *order-picking*), desquels découlent différentes structures techniques. Bartholdi & Hackman (2017) détaillent plus précisément les entrepôts de type *order-picking*. En effet, lorsqu'il s'agit d'un dépôt où les sorties de stock ne se font pas forcément à la palette complète, le picking peut se faire au carton ou à la pièce.



Notons que les différents types peuvent coexister au sein d'un même bâtiment. Par exemple, un entrepôt pourrait avoir une réserve fonctionnant sous le type *unit-load* et une partie où les commandes à expédier sont préparées, fonctionnant avec le type *order-picking*. (Gue & Meller, 2009)

Figure 13 : Types d'entrepôts

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

6.1.1. Entrepôt « unit-load »

Les entrepôts de type *unit-load* sont les plus « simples ». En effet, les marchandises y sont manipulées en unités standardisées, cette unité étant classiquement la palette. (Bartholdi & Hackman, 2017) En d'autres termes, les marchandises entrent et sortent sur le même support et aucun reconditionnement ne doit être opéré, ce qui simplifie fortement les activités de l'entrepôt.

Structure de stockage

La première question essentielle à se poser est celle de la structure de stockage utilisée. En particulier, comme le coût d'un entrepôt dépend en majeure partie de sa surface au sol, l'intérêt de stocker en hauteur paraît clair. Dès lors, dans le cas particulier du picking par palette complète, on peut soit entreposer les palettes les unes sur les autres soit investir dans des racks. Bartholdi & Hackman (2017) énoncent divers avantages des racks :

- **La réduction de la main d'œuvre nécessaire** : Retirer une palette d'une loge est nettement plus rapide que lorsque les palettes sont empilées ;
- **L'augmentation de la quantité stockée** : Des racks peuvent permettre d'augmenter le nombre de niveaux de stockage. Par exemple, on peut imaginer le cas où les palettes ne peuvent pas être superposées sur plus de deux niveaux, pour des raisons de stabilité. L'utilisation de racks pourrait potentiellement doubler le nombre de niveaux de palettes, selon la hauteur du bâtiment ;
On notera cependant que, dans le cas de palettes relativement hautes, l'utilisation de racks pourrait ne pas être possible ou bénéfique.
- **La protection des marchandises** : Si quantifier les bénéfices liés à la sécurisation est assez complexe, il est indéniable que l'utilisation de racks de stockage permet d'éviter la détérioration de la marchandise, par exemple en diminuant le nombre de chutes de palettes ;
- **La sécurité des opérateurs** : Dans un même ordre d'idée, l'environnement de travail est plus sécurisé pour les opérateurs. Cet avantage est également difficilement quantifiable.

Ces avantages peuvent être estimés pour chaque type de palette stocké, l'avantage total de l'utilisation des racks étant la somme des avantages individuels. Ensuite, l'avantage total doit être comparé au coût représentant l'utilisation de racks et une décision peut être prise. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Après avoir décidé d'utiliser des racks, il reste encore à déterminer comment les positionner. D'un point de vue global, Gue et Meller (2009) proposent une classification des *layouts* des entrepôts de type *unit-load*. Ils mentionnent tout d'abord les configurations traditionnelles, reprises dans la figure ci-dessous. Il s'agit de configurations où les racks sont disposés en allées parallèles, avec ou sans allée(s) de service.

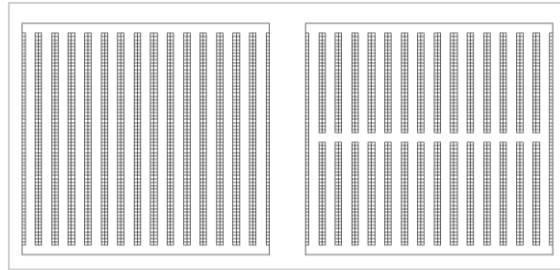


Figure 14 : Configurations traditionnelles

Source : Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171 182. <https://doi.org/10.1080/07408170802112726>.

D'après les auteurs, ces configurations traditionnelles font écho à deux règles tacites (Gue & Meller, 2009):

- 1) Les allées de circulation (*i.e.* les allées permettant de passer d'une allée de service à l'autre) doivent être droites perpendiculaires aux allées de service.
- 2) Les allées de service (*i.e.* les allées où le picking est opéré) doivent être droites et parallèles les unes aux autres.

Gue et Meller (2009) relaxent ensuite ces hypothèses tacites en proposant deux modèles originaux. Le premier fait abstraction de la première règle tacite énoncée ci-avant. Ce modèle est appelé **Flying-V** au vu de la forme de l'allée de circulation.

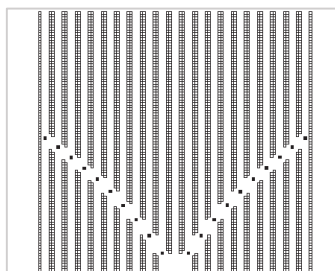


Figure 15 : Configuration "Flying-V"

Source : Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171 182. <https://doi.org/10.1080/07408170802112726>.

On voit que l'allée de circulation n'est pas perpendiculaire aux allées de service mais plutôt en forme de « V », la pointe étant située au niveau de l'unique point P&D (*pick and deposit point*).

Le principal apport d'une telle configuration est une réduction des distances parcourues par les opérateurs. Cette réduction peut varier « de 8 à 12 pourcents selon la taille de l'entrepôt » par rapport à une configuration classique. (Gue & Meller, 2009, p. 24) Ce résultat reflète l'idée que plus le nombre d'allées de service est élevé (*i.e.* l'entrepôt est grand), plus l'avantage d'y insérer une allée de circulation est conséquent. Cependant, si l'entrepôt dépasse une certaine taille (environ 40 allées de service selon les auteurs), l'avantage ne croît plus avec le nombre d'allées.

La seconde configuration de Gue et Meller (2009) relaxe la deuxième règle tacite concernant les allées d'un entrepôt. Il s'agit de la configuration dite du **Fishbone Aisle** où, comme dans le *Flying-V*, l'allée de circulation est centrée sur le point P&D mais les allées de services ne sont plus parallèles mais perpendiculaires d'un côté et de l'autre de l'allée de circulation.

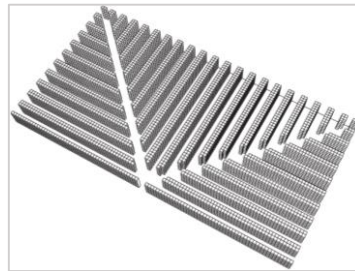


Figure 16 : Configuration Fishbone Aisles

Source : Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171-182. <https://doi.org/10.1080/07408170802112726>.

Les auteurs précisent qu'ils se limitent à des allées de service perpendiculaires mais que d'autres orientations sont possibles. Cependant, ils mentionnent que cette configuration est proche de la solution optimale. Concrètement, ils arrivent à la conclusion que les temps de parcours de la configuration *Fishbone aisles* sont jusqu'à 20% inférieurs à ceux d'une configuration classique. (Gue & Meller, 2009) Enfin, ils comparent les résultats obtenus avec les deux configurations originales susmentionnées avec ceux d'un entrepôt optimal théorique.

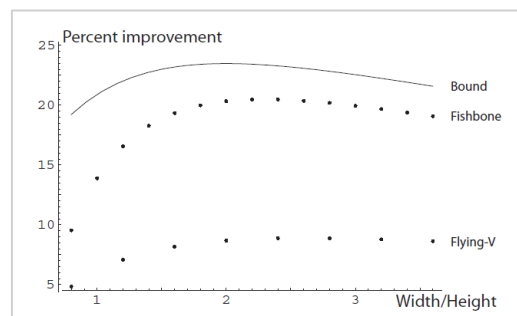


Figure 17 : Comparaison des améliorations apportées par les configurations originales

Source : Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171-182. <https://doi.org/10.1080/07408170802112726>.

La série « Bound » correspond au résultat obtenu avec l'entrepôt théorique. Cette configuration permettrait potentiellement d'obtenir une amélioration des distances parcourues de 23,5% (par rapport à la configuration classique). La configuration *Fishbone* engendre elle potentiellement 20,3% d'amélioration, ce qui amène les auteurs à conclure que cette configuration est proche de l'optimum et donc la meilleure solution en pratique. (Gue & Meller, 2009)

Pratiquement, l'apport principal de la configuration *Fishbone* est de « permettre plus de trajets directs entre les emplacements de stockage et l'emplacement central de réception et envoi ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 68)

Par ailleurs, dans un contexte d'un entrepôt configuré classiquement au sens de Gue et Meller (2009), Bartholdi et Hackman (2017) mentionnent que l'utilisation de racks implique une perte de place due à l'espace nécessaire pour le passage des chariots frontaux ou à mat rétractable. Il s'agit des allées entre les racks, appelées allées de circulation et de service. Comme l'espace utilisé pour ces allées ne peut être utilisé pour le stockage, l'objectif est de minimiser le nombre d'allées ainsi que leur largeur. Pour résoudre ce problème, les auteurs proposent d'utiliser des racks avec une profondeur de plus d'une palette, comme sur la figure ci-dessous.

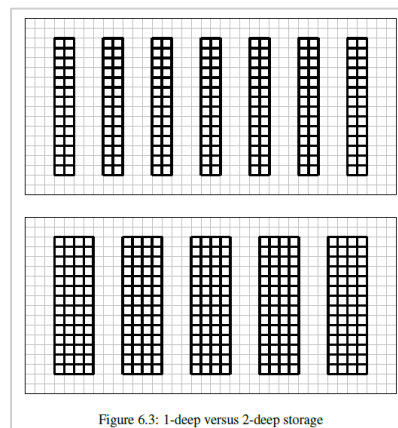


Figure 18 : Profondeur des racks : 1 palette vs. 2 palettes

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Cela permet d'économiser des allées de service et donc de la surface de stockage. Cependant, une telle configuration implique que des emplacements libérés grâce à un picking ne seront pas directement libres pour stocker de nouvelles marchandises, une autre palette occupant l'emplacement le plus profond. Ce phénomène est appelé *honeycombing*. Notons que cette réflexion tient aussi dans le cas d'un stockage au sol. En d'autres termes, des racks plus profonds demandent en moyenne moins d'espace par emplacement mais le nombre d'emplacements momentanément libres sera plus élevé.

Dans le cas d'un stockage au sol, Bartholdi & Hackman (2017) obtiennent une rangée d'une profondeur de

$$\sqrt{\frac{a}{2} * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{z_i}}$$

- où
- a = largeur d'une allée de service (mesuré en nombre de positions palettes) ;
 - n = nombre de références à stocker ;
 - q_i = la quantité commandée pour l'article i ;
 - z_i = le nombre de niveaux possibles pour l'article i.

L'expression $a/2$ est donc la partie de l'allée imputée à une localisation, comme l'illustre la figure ci-dessous.

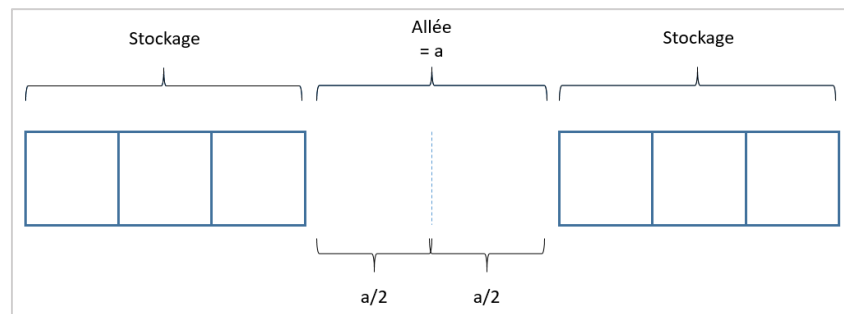


Figure 19 : Allocation de l'espace de stockage perdu aux espaces de stockage

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

En d'autres termes, la première moitié de l'allée de service est allouée à l'espace de stockage sur la gauche et l'autre moitié à l'espace de stockage sur la droite.

L'expression $\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{z_i}$ représente quant à elle le nombre moyen de « positions sol » utilisées par les articles stockés.

Si l'utilisation de racks pouvant contenir plusieurs palettes en profondeur permet de gagner de l'espace, elle implique l'utilisation d'un matériel spécifique. En particulier, l'utilisation de chariots à fourches rétractables sera nécessaire. L'investissement en termes de machines est donc plus important. De plus, il est utile de remarquer que le transfert de machines entre les (éventuels) différents entrepôts est rendue plus compliqué. Or, dans les entreprises de type 3PL, ces transferts sont relativement fréquents (casse, maintenance, variation de la charge de travail). Dès lors, ce facteur sera à prendre en compte lors de la décision concernant la profondeur des racks.

Cycle simple et cycle double

Un entrepôt de type *unit-load* fonctionne classiquement en « cycle simple » (Bartholdi & Hackman, 2017), ce qui signifie que l'opérateur effectue environ 50% des trajets à vide. En effet, lors de la mise en stock, il se déplace du point P&D à l'emplacement avec une palette, la positionne dans le WMS et revient au point P&D à vide. Ces trajets à vide sont appelés *dead-heading*. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Dans l'exemple de la figure ci-dessus, l'opérateur doit premièrement mettre en stock deux palettes aux emplacements en noir pour ensuite préparer une commande de deux palettes aux emplacements gris. Tous les trajets en rouge sont de type *dead-heading*.

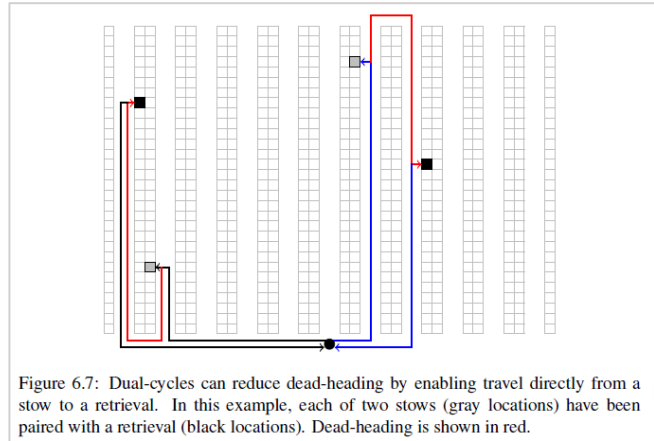
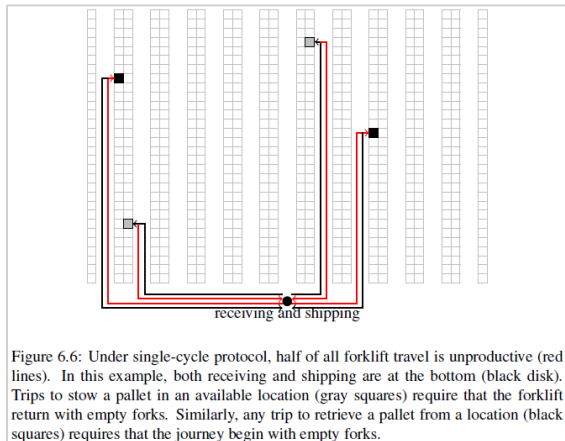


Figure 20 : Trajets en cycle simple

Figure 21 : Trajets en cycle double

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Une possibilité pour limiter ces trajets à vide est de fonctionner en cycle double. Le principe consiste à associer une position où une palette doit être mise en stock avec une position où une palette doit être prélevée pour le picking. La figure ci-dessous illustre ce principe. On s'aperçoit que le *dead-heading* est clairement diminué avec le second système.

En d'autres termes, le cycle double combine la mise en stock et la préparation de commandes pour minimiser les trajets à vide. Cependant, fonctionner en cycle double demande une organisation très précise et un WMS adapté.

Point P&D

Jusqu'ici, les entrepôts étudiés étaient dotés d'un unique point P&D. En d'autres termes, le point d'entrée et de sortie des marchandises dans l'entrepôt étaient identiques. Les entrepôts présentant ce type de configuration sont dits « en U ». (Bartholdi & Hackman, 2017) Cependant, on peut également envisager un entrepôt avec des points d'entrée et de sortie des marchandises de part et d'autre de l'entrepôt. On parle alors d'un entrepôt « en I ». (de Koster, 2008) Les figures ci-dessous illustrent ces deux cas. Au plus les emplacements sont forcés, au meilleurs ils sont. Le critère pour définir la qualité des emplacements est la proximité du (des) point(s) P&D.

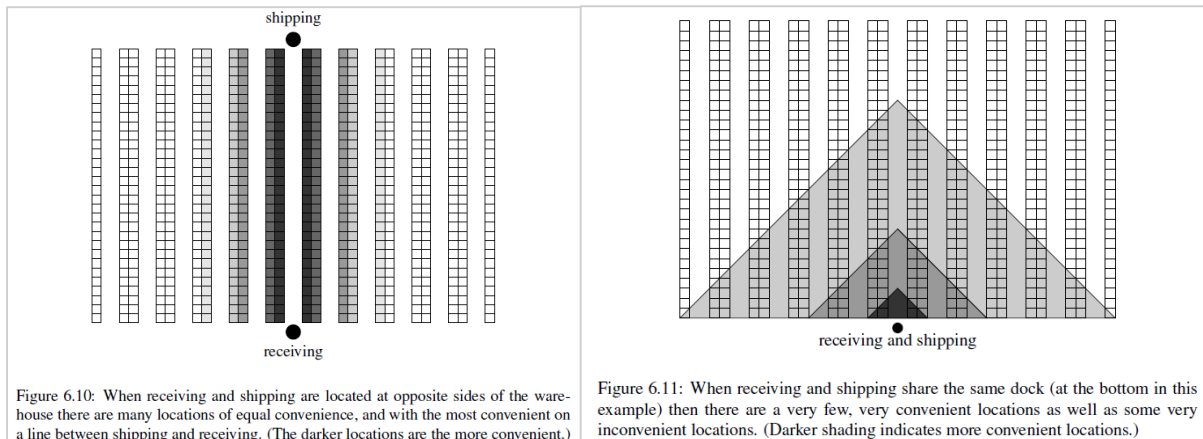


Figure 22 : Position du point P&D

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

L'entrepôt en U accentue la qualité des emplacements : les *bons* emplacements (e.g. proches du point P&D) sont *meilleurs* mais moins nombreux que si l'entrepôt est organisé en I. Par contre, les *mauvais* emplacements des entrepôts en U sont *pires* que ceux des entrepôts en I, étant donné leur éloignement du point P&D. La configuration en U est donc appropriée lorsque les *stock keeping units* (SKU) avec une grande rotation sont peu nombreux. Elle permet aussi une souplesse quant à l'utilisation des quais de réception et d'envoi, étant donné qu'ils sont situés au même endroit. L'entrepôt en U permet également d'appliquer la technique pour éviter le *dead-heading* évoquée dans la section ci-dessus, ce qui n'est pas le cas lorsque l'entrepôt est configuré en I. Enfin, la configuration en U permet une expansion plus simple de l'entrepôt. (Bartholdi & Hackman, 2017)

6.1.2. Entrepôt « picking au carton »

On entend par « carton » une « boîte rectangulaire pesant entre 2,3 et 22,7 kg, pouvant être manipulée par une personne et pouvant être stockée sur une palette ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 77) Le picking au carton ajoute de la complexité à l'analyse de la structure technique de l'entrepôt.

Pour organiser un entrepôt de ce type, on peut diviser l'entrepôt en deux zones : la zone de picking et la réserve. La zone de picking reprend les emplacements les plus facilement accessibles aux préparateurs. Dans cette zone, les articles sont assignés à un ou plusieurs emplacements fixes et les cartons sont prélevés un-par-un. Lorsqu'un emplacement de la zone de picking est vide, il doit être réapprovisionné depuis la réserve. Cette dernière fonctionne donc comme un entrepôt de type *unit-load* : les palettes y sont stockées avant d'être envoyées en zone de picking. La réserve peut soit être une zone située à l'arrière de l'entrepôt, soit les positions racks inaccessibles aux préparateurs (les positions en hauteur par exemple). Si une palette complète doit être prélevée pour une commande, alors le picking se fera directement depuis la réserve, permettant d'éviter des manipulations inutiles. (Bartholdi & Hackman, 2017) En ce qui concerne les opérateurs, certains sont assignés au picking, d'autres au réapprovisionnement.

Dans une telle configuration, il reste encore à déterminer pour chaque SKU s'il doit ou non avoir une place dans la zone de picking. En particulier, il est opportun de placer un SKU dans cette zone si les gains générés par le nombre de *picks* moyen par palette est supérieur au coût engendré par les besoins en réapprovisionnement. (Bartholdi & Hackman, 2017) Par ailleurs, le nombre d'emplacements qu'occupera un certain SKU doit aussi être déterminé. Ce nombre sera minimisé autant que possible. (Bartholdi & Hackman, 2017) Plusieurs facteurs (Bartholdi & Hackman, 2017) pourront amener à décider d'allouer plus d'un emplacement pour un SKU :

- La nécessité d'éviter les ruptures de stock en zone de picking ;
- La variabilité de la demande pour le SKU ;
- La pratique du picking par vague ;
- Le besoin de limiter la congestion pour les préparateurs.

Cependant, on notera qu'allouer plus d'espace de stockage à un SKU n'engendrera pas de gain de temps pour le réapprovisionnement. (Bartholdi & Hackman, 2017) En effet, quel que soit le nombre d'emplacements, le nombre de palettes à réapprovisionner sur une période donnée sera toujours proportionnel à la demande totale de la période, le réapprovisionnement se faisant par palettes complètes. Par ailleurs, si le bénéfice de placer plusieurs palettes d'un même SKU en zone de picking ne réside pas dans des gains de temps liés au réapprovisionnement, le placement de toutes les palettes du SKU dans la zone de picking apporte dans tous les cas un bénéfice net positif. En effet, aucun réapprovisionnement n'est alors nécessaire. (Bartholdi & Hackman, 2017)

6.1.3. Entrepôt « picking à la pièce »

La dernière variante d'entrepôt proposée est celle où le picking se fait à la pièce, soit la plus petite unité possible. Dès lors, ce type d'entrepôt requiert classiquement une quantité de main d'œuvre élevée. (Bartholdi & Hackman, 2017) Dans un même ordre d'idée que dans le cas du picking au carton, Bartholdi et Hackman (2017) proposent de créer un « entrepôt dans l'entrepôt », c'est-à-dire de concentrer les SKU les plus populaires dans une zone de l'entrepôt pour permettre un picking plus efficaces pour ces articles. Comme dans le cas du picking au carton, cela implique un dilemme car l'augmentation de l'efficacité du picking (due à la création de la zone de picking) doit être mise en balance avec les besoins en réapprovisionnement.

6.2. Order picking

Parmi les activités opérées au sein d'un entrepôt classique présentées plus haut, la préparation des commandes, ou *order picking* en anglais, est celle qui semble être la plus traitée par la littérature. La raison réside certainement dans le fait qu'elle est clairement la plus coûteuse (55% des coûts opérationnels). (Karasek, 2013) L'objectif de cette partie est de parcourir diverses possibilités pour optimiser cette activité.

6.2.1. SKU & pick density

Bartholdi & Hackman (2017) proposent deux mesures liées appelées *SKU density* et *pick density*.

La **SKU density** correspond au « nombre de SKU disponibles par unité de *pick face* ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 26) La *pick face* est définie comme la surface verticale devant le préparateur de commande. La **pick density** correspond, elle, au nombre de prélèvements (*picks*) effectués par unité de *pick face*. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Pour optimiser le picking, la *pick density* doit être maximisée. En effet, si le nombre de SKU par unité de *pick face* est maximisé, la distance à parcourir pour préparer une commande sera réduite à son minimum, car les articles sont concentrés sur une plus petite surface. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Enfin, pour maximiser la *pick density*, il y a lieu d'également maximiser la *SKU density*. En effet, plus le nombre de SKU par unité de *pick face* est élevé, plus la probabilité d'avoir un nombre élevé de prélèvements sur une unité de *pick face* sera grande. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Cependant, deux points sont à mentionner concernant cette technique :

- 1) Pour pouvoir l'appliquer pleinement, il faut que le WMS puisse enregistrer plusieurs SKU sur une même position, ce qui n'est pas toujours le cas ;
- 2) Plus le nombre de SKU par unité de *pick face* est élevé (*i.e.* la *SKU density* est élevée), plus le risque d'erreur lors du prélèvement sera grand.

6.2.2. Routing

Si le picking représente globalement plus de la moitié des coûts opérationnels de l'entrepôt (Karasek, 2013), ce sont les déplacements qui représentent la plus large part du temps passé par les préparateurs à cette activité. En particulier, 55% du temps passé au picking est consacré aux déplacements. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Le *routing* peut être défini par la manière dont les déplacements des préparateurs de commandes seront organisés. Un *routing* est optimal lorsque les déplacements sont minimisés. (Roodbergen & de Koster, 2001) Dès lors, l'optimisation du *routing* en entrepôt consiste à déterminer le chemin le plus court pour la préparation de commandes. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Travelling Salesman Problem

La recherche du chemin le plus court pour un préparateur de commandes dans un entrepôt est un cas particulier du *Travelling Salesman Problem* (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007) En effet, ce problème est énoncé comme suit:

« A salesman, starting in his home city, has to visit a number of cities exactly once and return home. He knows the distance between each pair of cities and wants to determine the order in which he has to visit the cities such that the total travelled distance is as small as possible. » (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007, p. 17)

Le point de départ dans l'entrepôt correspond à la *home city* et les positions à visiter sont les *cities*.

Algorithme de Dijkstra

Pour déterminer le chemin le plus court, et donc optimiser le *routing*, l'algorithme de Dijkstra est une méthode couramment utilisée. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Cet algorithme est basé sur la théorie des graphes. Un graphe se définit comme « un ensemble de nœuds reliés par des arcs ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 303) L'objectif est donc de déterminer le chemin le plus court pour relier un nœud de départ et un nœud d'arrivée, sachant que divers chemins peuvent être empruntés.

Dans la figure ci-dessous, l'objectif est de déterminer le chemin le plus court entre les nœuds *a* et *f*. Un poids est attribué à chaque arc. Ce poids peut être correspondre à une distance mais pourrait également provenir d'une combinaison de différents facteurs (au-delà de la distance à parcourir, certains nœuds pourraient être plus difficiles à atteindre).

Etape 0 : Dans la situation initiale, illustrée dans la figure ci-dessous, on attribue une étiquette à chaque nœud. Cette étiquette correspond à l'infini pour tous les nœuds excepté pour le nœud de départ *a*. Ce nœud est pour l'instant considéré comme le nœud *actuel*.

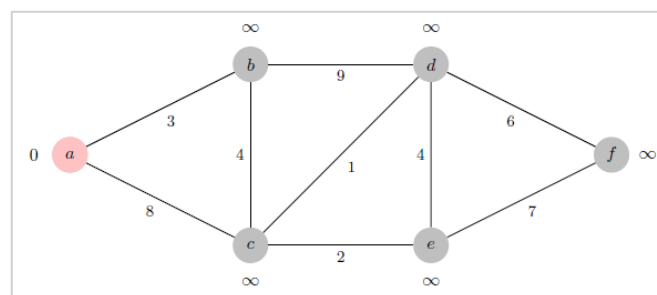


Figure 23 : Algorithme de Dijkstra : Situation initiale

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Etape 1 : Ensuite, l'étiquette des nœuds adjacents au nœud *actuel* est mises à jour : l'étiquette devient le minimum entre l'étiquette du nœud actuel et le poids de l'arc séparant le nœud *actuel* du nœud considéré. L'étiquette devient alors *définitive*.

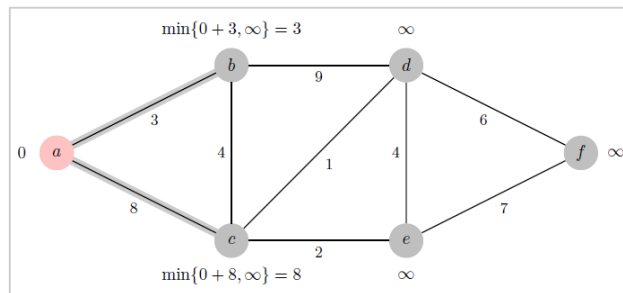


Figure 24 : Algorithme de Dijkstra : Etape 1

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Etape 2 : Un nœud adjacent au nœud *actuel* (et qui n'a pas encore été considéré comme *actuel*) devient à son tour le nœud *actuel*. On retourne alors à l'étape 1. S'il n'y a plus de nouveau nœud *actuel* – c'est-à-dire si le nœud candidat à être *actuel* n'a aucun nœud voisin sans étiquette *définitive* – on passe à l'étape suivante.

Par exemple, dans la figure ci-dessous, le nœud *actuel* est le *d* et les étiquettes des nœuds *a*, *b*, *c* et *d* sont *définitives*.

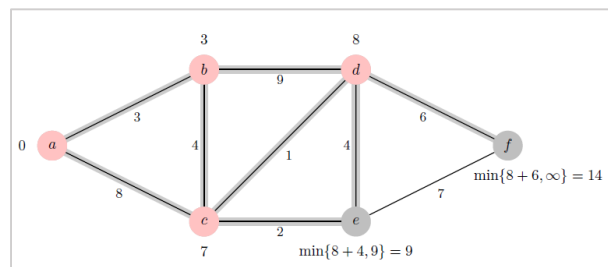


Figure 25 : Algorithme de Dijkstra : Etape 2 avec d comme nœud actuel

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Sur la figure ci-dessous, le nœud *f* est le dernier candidat nœud *actuel* mais tous les nœuds voisins ont une étiquette *définitive*. On passe donc à l'étape suivante.

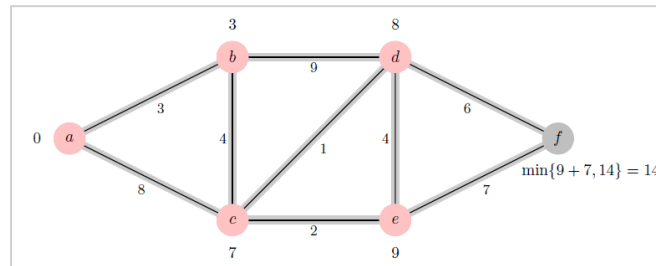


Figure 26 : Algorithme de Dijkstra : Fin de l'étape 2

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Etape 3 : L'algorithme s'arrête et le chemin le plus court est mis en évidence en identifiant les arcs responsables de l'étiquette définitive de chaque nœud. Par exemple, dans la figure ci-dessous, le nœud *c* est étiqueté 7 car 3 (étiquette de *b*) + 4 (poids de l'arc entre *b* et *c*) est inférieur à 0 + 8. C'est dès lors l'arc de poids 4 qui est responsable de l'étiquette de *c*.

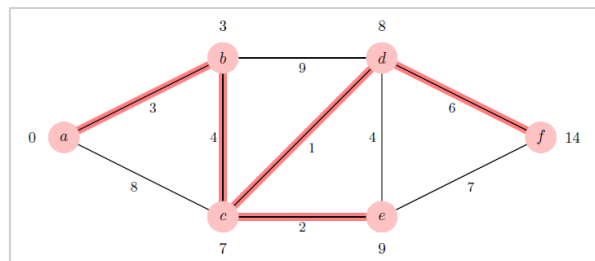


Figure 27 : Algorithme de Dijkstra : Etape 3

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Algorithme de Ratliff & Rosenthal

Ratliff et Rosenthal (1983) ont développé un algorithme permettant de définir le chemin de picking le plus court au sein d'un entrepôt, menant à déterminer les chemins de pickings optimaux. Bartholdi & Hackman proposent une simplification de cet algorithme, amenant à des chemins de picking « quasi-optimaux ». (Bartholdi & Hackman, 2017) Cependant, les auteurs mentionnent que cette simplification donne des résultats semblables à ceux de Ratliff et Rosenthal (1983). De plus, elle rend l'utilisation de l'algorithme par le préparateur simplifiée.

La simplification vient du fait que, dans leur version, Bartholdi & Hackman (2017) n'autorisent pas le préparateur à retourner dans une allée déjà visitée. Autrement dit, si le préparateur se trouve dans l'allée *i*, il ne retournera plus dans les allées avant *i* et aura prélevé tous les articles de l'allée *i* avant de passer à l'allée *i+1*. La règle à suivre pour le préparateur est donc la suivante : « Prélever tous les articles requis dans l'aile actuelle puis passer à l'aile suivante. » (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 164)

Il y a donc deux points de décision pour le préparateur :

- 1) Au bout de chaque allée (les points 1L, 1R, 2L, 2R, etc. dans la figure ci-dessous), il décide d'entrer ou non dans l'allée ;
- 2) Lorsqu'il a prélevé tous les articles nécessaires dans une allée, il doit décider s'il se rend dans l'allée suivante en continuant son parcours dans l'allée ou en revenant sur ses pas.

Notons également que, dans la figure ci-dessous, les positions à visiter sont marquées en bleu. Ces positions sont déterminées par la liste de picking. (Bartholdi & Hackman, 2017)

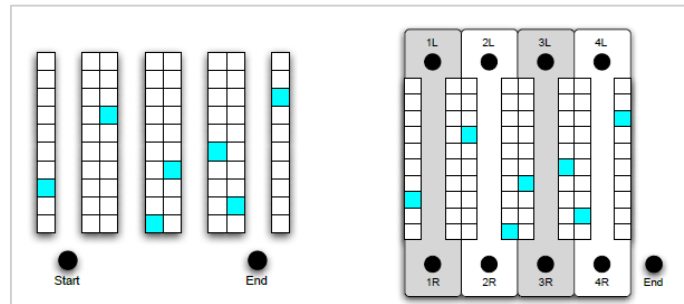


Figure 28 : Entrepôt et points de décision

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

Les distances doivent être définies préalablement :

Tableau 3 : Définition des distances

<i>Description du trajet</i>	<i>Distance</i>
Passage d'un nœud (1L, 1R, 2L, 2R, etc.) à une allée	1
Passage d'un nœud à un autre (1L à 2L par exemple)	4
Traversée d'une allée complète	10

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

En guise d'exemple, la figure suivante illustre les décisions à prendre pour le passage de l'allée 2 à l'allée 3 (suite de la figure 28). Soit le préparateur part du nœud 2R (gauche), soit il part du nœud 2L (droite).

Dans le cas d'un départ en 2R, le préparateur peut soit se rendre jusqu'à la position la plus lointaine puis revenir en 2R. Il se retrouve alors en 3R pour une distance parcourue de 20 ($16+4$). Il peut également parcourir toute l'allée et se rendre en 3L, avec une distance parcourue de 16 ($12+4$). Le même raisonnement est appliqué dans le cas où le préparateur démarre du nœud 2L.

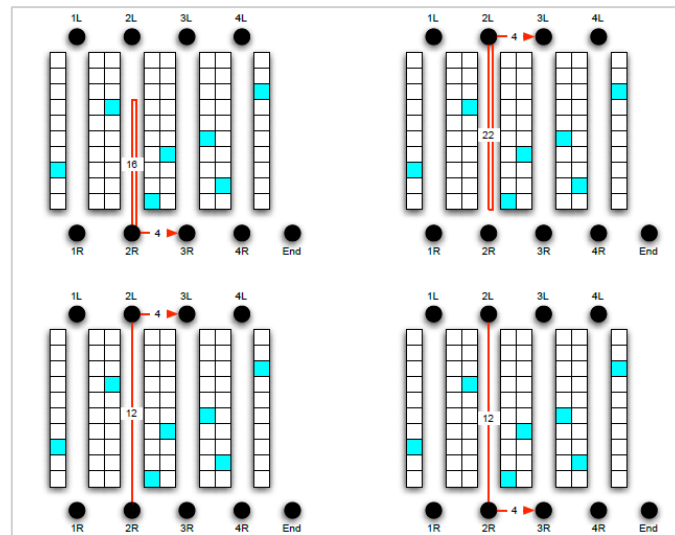


Figure 29 : Chemins possibles entre les allées 2 et 3

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

On peut ensuite répéter le raisonnement pour chaque allée et représenter le résultat sous forme d'un graphe où les nœuds sont les points de décision et les poids des arcs sont obtenus grâce à la méthode explicitée ci-dessus. La figure ci-dessous illustre le résultat alors obtenu.

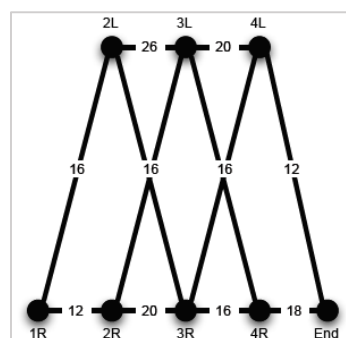


Figure 30 : Graphe final du chemin de picking

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

En appliquant l'algorithme de Dijkstra, détaillé ci-avant, on obtient le chemin le plus court (en rouge) sur le graphe et donc sur la carte initiale de l'entrepôt.

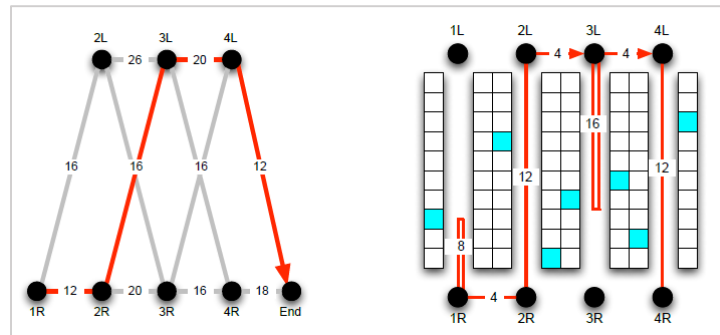


Figure 31 : Résultat de l'optimisation du chemin de picking

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

L'algorithme de Ratliff et Rosenthal (1983), présenté ici dans une version simplifiée, est utilisé comme base de travail pour diverses variantes dans la configuration des entrepôts. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

Méthodes heuristiques

D'autres méthodes sont en pratique plus souvent utilisées pour résoudre le problème de *routing* en entrepôt. Il s'agit des méthodes dites heuristiques. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

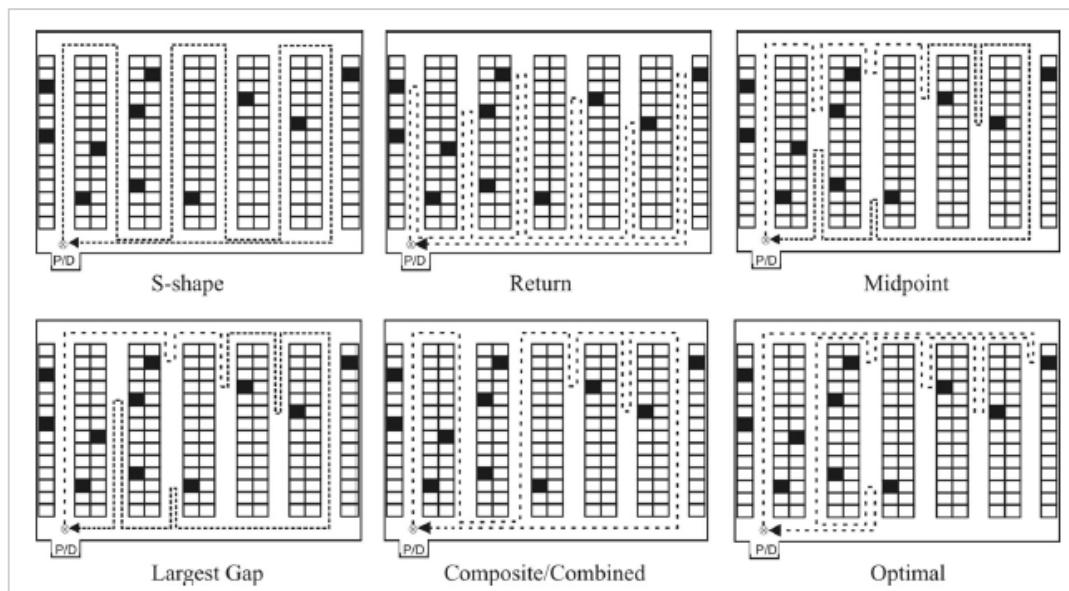


Figure 32 : Méthodes de routing

Source : Dukic, G., Česnik, V., & Opetuk, C. (2010). Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing. *Strojarstvo*, 52(1), 23-31. Récupéré de <https://pdfs.semanticscholar.org/d85e/7d0491111692cf679a48d726e77e628d09e8.pdf>

- Méthode **S-shape** : Il s'agit de la méthode la plus simple. Toutes les ailes contenant des articles à prélever sont traversées intégralement. Les ailes ne contenant aucune position à visiter ne sont pas traversées ;
- Méthode du **retour** : Le préparateur entre dans les ailes toujours par le même côté. Chaque aile contenant des articles est traversée jusqu'à la position la plus lointaine, puis le préparateur fait demi-tour ;
- Méthode du **midpoint** : L'entrepôt est séparé en deux parties égales. Chaque partie fonctionne alors comme dans la méthode précédente. Le préparateur part de la première allée de passage, visite les « demi-allées » nécessaires, puis répète l'opération à partir de la seconde allée de passage ;
- Méthode du **plus grand écart** : Pour chaque allée de service, les écarts sont la distance entre deux positions à visiter de l'allée de service, celle entre l'allée de circulation et la première position à visiter dans l'allée de service ou encore celle entre la dernière position à visiter et l'allée de circulation opposée. Le chemin de picking variera selon où se situe le plus grand écart. S'il est entre deux positions à visiter, alors le picking dans l'allée de service considérée s'opérera depuis les deux allées de circulation (le préparateur se rendra deux fois dans l'allée). Sinon, le préparateur prélève tous les articles dans l'allée de service puis fait demi-tour ;
- Méthode **combinée** : Il s'agit de combiner différentes méthodes heuristiques.

La méthode **optimale** consiste, quant à elle, à appliquer un algorithme (par exemple l'un de ceux présentés ci-avant) permettant de déterminer le chemin de picking optimal.

En moyenne, les solutions heuristiques sont 5% moins efficaces que les solutions optimales, mais elles sont cependant plus simples à mettre en œuvre. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007) En effet, les solutions optimales requièrent une WMS capable d'intégrer un modèle géométrique de l'entrepôt, ce qui, à ce jour, n'existe pas. (Bartholdi & Hackman, 2017)

6.2.3. Méthodes d'order picking

Il existe différentes méthodes pour organiser le prélèvement des articles du stock. Une possibilité pour classer ces méthodes est de distinguer les méthodes nécessitant des humains de celles complètement automatisées. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

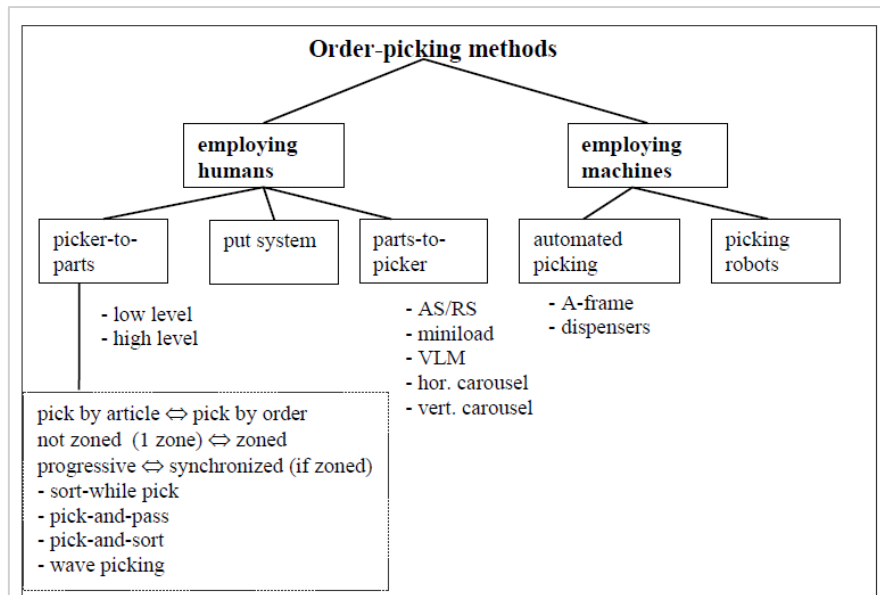


Figure 33 : Méthodes d'order picking

Source : 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), 481-501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>

Méthodes employant des humains

Les méthodes les plus classiques sont celles de type **picker-to-parts**, soit les méthodes où le préparateur se déplace à travers l'entrepôt pour prélever les articles nécessaires. Parmi ces méthodes, on distingue le picking classique, où le préparateur s'occupe d'une commande à la fois, du picking par article (*batch picking*), où plusieurs commandes sont préparées simultanément. Au sein de cette dernière méthode, plusieurs variantes existent : le préparateur peut trier les articles selon les commandes pendant le picking (*sort-while-pick*) ou après avoir prélevé tous les articles nécessaires (*pick-and-sort*). Enfin, le picking par vague, souvent combiné au picking par article, consiste à préparer plusieurs commandes devant être envoyées à un même moment, vers une même destination. Les **put systems** proposent une méthodologie semblable : certains opérateurs prélèvent par article puis d'autres s'occupent de répartir les articles entre les commandes. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

Les méthodes de type **parts-to-picker** ont pour atout principal de réduire drastiquement les déplacements des préparateurs, et donc d'augmenter leur efficacité. Le principe général consiste à utiliser des machines qui amènent la marchandise à prélever des racks de stockage vers la station de picking, où le préparateur opère le picking. (de Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

Méthodes employant des machines

Il existe également des possibilités pour automatiser complètement la préparation de commandes. Ces méthodes, ainsi que celles de type *parts-to-picker*, seront analysées dans le chapitre consacré à l'automatisation.

7. Automatisation

Par automatisation, on entend « la substitution de la main d'œuvre humaine par des machines ». (Bartholdi & Hackman, 2017, p. 193) En particulier, il s'agit, au sein d'un entrepôt, du fonctionnement autonome d'une partie des tâches, permettant d'améliorer la performance globale de l'entrepôt ainsi que de réaliser des économies. (ten Hompel & Schmidt, 2007) Dès lors que l'on sait que le picking est, en particulier, les distances parcourues par les opérateurs lors de celui-ci, constituent la plus grande charge opérationnelle d'un entrepôt, il paraît évident que les travaux concernant l'automatisation sont principalement axés sur la réduction de ces distances. (Bartholdi & Hackman, 2017) De plus, le développement de méthodes comme le *just-in-time* a contribué à transformer les *lead-times* dans les entrepôts en éléments cruciaux de la chaîne logistique. (Meghelli-Gaouar, Sari, Cardin, & Castagna, 2010)

L'objectif de ce chapitre est de rendre compte des possibilités existantes en matière d'automatisation, mais aussi de mettre en perspective les gains générés avec les désavantages y étant liés. Dans un premier temps, on s'intéressera aux avancées technologiques pouvant améliorer le picking « classique », où l'opérateur se déplace dans l'entrepôt pour préparer les commandes des clients (*picker-to-parts*). Ensuite, les technologies permettant une réelle automatisation du picking (*parts-to-picker*) sont abordées. Enfin, quelques avis d'experts seront exposés, en guise de recul critique.

7.1. Picker-to-parts

Historiquement, le picking s'opérait avec des listes de picking imprimées sur papier. Depuis quelques années, les systèmes électroniques (lecteurs de codes-barres, RFID, etc.) remplacent le système classique. S'il ne s'agit pas d'automatisation au sens défini ci-avant, ces technologies jouent tout de même un rôle important dans l'évolution actuelle des entrepôts.

7.1.1. Scanners

L'utilisation de scanners réduit considérablement les erreurs lors de la préparation de commandes. (Đukic, Česnik, & Opetuk, 2010) En effet, avec cette technique, les opérateurs sont tous équipés d'un lecteur de code-barres, qui leur indique non-seulement la position où se trouve l'article à prélever, mais les oblige aussi à scanner ledit article, afin d'éviter les erreurs de prélèvement (que ce soit pour les quantités ou la nature des pièces).

7.1.2. Voice picking

Avec ce système, l'opérateur est muni d'un casque audio ainsi que d'un micro qui lui permettent de communiquer directement avec le WMS. Plutôt que de visualiser l'adresse où il doit se rendre, l'opérateur l'entend, ce qui l'aide à se focaliser sur les tâches manuelles à accomplir et réduit le nombre d'erreurs, en comparaison avec l'utilisation de listes de picking sur papier. (Đukic, Česnik, & Opetuk, 2010)

7.1.3. Pick-to-light

Le *pick-to-light* est une méthode de picking où chaque adresse dans l'entrepôt est équipée d'ampoules colorées qui s'allument lorsqu'une pièce doit être prélevée. Chaque préparateur de commandes est assigné à une couleur et visualise la position où il doit prélever une pièce. Il dispose également d'un appareil lui permettant de « mettre à jour ses prélèvements » dans le WMS. Une fois qu'une pièce est prélevée, l'ampoule s'éteint et la suivante s'allume. (Đukic, Česnik, & Opetuk, 2010, p. 25) Notons que cette technologie ne semble pas adaptée aux grands entrepôts car le préparateur risque de passer beaucoup de temps à rechercher une éventuelle ampoule allumée dans les allées.

7.1.4. Guidage par induction et fourches tri-directionnelles

Dans le cas où les chariots élévateurs doivent pouvoir accéder aux allées de services (pour prélever les palettes stockées en hauteur), il est nécessaire que celles-ci soient assez larges pour permettre les manœuvres. Dans un même temps, l'espace au sol est caractérisé par un coût élevé, ce qui amène à une volonté de minimiser la largeur des allées, et donc maximiser la surface utilisée pour le stockage. (Schmidt, 2010)

Une solution pour réduire la largeur des allées est d'utiliser le guidage par induction ainsi que des fourches tri-directionnelles.

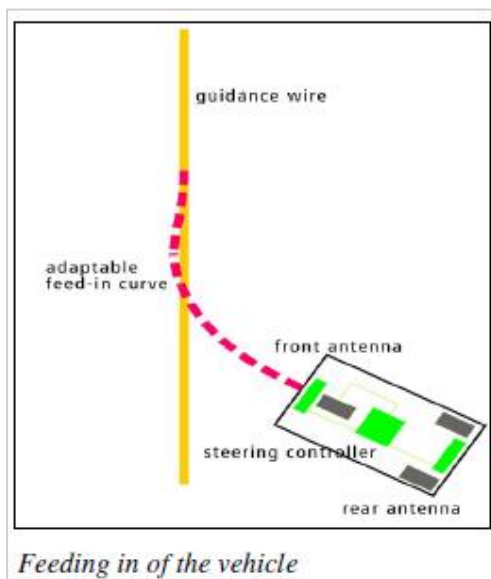


Figure 34 : Guidage par induction

Source : Schmidt, R. (s.d.). *Automatic Inductive Guidance System for Forklifts uses CANopen*. Récupéré le 10 avril 2019, à l'adresse <https://www.stw-technic.com/wp-content/uploads/2010/01/CANopen.pdf>

Le guidage par induction est une technologie permettant de contrôler la trajectoire des chariots élévateurs, notamment dans les allées de service. Un câble émet un champ magnétique et celui-ci est capté par des antennes placées dans le véhicule. Si le chariot dévie de sa trajectoire, les antennes le détectent grâce à la modification des caractéristiques du champ et la trajectoire peut être adaptée. (Schmidt, 2010)

Combinée à des fourches tri-directionnelles sur le véhicule, le guidage par induction permet de limiter au maximum la largeur nécessaire des allées de service, et donc d'optimiser l'utilisation de la surface de stockage. En effet, avec de telles fourches, le chariot ne doit pas se présenter face à l'emplacement pour prélever une palette, ce qui limite au maximum la largeur nécessaire des allées de service.

7.1.5. Radio Frequency Identification (RFID)

La technologie RFID se constitue, sous sa forme la plus simple, de deux éléments : un transpondeur, aussi appelée étiquette ou *tag*, et un lecteur. Les étiquettes sont collées ou en tout cas physiquement reliées à un objet et contiennent des informations le concernant. Lorsqu'une étiquette passe dans le champ d'un lecteur, ce dernier capte les informations de

l'étiquette et peut les envoyer vers un ordinateur par exemple. (Chen, J. C., Cheng, C.-H., Huang, P. B., Wang, K.-J., Huang, C.-J., & Ting, T.-C., 2013)

Dès lors, dans le contexte d'un entrepôt, la RFID peut être utilisée pour « gérer les flux matériels et d'information sans intervention humaine » (Chen, *et al.*, 2013, p. 532), ce qui permet de supprimer les erreurs dues aux manipulations humaines. Par exemple, l'utilisation de la RFID permet de connaître en temps réel et de manière précise la position n'importe quel article. (Chen, *et al.*, 2013)

La RFID peut être particulièrement utile lors de la réception des marchandises. En effet, si chaque article est étiqueté en amont, il n'est plus nécessaire de scanner chaque pièce ou chaque palette pour enregistrer l'entrée des marchandises dans le système. Cela engendre un gain de temps et de main d'œuvre non-négligeable. (Chen, *et al.*, 2013) Par ailleurs, lors du picking, les opérateurs pourraient ne plus devoir scanner les articles prélevés pour que le WMS enregistre le mouvement. (Wamba, Coltman, & Michael, 2008)

Il est à noter que le potentiel de la RFID est pleinement exploité lorsque la technologie est implémentée à toutes les étapes de la supply chain. En effet, le partage des informations en temps réel et l'intégration des systèmes d'informations est alors pleinement possible (notamment grâce au XML). (Wamba, Coltman, & Michael, 2008)

7.2. Parts-to-picker

Dans le point précédent, il était question des technologies pouvant améliorer le picking « classique ». Ce point est quant à lui dédié aux avancées permettant de réellement automatiser tout ou une grande partie du processus de préparation des commandes.

7.2.1. Convoyeurs

Un convoyeur est « un ensemble d'éléments dédiés au transfert, à l'accumulation et/ou à la distribution de la marchandise vers les postes spécifiques que requièrent les opérations logistiques ». (Mecalux, 2019b, para. 1)



Figure 35 : Convoyeur pour caisses

Source : Mecalux. (2019b). *Convoyeur pour caisses*. Récupéré le 4 avril 2019, à l'adresse <https://www.mecalux.fr/stockage-automatise/stockage-automatise-bacs-cartons/convoyeur-pour-bacs>

Ces machines permettent donc d'éviter aux opérateurs de devoir transporter la marchandise au moyen de transpalettes ou de chariots élévateurs. De ce fait, ils contribuent aussi à réduire drastiquement le *dead-heading*, étant donné que les opérateurs ne doivent plus (ou en tout cas beaucoup moins) se déplacer eux-mêmes pour transférer la marchandise dans l'entrepôt.

Cependant, le convoyeur n'engendre pas de gain en termes de vitesse de déplacement des marchandises à proprement parler. En effet, comme le montre le tableau ci-dessous, la vitesse moyenne de déplacement d'une palette sur convoyeur est sensiblement inférieure à celle observée lorsqu'on utilise un chariot à mat rétractable ou même un transpalette manuel.

Tableau 4 : Vitesses de déplacement en entrepôt

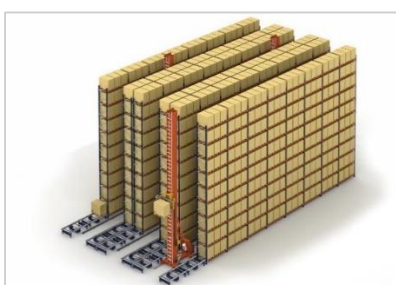
Moyen de transport	Vitesse moyenne (m / min)
Transpalette manuel chargé (1T)	25
Chariot à mat rétractable	100
Convoyeur (palette 1T)	15

Source : Roux, M., & Liu, T. (2010). *Optimisez votre plate-forme logistique*. Paris: Ed. d'Organisation.

Cependant, cette vitesse inférieure sera très certainement compensée par la diminution (voire la suppression) du *dead-heading*.

L'intérêt du convoyeur semble donc être la substitution possible de la main d'œuvre par des machines. De plus, sa combinaison avec les technologies abordées ci-après pourra également être bénéfique.

7.2.2. Transstockeurs



Les transstockeurs ou AS/RS (*automated storage-and-retrieval devices*) permettent de remplacer les humains dans les opérations de mise en stock et de picking. En effet, il s'agit de machines placées dans les allées de service, capables de prélever et de mettre en stock des marchandises de manière autonome. (Bartholdi & Hackman, 2017)

Figure 36 : Transstockeur

Source : Mecalux. (2019c). *Transstockeur pour palettes*.

Récupéré le 5 avril 2019, à l'adresse

<https://www.mecalux.fr/stockage-automatise/stockage-automatise-palettes/transstockeur-pour-palettes>

Concrètement, pour une mise en stock, la marchandise arrive à l'entrée de l'allée (manuellement ou par un convoyeur). C'est à cet endroit qu'elle est prise en charge par le transstockeur qui va la déposer à l'emplacement le plus adéquat (selon la politique de stockage). A l'inverse, pour le prélèvement de marchandises, le transstockeur amène la palette demandée à l'entrée de l'allée de service, où elle peut être prise en charge par un chariot ou un convoyeur par exemple.

Ce système présente divers avantages :

- **Main d'œuvre** : Les transstockeurs permettent d'éviter aux opérateurs de devoir manipuler les palettes dans les allées, ce qui peut être particulièrement physique. De plus, cette technologie réduit le besoin en main d'œuvre pour un même volume de travail. (Bartholdi & Hackman, 2017)
- **Espace** : L'utilisation de transstockeurs permet de travailler avec des allées plus étroites, et donc d'optimiser l'utilisation de l'espace disponible. (Bartholdi & Hackman, 2017)
- **Cycle double** : Les transstockeurs peuvent être configurés pour travailler en cycle double, limitant donc le *dead-heading* et augmentant le nombre de palettes manipulées par unité de temps. (Bartholdi & Hackman, 2017) Pour rappel, le cycle double consiste à opérer la mise en stock et le picking simultanément. En d'autres termes, lors d'une mise en stock, il s'agit de prélever une palette après en avoir positionné une autre, sans revenir par le point P&D.
- **Temps** : Les transstockeurs présentent l'avantage d'être plus rapide pour prélever et mettre en stock de la marchandise. En effet, en cycle simple, il faut entre 1,2 et 2 minutes à un transstockeur pour entrer ou sortir une palette d'un rack. (Roux & Liu, 2010) Par contre, comme le montre la figure ci-dessous, il faut en moyenne plus de 3 minutes à un chariot à mat rétractable pour effectuer la même opération. Le gain de temps engendré par la mise en place d'un transstockeur peut donc s'avérer conséquent.

Tableau 5 : Mise en stock d'une palette par un chariot à mat rétractable

Tâches élémentaires	Temps unitaire	Quantité	Total
Consultation terminal	0,25	1	0,25
Déplacement à vide (en mètres)	0,010	40,00	0,40
Prise palette	0,300	1	0,30
Déplacement en charge	0,010	40,00	0,40
Dépose palette	0,700	1	0,70
Changement de direction	0,130	6	0,78
Saisie par terminal portable	0,070	1	0,07
Total brut			2,65
Taux d'engagement	0,85		
Temps total net			3,12

Source : Roux, M., & Liu, T. (2010). *Optimisez votre plate-forme logistique*. Paris: Ed. d'Organisation.

Par ailleurs, on peut facilement envisager la complémentarité du transstockeur avec un convoyeur : lorsqu'une palette complète doit être expédiée, elle peut être prélevée par le transstockeur puis directement placée sur le convoyeur qui l'amène jusqu'à la zone d'expédition. On peut alors parler d'un picking entièrement automatisé. Si les transstockeurs ont pour caractéristique principale de pouvoir retirer des palettes ou des cartons complets, on peut également envisager de les combiner avec des stations de picking pour un picking à la pièce. Dans ce cas, le transstockeur va chercher une palette complète qui est amenée jusqu'à la station de picking (avec un convoyeur par exemple) où le préparateur prélève la quantité nécessaire. Ensuite, la palette repart vers le stock où elle est à nouveau prise en charge par le transstockeur qui la replace dans les racks. (Mecalux, 2019c)

7.2.3. Carrousels

Les carrousels sont ainsi nommés car il s'agit d'étagères tournant autour d'un axe, à l'instar des manèges pour enfants. Les emplacements de stockage ne sont pas fixes mais mobiles autour d'un axe, ce qui permet à l'opérateur de se trouver à une position fixe, appelée station de picking, d'où il peut prélever les articles nécessaires à chaque commande. Chaque carrousel correspond donc à une allée de service dans un entrepôt classique. Avec un carrousel, c'est l'emplacement de stockage qui se déplace vers le préparateur de commande plutôt que l'inverse. (Bartholdi & Hackman, 2017)

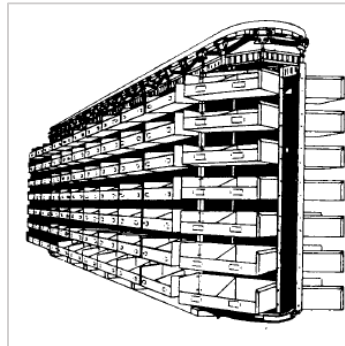


Figure 37 : Carrousel

Source : Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute.
Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

L'avantage d'un tel système est double. Tout d'abord, il évite aux opérateurs de devoir se déplacer. Ensuite, lorsque plusieurs carrousels sont attribués à une seule et même station de picking, les préparateurs peuvent en actionner plusieurs en même temps, ce qui revient à se déplacer vers plusieurs localisations en même temps. (Bartholdi & Hackman, 2017) Prenons l'exemple d'une station de picking à laquelle sont attribués 3 carrousels et d'une commande de 3 pièces à prélever, une dans chaque carrousel. Classiquement, le préparateur aurait dû se rendre successivement à chaque emplacement pour pouvoir prélever les 3 articles. A l'inverse, si les 3 carrousels fonctionnent en même temps, l'opérateur peut, depuis sa station de picking, prélever les trois pièces et clôturer la commande.

Comme dans le cas des transstockeurs, les carrousels peuvent être très complémentaires aux convoyeurs dans l'optique d'une automatisation d'un entrepôt. On notera également que les carrousels sont plutôt indiqués pour la gestion du picking à la pièce ou au carton.

7.2.4. Automated Guided Vehicle (AGV)

La manipulation d'équipements, de marchandises, etc. est responsable d'un quart des coûts totaux de production. (Kumar Das, 2016) Dans l'entrepôt, on sait également que plus de la moitié du temps consacré à la préparation de commandes (l'activité la plus coûteuse en entrepôt) est imputée aux déplacements. (Bartholdi & Hackman, 2017) Dès lors, il paraît logique que des solutions pour éviter ces déplacements soient recherchées.

Une possibilité pour réduire ces déplacements est l'utilisation des *automated guided vehicles* (AGV), définis comme « des véhicules mobiles programmables utilisés dans l'industrie pour

déplacer des marchandises dans une usine de fabrication ». (Kumar Das, 2016, p. 1) Si cette définition est axée sur les usines de fabrication, on peut facilement l'extrapoler au cas de l'entrepôt, où le déplacement de marchandises est également très important. Les AGV permettent donc de déplacer de manière autonome des marchandises au sein d'un entrepôt. (Kumar Das, 2016)

D'ici 2025, ce sont près de 50 000 entrepôts (pour un total de 4 millions de robots) partout dans le monde qui seront équipés de robots. (Robotics Business Review, 2019) Dès lors, l'objectif de ce point est de mettre en lumière les possibilités existantes en matière d'AGV dans les entrepôts. Les lignes qui suivent sont donc consacrées à divers exemples existants.

Robots et étagères mobiles

Le cas le plus connu est certainement celui du géant de l'e-commerce Amazon. Celui-ci dispose de robots de picking amenant directement les étagères où sont rangés les produits à une station de picking, d'où le préparateur prélève les pièces nécessaires, dans un même ordre d'idée que pour le carrousel. Dans ce cas, on a donc des étagères sous lesquelles circulent des robots. Lorsqu'une commande doit être préparée, ces derniers amènent les étagères contenant les articles de la commande à la station de picking, où le préparateur prélève les articles requis. Notons que les robots de ce type supportent de charges d'environ 500 kg (530kg chez Scallog). (Scallog, 2018) Cette technologie est donc adaptée pour un picking à la pièce, principalement pour le e-commerce.



Figure 38 : Scallog : Etagère, robot et station de picking

Source : Scallog. (2018). *Scallog Systems*. Récupéré le 10 avril 2019, à l'adresse <http://www.scallog.com/goods-to-man/>

Robots Ocado

Ocado, entreprise active dans la grande distribution, a récemment ouvert un nouveau centre de distribution où l'automatisation est le maître mot. En effet, toujours avec la volonté d'améliorer le débit du picking, Ocado a mis en place un système de robots amenant ici aussi les marchandises à la station de picking. L'idée reste donc toujours la même : éviter que l'opérateur se déplace en amenant les marchandises à un point fixe au moyen d'un système automatisé. Le système développé par Ocado se différencie du précédent par deux points.

- 1) Les robots circulent dans ce cas au-dessus des marchandises sur un système de rails. Pour amener la marchandise à la station de picking, ils se déplacent sur la structure de rails et se positionnent au-dessus du bac contenant les pièces à prélever. Les bacs contenant la marchandise sont remontés dans la cavité centrale du robot prévue à cet effet, pour ensuite être transportés à la station de picking. (Vincent, 2018)

- 2) La deuxième différence intervient à la station de picking. Si certaines commandes sont bien préparées par des humains comme dans le cas précédent, d'autres le sont grâce à des bras robotisés qui remplacent les humains, poussant l'automatisation un cran plus loin. (Kleinman, 2018)

A nouveau ce type de technologie semble plutôt adapté à du picking à la pièce dans un contexte de e-commerce.

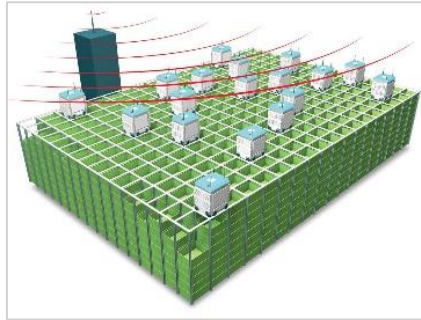


Figure 39 : Schématisation du fonctionnement de l'entrepôt Ocado

Source : Vincent, J. (2018). *Welcome to the automated warehouse of the future*. Récupéré le 4 avril 2019, à l'adresse <https://www.theverge.com/2018/5/8/17331250/automated-warehouses-jobs-ocado-andover-amazon>

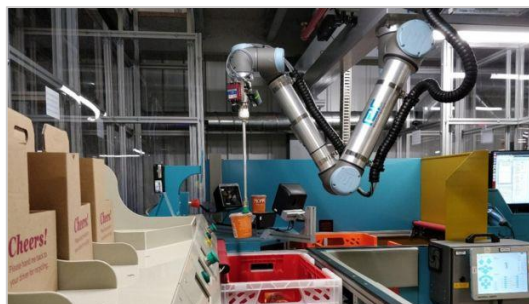


Figure 40 : Bras de picking dans l'entrepôt Ocado

Source : Kleinman, Z. (2018). *The Ocado robot swarms that pack your shopping*. Récupéré le 29 avril 2018, à l'adresse <https://www.bbc.com/news/technology-43968495>

Robots de picking Locus



Locus est une entreprise de robotique proposant une solution d'automatisation partielle du picking. Elle propose des robots de picking évoluant dans un entrepôt classique. Ici, les préparateurs ne sont pas stationnés à une station de picking mais dans les allées de service. Un opérateur démarre les robots depuis leur base en leur assignant une commande. Le robot sait, grâce au WMS, où se trouve la marchandise et se rend de manière autonome au premier emplacement. Là, un opérateur prélève la pièce indiquée, la scanne et la place dans le bac chargé sur le robot. Ensuite, ce dernier se rend à l'emplacement suivant où un opérateur (qui peut être différent du premier) prélève la seconde pièce. Lorsque la commande est terminée, le robot se rend de manière autonome en zone d'envoi. (Locus, s.d.)

Figure 41 : Robot Locus

Source : Locus. (s.d.). *How it works*. Récupéré le 2 avril 2019, à l'adresse <https://www.locusrobotics.com/why-locus/>

Si les opérateurs doivent encore se déplacer dans les allées de service avec cette technologie, elle leur évite cependant beaucoup de déplacements inutiles. Ils peuvent donc s'occuper de plusieurs commandes en même temps. Enfin, cette technologie présente les avantages d'être plus flexible et de ne pas demander autant d'adaptations dans l'entrepôt que celles présentées plus haut. De plus, si la forme proposée par Locus est adaptée au picking à la pièce, le système proposé semble facilement adaptable à du picking au carton, ou dans le cas de pièces plus volumineuses, nécessitant d'être transférées directement sur des palettes.

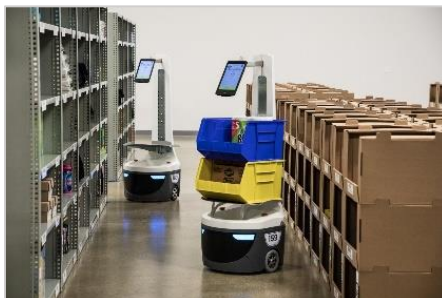


Figure 42 : Robots Locus dans une allée

Source : Locus. (s.d.). *How it works*. Récupéré le 2 avril 2019, à l'adresse <https://www.locusrobotics.com/why-locus/>

7.3. Le futur de l'entrepôt

Si l'automatisation permet généralement d'améliorer la productivité de l'entrepôt, le futur de l'entrepôt ne se cantonne pas à réduire au maximum la main d'œuvre pour mettre en place des technologies permettant l'automatisation. En effet, il ne faut pas négliger l'investissement conséquent que demandent de telles technologies. Il est important d'accorder suffisamment de temps à la réflexion avant de se lancer dans l'automatisation d'un entrepôt. En effet, les entrepôts entièrement automatisés sont par exemple plus sujets qu'un entrepôt manuel à un blocage pour des raisons techniques. L'entrepôt automatisé s'adaptera moins facilement à des fluctuations d'activité (Legras, 2018c) : en cas de pic de demande, un entrepôt manuel pourra, jusqu'à un certain point, augmenter son débit en engageant des intérimaires alors qu'à l'inverse, l'entrepôt utilisant des robots de picking (Ocado ou Amazon par exemple) ou des transstockeurs ne pourra pas augmenter sa capacité aussi facilement. L'automatisation engendre donc une certaine perte de flexibilité, surtout en cas d'augmentation soudaine de la demande. Pour couvrir ces pics, on peut prévoir un surplus de capacité lors de la mise en œuvre d'un projet d'automatisation. Il faut cependant prendre en compte que cela entraînera un surplus de capacité non-nécessaire la majeure partie du temps.

L'automatisation semble tout de même être l'avenir de l'entrepôt, étant donnés les changements de la demande : on se dirige de plus en plus vers des commandes de quelques pièces à livrer en un temps record. (Legras, 2018b) Cependant, cette automatisation doit s'opérer de manière raisonnée et « ne doit pas devenir un objectif, mais rester un moyen ». (Legras, 2018a, para. 10) Par ailleurs, l'entrepôt de demain ne sera pas forcément plus grand, mais il devra être flexible et proche des consommateurs. (Legras, 2018c)

8. Lean six-sigma warehousing

Le dernier point théorique, concernant la gestion d'entrepôt à proprement parler et abordé dans ce travail, portera sur l'application des principes lean et six-sigma. Si cette philosophie a initialement été développée pour les activités de production, elle peut s'appliquer aux activités de l'entrepôt.

8.1. Lean six-sigma

8.1.1. Lean

La philosophie lean est apparue en particulier chez Toyota Production Systems, en raison d'une forte concurrence dans le secteur de l'automobile. (Anđelković, Radosavljević, & Panić, 2016) L'objectif principal du lean management est d'améliorer la valeur délivrée au consommateur. (Grisay, 2018b) Plus précisément, il s'agit d'une solution alternative à la production de masse, caractérisée par des grandes quantités uniformisées, dans un contexte où les demandes des consommateurs deviennent de plus en plus singulières. (Anđelković, Radosavljević, & Panić, 2016) Pour augmenter la valeur perçue par le consommateur, trois leviers peuvent être actionnés (Anđelković, Radosavljević, & Panić, 2016) :

- L'élimination des *muda* : Les *muda*, ou *waste* en anglais et *déchet* en français, sont tous les éléments existant dans l'entreprise et pouvant être supprimé sans détériorer la qualité de la prestation. Il en existe huit, qui seront détaillés ci-après ;
- « L'ajout de bénéfices additionnels qui seront importants pour le consommateur mais qui n'impliqueront pas de coûts supplémentaires. » (Anđelković, Radosavljević, & Panić, 2016, p. 518)
- L'amélioration continue.

Les différents *muda* sont les suivants :

Niveau de stock

Selon les entreprises, et notamment le délai imparti pour satisfaire les commandes des clients, le niveau de stock requis variera. Cependant, un niveau de stock trop élevé est problématique car il entraîne des coûts évitables (dépréciation, espace pour le stockage, assurances, etc.)

Transports de matériel

Les matériaux et produits doivent être déplacés tout au long du processus de fabrication, avant d'être livrés aux clients. Par exemple, dans l'entrepôt, un produit pourra être stocké dans la partie « réserve » puis réapprovisionné en zone de picking. L'objectif est d'éliminer tous les transports non-nécessaires.

Déplacements humains

Que ce soit sur un site de production ou en entrepôt, les opérateurs doivent se déplacer. L'idée ici est de minimiser les déplacements, par exemple en mettant en place des postes de travail ergonomiques où les travailleurs ont tout le matériel nécessaire à portée de main.

Temps d'attente

Le temps passé à attendre est, globalement, du temps perdu. On parle ici en particulier du temps passé à attendre l'arrivée de fournitures pour pouvoir continuer une production par exemple. L'objectif est donc ici aussi d'éliminer tous ces temps d'attente ou, à tout le moins, de les minimiser.

Surproduction

Il s'agit de « produire ou commander quelque chose avant que ce soit nécessaire ». (Grisay, 2018b) En conséquence, l'entreprise fait face à des niveaux de stock trop élevés, « des délais plus longs, plus de défauts, des coûts de stockage plus élevés ». (Grisay, 2018b)

Over-processing

On parle d'*over-processing* lorsque les moyens alloués à une tâche sont excessifs et n'apportent pas de valeur ajoutée pour le client. On peut par exemple citer l'utilisation d'une machine trop chère ou de critères de qualité trop élevés.

Erreurs / défauts

Que ce soit en production ou dans les entrepôts, les erreurs ou défauts engendrent une charge de travail supplémentaire (destruction, gestion des retours, etc.) et n'apportent pas de valeur ajoutée au client.

Sous-utilisation des travailleurs

Il est important que les travailleurs soient assignés à des tâches à hauteur de leurs capacités.

La philosophie lean est basée sur l'amélioration continue. La figure suivante en résume les étapes clés.

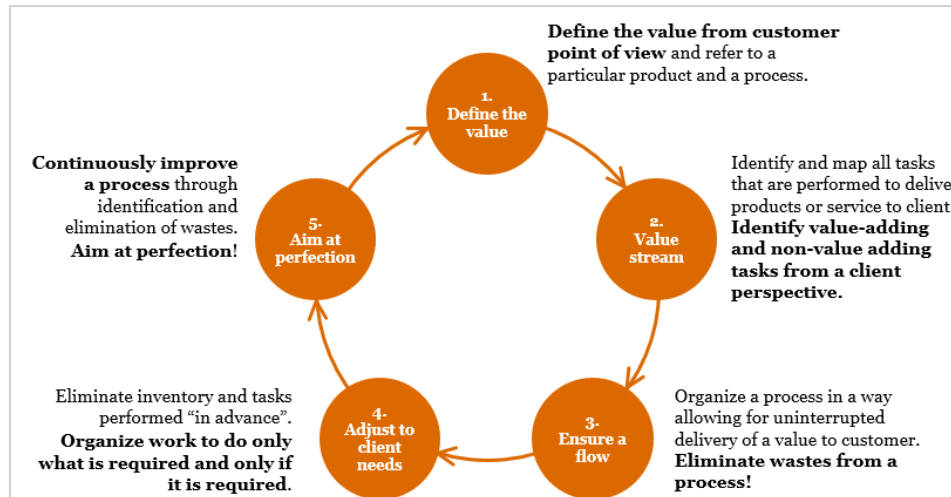


Figure 43 : La philosophie lean

Source : Grisay, F. (2018b). *Make*. Présentation PowerPoint. ICHEC, Bruxelles.

Pour appliquer la philosophie lean, il s'agit donc d'identifier ce qui procure de la valeur pour le client au sein de l'entreprise et, en particulier, quelles activités participent à la création de cette valeur. Ensuite, il faut éliminer toutes les activités qui n'apportent pas de valeur ajoutée et s'ajuster aux besoins du client. Enfin, l'objectif est de continuer à procurer le plus de valeur possible au client tout en optimisant les activités opérées. Il s'agit donc d'évaluer en permanence les possibilités d'améliorations.

8.1.2. Six-sigma

Il s'agit d'une approche du management visant à comprendre et réduire la variabilité au sein des processus, avec pour conséquence une fiabilité et une précision accrues de ceux-ci. Concrètement, c'est l'outil DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve & Control) qui est utilisé en termes de résolution de problèmes. (Goldsby & Martichenko, 2005) Chaque étape du DMAIC peut être approchée au moyen de divers outils. (Grisay, 2018b) (cf. infra p. 50)

8.2. DMAIC : la boîte à outils de la résolution de problèmes

Pour mettre en œuvre le lean six-sigma évoqué ci-dessus, plusieurs outils et principes ont été développés. Les lignes qui suivent développent quelques-uns de ces outils et principes qui pourraient être mobilisés dans le contexte de l'entrepôt de stockage.

En termes de résolution de problème, le DMAIC (**D**efine, **M**easure, **A**nalyze, **I**mprove & **C**ontrol) est l'outil le plus répandu. Il est l'essence même du six-sigma, mais reprend également des concepts du lean. (Goldsby & Martichenko, 2005) Chaque lettre constitue une étape dans la résolution du problème et chaque étape peut être mise en œuvre, appliquée, au moyen de différents outils. On pourrait conceptualiser le DMAIC comme une boîte à outils compartimentée, chaque compartiment représentant une lettre. Dans chaque compartiment sont rangés divers outils et l'ensemble de la boîte à outils permet de résoudre un problème.

8.2.1. D – Define

Dans un premier temps, il est important de définir le problème à résoudre, les contraintes y afférentes ainsi que les ressources (humaines et matérielles) nécessaires pour le résoudre. (Goldsby & Martichenko, 2005) Pour ce faire, il existe une pléiade d'outils dont trois sont présentés ci-après.

Value Stream Mapping (VSM)

La VSM est une cartographie des processus relatifs à un produit, un service. En particulier, cet outil permet de mettre en exergue trois types d'activités : (Goldsby & Martichenko, 2005)

- 1) Les activités qui créent de la valeur aux yeux des clients ;
- 2) Les activités qui ne créent pas de valeur aux yeux des clients mais qui restent nécessaire au bon fonctionnement de l'entreprise ;
- 3) Les activités non-nécessaires et qui ne créent pas de valeur pour le client.

Par ailleurs, il est courant de proposer deux versions de la VSM : la première rend compte de l'état actuel des activités tandis que la seconde présente la situation à laquelle il faudrait idéalement arriver au terme du projet.

L'élaboration d'une VSM demande l'utilisation de symboles reconnus globalement. Les principaux sont repris dans la figure ci-dessous.

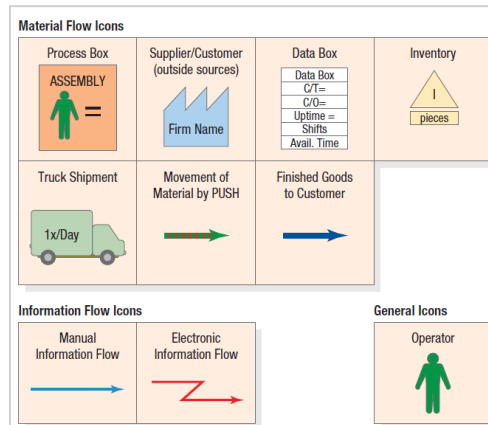


Figure 44 : Symboles principaux de la VSM

Source : Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *Operations management: processes and supply chains*. (10. ed., global ed). Boston, Mass.: Pearson.

La VSM se décompose classiquement en 3 étages. L'étage supérieur est relatif aux flux d'informations échangés, l'étage central est consacré aux flux de produits et aux processus mobilisés et l'étage inférieur met en lumière les temps consacrés à chaque processus, ce qui permet entre autres de visualiser le temps consacré à des activités apportant de la valeur au client final. (Krajewski, Ritzman, & Malhorta, 2013) A titre d'exemple, la figure ci-dessous propose la VSM pour une activité de production.

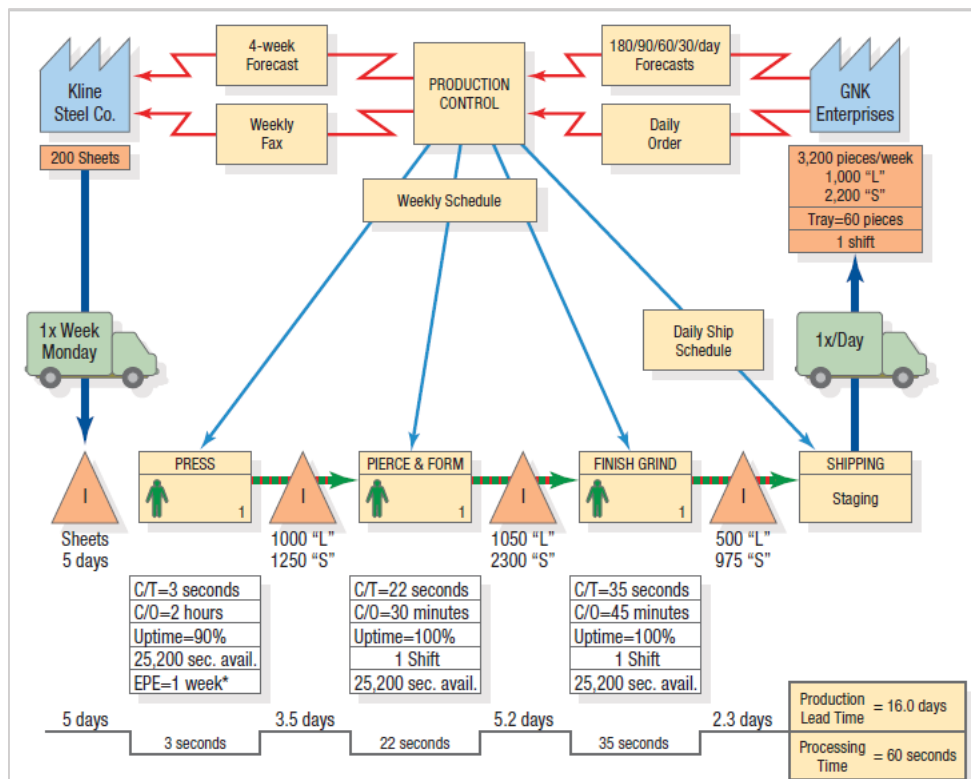


Figure 45 : Exemple de VSM

Source : Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *Operations management: processes and supply chains*. (10. ed., global ed). Boston, Mass.: Pearson.

Voice of Customer (VOC)

Le VOC est un outil centré, comme son nom l'indique, sur le client. Il a pour objectif de définir clairement les besoins et les attentes de ces-derniers. Pour ce faire, il s'agit de répondre à quatre questions (Karjewski, Ritzman, & Malhorta, 2013) :

- 1) Quels sont les objectifs des clients ?
- 2) Quelles sont les *drivers*, les raisons de ces objectifs ?
- 3) Quelles sont les challenges, les contraintes et les ressources des clients ?
- 4) Comment peut-on aider le client à atteindre ses objectifs ?

Critical To Quality (CTQ)

Dans l'optique du lean six-sigma, définir le problème à résoudre revient à comprendre les attentes non-satisfaites des clients concernant les caractéristiques d'un produit ou d'un service. Établir les CTQ consiste précisément à définir les caractéristiques qui ont de l'importance aux yeux des clients. (Grisay, 2018b)

Autres

Si trois outils principaux ont été développés ci-dessus, d'autres peuvent être mobilisés mais ne seront pas abordés dans le cadre de ce travail. On peut par exemple citer le Voice of Business (Karjewski, Ritzman, & Malhorta, 2013), le SIPOC, le KANO ou encore le Process Mapping (Grisay, 2018b)

8.2.2. *M – Measure*

Une fois le problème correctement défini (Define), il s'agit de le rendre mesurable. En particulier, on va tenter d'établir des mesures chiffrées du problème, et donc de la situation actuelle. De plus, une attention particulière devra être apportée à la précision et la fiabilité des mesures. (Karjewski, Ritzman, & Malhorta, 2013) Parmi les outils disponibles pour cette étape, le 5W2H, l'analyse des corrélations et l'analyse Pareto sont brièvement évoquées ci-dessous.

5W2H

Cet outil permet d'aborder le problème sous différents angles. Pour le problème énoncé à l'étape précédente, il s'agit de s'interroger à propos des 5 W et des 2 H. (Grisay, 2018b)

- 5 W : **Who**, **what**, **why**, **where** et **when**.
- 2 H : **How much** et **how often**.

Corrélation

L'analyse des corrélations peut révéler les liens entre le problème observé et des facteurs connexes. (Grisay, 2018b)

Analyse Pareto

L'analyse Pareto consiste à démontrer « qu'un petit nombre d'inputs est responsable d'une vaste majorité des outputs ». (Goldsby & Martichenko, 2005, p. 209) Autrement dit, même si

beaucoup d'inputs peuvent être identifiés comme étant des causes d'un certain output (qu'il soit positif ou négatif), il y a de grandes chances pour seulement quelques inputs aient une grande part de responsabilité quant à l'évolution de l'output. On peut imaginer que le problème à analyser (l'output) soit la variabilité d'un processus. L'analyse Pareto va permettre d'identifier les facteurs les plus influents parmi tous les facteurs identifiés (par exemple au moyen du 5W2H). (Goldsby & Martichenko, 2005)

8.2.3. A – Analyze

Après avoir défini précisément le problème et les facteurs y afférents, il est important de comprendre les causes profondes menant à la situation insatisfaisante. C'est l'objet de cette étape d'analyse du DMAIC. Encore une fois, l'objectif est centré sur le client : il s'agit d'identifier les causes d'une situation qui ne lui convient pas, dans le but de pouvoir l'améliorer. (Goldsby & Martichenko, 2005) Outre les observations pouvant être opérées sur le terrain, divers outils peuvent aider à formaliser la réflexion, comme le diagramme d'Ishikawa, les 5 why et l'inférence statistique, présentés ci-après.

Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa a pour but d'aider à identifier toutes les causes d'un fait en les alignant sur un diagramme ayant la forme d'arêtes de poisson. (Grisay, 2018b)

Cette approche qualitative permet avant tout d'amorcer la discussion autour des causes identifiées et sert de point de départ pour des analyses plus quantitatives. (Goldsby & Martichenko, 2005)

5 Why

Pour identifier les causes profondes d'une certaine situation, on peut, pour chaque cause identifiée, l'approfondir en se posant la question du « pourquoi ». On réitère la réflexion cinq fois, afin d'être bien certain d'avoir traité le cœur du problème.

Inférence statistique

Des techniques d'inférence statistique peuvent être utilisées pour formaliser des observations sur des échantillons de données. On peut par exemple citer les analyses de régression, les tests Chi-carré ou l'analyse de la variance (ANOVA). (Goldsby & Martichenko, 2005)

La **régression** consiste à quantifier l'impact de variables explicatives (les inputs, les causes du problème) sur l'évolution de la variable dépendante (l'output, le problème). (Goldsby & Martichenko, 2005) Le test **Chi-carré** permet quant à lui de tester l'indépendance de deux variables sous l'hypothèse nulle de dépendance. Ainsi, si le test amène à rejeter l'hypothèse nulle, on en conclura que les deux variables ne sont pas liées. (Claes, 2015) Enfin, l'**ANOVA** est un test permettant de tester l'hypothèse de normalité de divers échantillons et, par extension, d'analyser les facteurs explicatifs de la variance. (Claes, 2015)

8.2.4. *I – Improve*

Logiquement, après avoir identifié les causes profondes du problème, il est nécessaire de mettre en œuvre des actions pour y palier. Plus que de « simplement » implémenter des solutions, une bonne application du lean six-sigma demande de mettre en place une culture d'entreprise permettant d'accueillir favorablement le changement. Ce n'est qu'une fois cette étape franchie que l'implémentation de solutions pourra être envisagée. (Goldsby & Martichenko, 2005) Le Poka Yoke et les 5 S sont deux outils pouvant être mobilisés. Ils sont évoqués ci-dessous.

Poka Yoke

Il s'agit de simples dispositifs mis en place pour éviter les erreurs. (Goldsby & Martichenko, 2005) Par exemple, lors de la préparation de commandes au moyen d'un scanner, le système peut demander au préparateur de scanner l'article prélevé avant de confirmer le prélèvement de la pièce, ce qui évite des erreurs de picking.

5S

L'outil 5S est « une méthode utilisée pour organiser le lieu de travail ». Il sous-tend l'idée que tout doit « avoir une place et être à sa place » dans l'entrepôt. (Goldsby & Martichenko, 2005, p. 234) En effet, l'ordre est primordial dans le concept lean six-sigma. Il transfère un message de discipline de travail aux travailleurs et renvoie une image de qualité au visiteur externe.

Originellement en Japonais, la traduction anglaise propose également 5 termes commençant par un « s » (Goldsby & Martichenko, 2005) :

- 1) *Sorting* : Tous les objets non-nécessaires au bon fonctionnement de l'entrepôt doivent en être sortis ;
- 2) *Straightening* : Il est important d'organiser l'entrepôt de manière à pouvoir travailler dans des conditions de sécurité optimale et permettant d'être le plus efficace possible ;
- 3) *Scrubbing* : Pour maintenir une propreté générale au sein de l'entrepôt, il est nécessaire de prévoir des nettoyages réguliers ;
- 4) *Standardizing* : Pour obtenir des performances conformes aux attentes, les procédures doivent être standardisées, c'est-à-dire formulées par écrit et accessibles à tous les opérateurs ;
- 5) *Sustaining* : Le maintien de la discipline dans l'entrepôt passe par « de bonnes habitudes de travail et un état d'esprit tourné vers la résolution de problèmes ». (Goldsby & Martichenko, 2005, p. 209)

8.2.5. *C – Control*

La dernière phase du DMAIC est le contrôle. Son rôle est d'éviter un laisser-aller lorsque le projet se déroule bien ou, à l'inverse, permettre de mettre en place des actions correctrices en cas de dérèglement. En effet, aucun projet n'est à l'abri d'une erreur ou d'un changement d'environnement, malgré tous les efforts qui peuvent être faits en amont. C'est en phase de contrôle que le praticien devra s'assurer que « la bonne performance est mesurée et reconnue ». (Goldsby & Martichenko, 2005, p. 218) En effet, toute performance ne menant

pas à l'output désiré est un *muda*. (Goldsby & Martichenko, 2005) A nouveau, trois outils s'inscrivant dans l'implémentation de cette phase sont présentés ci-dessous.

Standard Operating Procedure (SOP)

Le SOP est un document écrit décrivant en détails toutes les actions devant être menées au cours d'un processus particulier. (Grisay, 2018b) De tels documents permettent aux opérateurs d'avoir accès à un support écrit en cas de doute concernant une procédure à suivre.

Statistical Process Control (SPC)

Le SPC consiste à contrôler l'évolution graphique d'indicateurs clés de performance (KPI). (Grisay, 2018b) Cela permet un contrôle visuel d'une mesure formelle.

Visual management

Le visual management consiste à rendre visible à tous les opérateurs les objectifs à atteindre ainsi que l'état actuel d'avancement par rapport à ces objectifs. (Grisay, 2018b) Cela peut par exemple être mis en œuvre en affichant sur des écrans les commandes du jour, en mettant en évidence celles qui sont clôturées et celles qui restent à préparer.

9. Mesures de performance dans l'entrepôt

Si les chapitres précédents avaient pour but de mettre en lumière différentes techniques d'optimisation de l'entrepôt proposées par la littérature, la mesure de l'efficacité de ces techniques n'a pas encore été traitée. L'objectif de ce chapitre est de se pencher sur l'analyse de telles mesures.

D'un point de vue global, on parle de productivité pour désigner une « mesure basique de la performance des processus ». (Karjewski, Ritzman, & Malhorta, 2013, p. 36) La productivité est l'ensemble des outputs en valeur, c'est-à-dire la valeur de ce que l'entreprise a produit, divisé par les ressources utilisées pour cette production. (Karjewski, Ritzman, & Malhorta, 2013)

L'objectif pour un entrepôt, comme pour toute entreprise, est de maximiser sa performance et donc sa productivité. La productivité de l'entrepôt pourra être comparée soit à des standards généralement acceptés, soit à d'autres entrepôts. (Bartholdi & Hackman, 2017)

9.1. Key Performance Indicators (KPI)

La manière la plus commune de mesurer la performance d'un entrepôt est l'utilisation de KPI. (Staudt, Di Mascolo, Alpan, & Rodriguez, 2014) Il s'agit de ratios établis entre un certain output et un certain input. Dès lors, on peut considérer qu'un KPI mesure la productivité d'une certaine activité de l'entrepôt. Il est important de ne pas considérer individuellement un KPI car chaque indicateur met en lumière une certaine partie de l'activité logistique. Il est donc nécessaire d'analyser les résultats d'un point de vue global. (ten Hompel & Schmidt, 2007)

Staudt, Di Mascolo, Alpan & Rodriguez (2014) proposent une synthèse des principaux indicateurs proposés dans la littérature. Ils distinguent les indicateurs liés au temps, à la productivité des facteurs et aux coûts. La liste de ces indicateurs est reportée en annexe car elle sera mobilisée dans l'étude de cas dont il sera question plus loin dans ce travail (annexe 1).

Ten Hompel & Schmidt (2007) distinguent quant à eux les données brutes (*basic data*), des KPI à proprement parler. Si les premières peuvent déjà servir d'indicateurs, les auteurs estiment que ces données sont surtout la base de calcul des KPI. Ils distinguent les KPI opérationnels des stratégiques. Les KPI opérationnels sont utilisés pour « contrôler l'efficacité des processus logistiques » alors que les KPI stratégiques sont eux destinés à « développer des flux matériels efficaces ». (ten Hompel & Schmidt, 2007, p. 288) La liste proposée par ces auteurs est également annexée au travail (annexe 2).

9.2. « Warehouse Assessment in a Single Tour » (WAST)

En complément des traditionnels KPI, la méthode proposée par de Koster (2008) permet d'analyser des éléments difficilement captés par des indicateurs de performance comme la propreté ou le l'esprit d'équipe pouvant exister au sein de l'entrepôt.

Le WAST propose d'évaluer 11 catégories lors d'une visite de l'entrepôt à évaluer. L'analyse se fait en deux temps. Tout d'abord, une liste de 21 questions fermées permet d'orienter la discussion avec le guide lors de la visite et donne un premier aperçu de l'entrepôt. Ensuite, sur base des réponses aux questions et de la visite d'un point de vue global, chaque catégorie doit être évaluée sur une échelle allant de « pauvre » à « *best-in-class* » et comprenant quatre échelons intermédiaires. Les 11 catégories ne sont pas détaillées ici mais seront abordées individuellement dans la partie pratique (cf. infra pp. 69-72 et pp. 81-82) A chaque catégorie correspond au moins une question (mais une question peut être relative à plusieurs catégories). Chaque échelon correspond également à un certain nombre de points. Après avoir déterminé le niveau de chaque catégorie, les points correspondants sont additionnés et on obtient un score total (qui sera de maximum 121 (11 catégories * 11 points maximum par catégorie)).

10. Conclusion

Cette première partie a permis de fixer les ancrages théoriques en matière de gestion d'entrepôt. Mon manque d'expérience en matière de logistique et en particulier d'optimisation d'un entrepôt rendent ces ancrages fondamentaux pour pouvoir proposer une analyse critique du projet dont il sera question dans la partie pratique du travail.

La première phase de cet ancrage consistait à expliquer le rôle que pouvait jouer l'entrepôt au sein de la supply chain. Ensuite, les différentes activités de l'entrepôt ont été étudiées. J'ai pu me rendre compte que l'enjeu principal parmi ces activités résidait dans l'optimisation du picking, et tout particulièrement des distances parcourues par les opérateurs lors de cette activité.

La seconde phase avait pour but d'étudier les possibilités existantes pour optimiser le fonctionnement d'un entrepôt. En termes d'optimisation pure, la littérature scientifique s'attarde principalement sur le *layout* de l'entrepôt ainsi qu'à l'optimisation du picking. Ensuite, les possibilités d'automatisation des activités ont été abordées, d'abord sous l'angle *picker-to-parts* puis sous l'angle *parts-to-picker*, qui constitue le cœur de l'automatisation. L'approche lean-six-sigma et en particulier la boîte à outils que constitue le DMAIC ont aussi été évoqués.

Enfin, la troisième phase a mis en évidence deux types de mesures de performance dans l'entrepôt. Tout d'abord, l'utilisation de KPI permet de suivre dans le temps l'évolution de certains aspects de l'activité de l'entrepôt. Ensuite, le WAST permet quant à lui d'évaluer, à un certain moment dans le temps, l'état général de l'entrepôt. Ces deux outils seront mobilisés dans le cas pratique traité dans la suite du travail.

1. Mise en contexte

1.1. L'entreprise

La société Van Mieghem Logistics est une entreprise familiale, actuellement dirigée par la deuxième génération, située à Saintes, dans l'ouest du Brabant Wallon. Elle propose un large éventail de services logistiques : transport, entreposage, douanes, etc.

On peut diviser les activités de Van Mieghem en deux pôles principaux : le transport et la logistique. Concernant le transport, la flotte est composée de plus de 350 véhicules allant de la camionnette à la semi-remorque et adaptés à différents types de marchandises. L'offre de transport est globalement étendue à toute l'Europe. D'autre part, Van Mieghem dispose d'une surface de stockage de plus de 130.000 m² répartis entre divers entrepôts en Belgique et à l'étranger.

Le projet dont il est question dans ce travail est donc lié au deuxième pôle d'activité de l'entreprise. Il a plus particulièrement trait à la question de la gestion d'un centre de stockage et à l'optimisation de celui-ci.

1.2. L'entrepôt de Fleurus

Parmi les différents sites dont dispose Van Mieghem, celui dont il est question dans ce travail se situe à Fleurus. Dans cette partie, il s'agit de décrire l'organisation de l'entrepôt étudié tant d'un point de vue physique qu'au niveau de son fonctionnement ou, autrement dit, des processus opérationnels et systèmes.

Au sens de Bartholdi & Hackman (2017), il s'agit d'un entrepôt de type 3PL. En d'autres termes, les entrepôts de Van Mieghem Logistics, et donc celui de Fleurus, sont des solutions d'externalisation des activités logistiques pour d'autres entreprises. De tels entrepôts peuvent présenter des avantages en termes d'économies d'échelle et de gestion des volumes d'activité saisonniers, dans le cas d'un entrepôt multi-clients. (Bartholdi & Hackman, 2017)

1.2.1. Organisation physique

La figure ci-dessous représente de manière schématique l'organisation de l'entrepôt avant le projet de réorganisation. Il est important de noter que, même si les dimensions relatives ont été appréciées le plus précisément possible, le schéma n'est pas à l'échelle. Il a simplement pour but de représenter visuellement l'organisation de l'entrepôt. Celui-ci est divisé en deux halls : le hall F et le hall G. Ces derniers sont reliés par deux portes au niveau des couloirs.



Figure 46 : Plan de l'entrepôt¹

L'accès principal se situe au niveau de la zone de quais du hall F, entre les quais (en brun) et la zone de bureaux (gris). Cette zone comprend le bureau du responsable et assistant responsable de l'entrepôt, où les tâches administratives sont effectuées. Elle inclut aussi le réfectoire du personnel, les sanitaires, ainsi que la pièce où les scanners et leurs stations de charge sont entreposés. Sur les extrémités du hall, on retrouve des zones de stockage au sol (jaune), où sont stockées les marchandises trop volumineuses et/ou en trop grand nombre pour rentrer dans les racks, pour une surface totale d'environ 1.700 m². Dans le même hall, on retrouve les quais qui sont utilisés pour le chargement et le déchargement des camions. Il existe également une zone dite zone « tampon » (orange) où les marchandises sont provisoirement stockées en attendant d'être soit chargées dans un camion pour les commandes en partance, soit mises en stock après le déchargement des camions. Enfin, la dernière zone de ce hall comprend 4 allées doubles et une allée simple de racks (bleu), pour une capacité théorique totale d'environ 1.200 palettes².

Le hall G contient lui majoritairement des allées de racks (bleu). Il est important de noter que, tout comme dans le hall F, les allées de racks sont parallèles aux quais. Sur le schéma, elles sont donc horizontales. Dans le hall G, cela implique que le passage d'une allée de service à l'autre doit impérativement s'opérer par le couloir (allée de circulation). En effet, les racks sont placés jusqu'aux murs de l'entrepôt. Au total, ce hall peut théoriquement contenir quelques 7.400 palettes dans les racks. Par ailleurs, le hall G comprend également une zone de vrac (jaune) d'environ 180 m² et une zone de quais (non-utilisée).

Au total, la capacité de stockage en racks est de 8.600 palettes, à laquelle s'ajoutent 1.880 m² de stockage au sol.

Van Mieghem Logistics possède plusieurs entrepôts gérés grâce à un seul et même WMS, développé en interne. Il est donc nécessaire que chaque position soit unique, tous sites confondus. Par exemple, l'adresse « PRF1G17B74 » correspond à une position rack (PR) (par opposition à une position sol (PS) dans une zone de vrac) dans l'entrepôt de Fleurus (F1). Elle se trouve dans le hall G, allée 17, emplacement 74, niveau B (le niveau sol étant le A). De cette manière, une adresse dans un entrepôt ne peut être confondue avec celle correspondant à un autre site.

¹ Un plan agrandi est proposé en annexe 3

² Des lisses peuvent être ajoutées ou enlevées selon la hauteur des palettes à stocker, ce qui fait varier le nombre total de palettes pouvant être stockées.

Actuellement, l'entrepôt est entièrement dédié à deux clients appartenant à un même groupe. Ces clients travaillent en B2B, principalement avec des établissements de l'HORECA. Dans la suite de ce travail, ces deux clients sont dénommés LEP et ECF. LEP est spécialisé dans le mobilier HORECA (tables, chaises, tabourets, etc.) tandis que ECF est plus global et propose à ses clients une grande variété d'articles liés à la gestion d'un établissement HORECA, ne se limitant donc pas au mobilier classique.

Par ailleurs, l'entrepôt de Fleurus est un « cas à part » parmi les dépôts de Van Mieghem (en Belgique), étant donnée sa situation géographique. En effet, il s'agit de celui qui est le plus éloigné du siège de l'entreprise, situé à Saintes (Brabant-Wallon). Au vu de cet isolement géographique, le contrôle exercé par le management sur cet entrepôt est relativement faible et l'équipe de magasiniers est assez autonome dans son travail.

1.2.2. Volume d'activité

En 2018, l'entrepôt de Fleurus occupait en moyenne 17 personnes, dont le responsable d'entrepôt et l'assistant responsable. Si les opérateurs ont, en moyenne, travaillé 8,59 heures par jour, le travail est organisé en 2 shifts : 6h-14h et 14h-22h. En général, le responsable d'entrepôt travaille en décalé pour pouvoir gérer la transition entre les deux shifts.

Tableau 6 : Statistiques RH

Mois	Personnel	Jours prestés	Heures prestées	Hrs./pers./jour
janv-18	16	303	2.664,18	8,79
févr-18	17	314	2.759,53	8,79
mars-18	16	348	3.073,87	8,83
avr-18	17	320	2.863,18	8,95
mai-18	17	300	2.683,28	8,94
juin-18	17	319	2.738,90	8,59
juil-18	18	294	2.586,52	8,80
août-18	18	278	2.329,83	8,38
sept-18	17	299	2.548,13	8,52
oct-18	18	355	2.899,53	8,17
nov-18	17	338	2.783,70	8,24
déc-18	17	307	2.480,00	8,08
Total		3775	32.410,67	
Moyenne	17,08	314,58	2.700,89	8,59

Source : Données Van Mieghem Logistics

En ce qui concerne le volume d'activité, on peut en capter une grande partie en s'intéressant à l'évolution mensuelle des volumes entrés et sortis de l'entrepôt. En effet, les entrées et sorties nécessitent la mise en œuvre de toutes les activités classiques de l'entrepôt.

On peut mesurer les entrées et sorties à la pièce, ce qui fait apparaître très clairement le phénomène de saisonnalité chez LEP (voir figure ci-dessous). En effet, tant en 2017 que l'année suivante, on observe un pic d'activité des sorties entre les mois de mars et juin. Ce pic est légèrement décalé dans le temps pour les entrées. Cela répond à une certaine logique : LEP anticipe l'augmentation des sorties en faisant rentrer du stock quelques semaines auparavant.

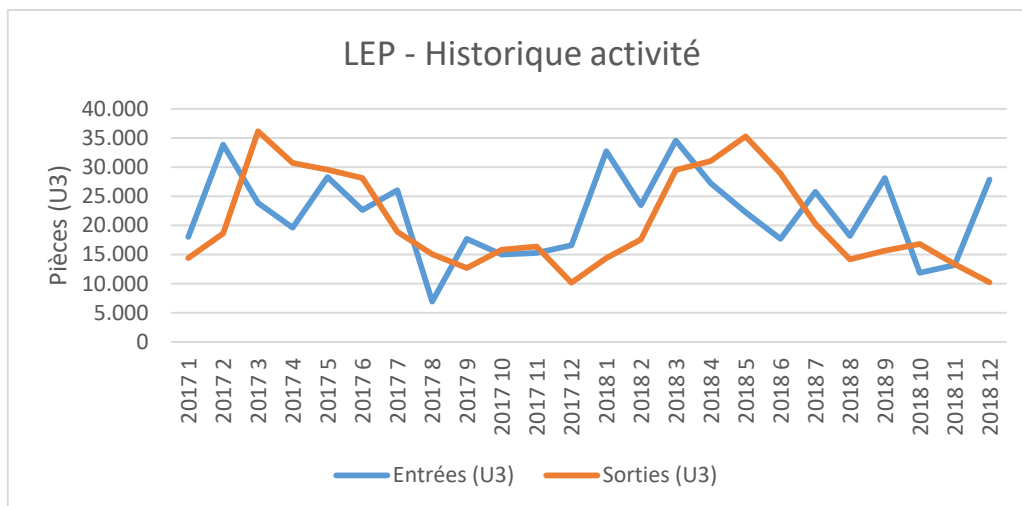


Figure 47 : LEP – Activité en pièces 2017-2018

Source : Données Van Mieghem Logistics

Chez ECF, aucune saisonnalité ne peut par contre être décelée. On observe cependant une relative stabilité en ce qui concerne les sorties, au contraire des entrées qui sont très volatiles. De plus, on s'aperçoit que le nombre de pièces entrées et sorties de l'entrepôt est beaucoup plus élevé pour ECF que pour LEP. A ce stade de l'analyse, on pourrait dès lors penser que le client ECF constitue le client principal de l'entrepôt.

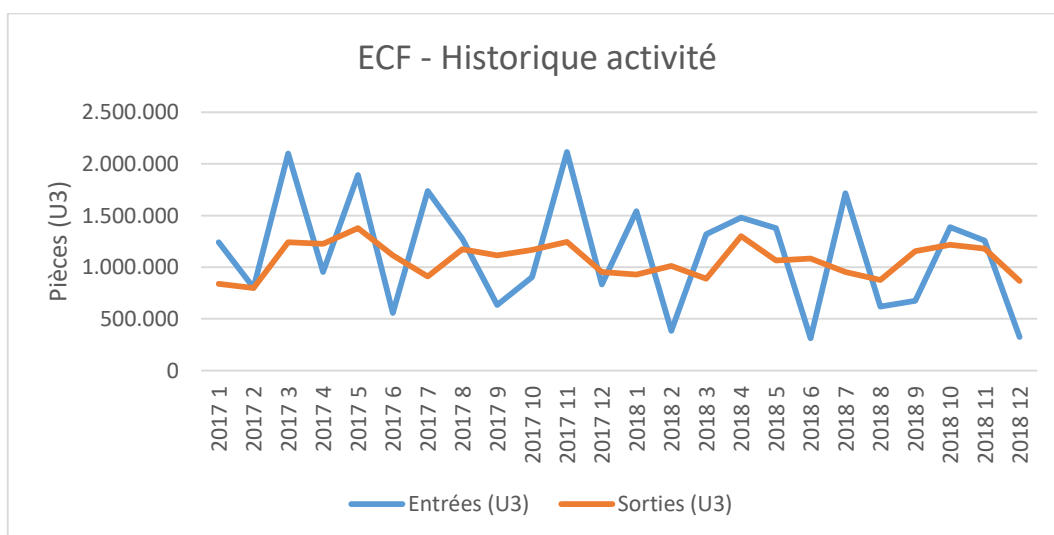


Figure 48 : Activité en pièces ECF 2017-2018

Source : Données Van Mieghem Logistics

La répartition du stock, toujours en nombre de pièces et illustrée dans la figure ci-dessous, viendrait confirmer cette hypothèse. C'est ce que montre la figure ci-contre.

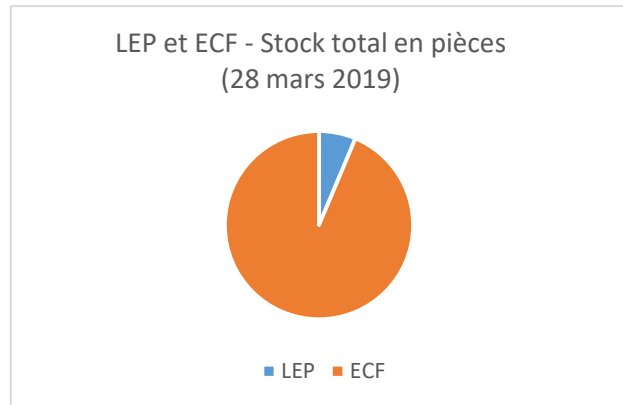


Figure 49 : Comparaison des stocks LEP et ECF
Source : Données Van Mieghem Logistics

Cependant, l'analyse d'autres données vient démontrer le contraire. En effet, LEP occupe 64% des emplacements racks, contre 36% pour ECF. De plus, au moment de l'extraction des données (28 mars 2019), tous les emplacements de vrac étaient occupés par LEP. Cette répartition des emplacements de stockage implique donc qu'ECF stocke en moyenne plus de pièces par emplacement que LEP.

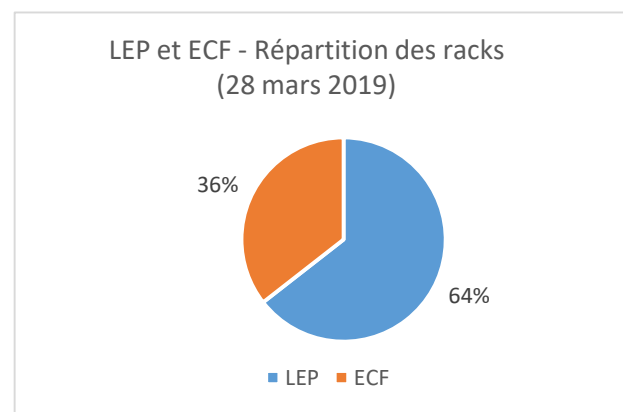


Figure 50 : Répartition des racks
Source : Données Van Mieghem Logistics

Par ailleurs, en considérant le nombre d'entrées en stock et de commandes passées par les clients (voir figure ci-dessous), on s'aperçoit que l'activité est beaucoup plus importante chez LEP que chez ECF. Ces données viennent confirmer ce qui peut être observé dans l'entrepôt : la plupart des opérateurs préparent des commandes LEP et la majorité du stock semble appartenir à ce même client. De plus, la localisation des articles d'ECF est également révélatrice : ce sont les allées situées au fond du hall G qui lui sont allouées.

En conclusion, il apparaît que, des deux clients présents dans l'entrepôt, LEP est être le plus important en termes de stockage et d'activité

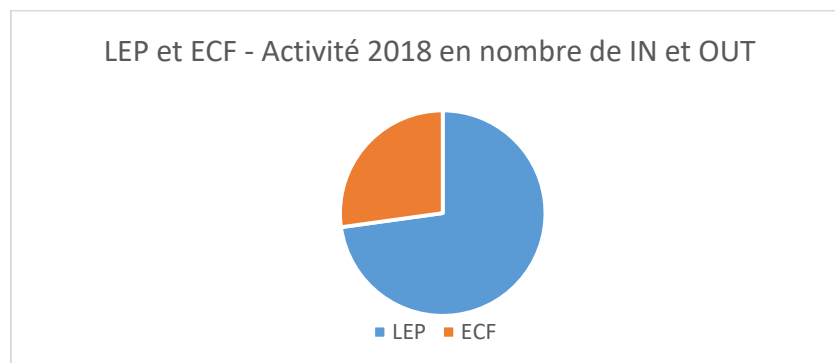


Figure 51 : LEP et ECF - Activité en nombre d'entrées et sorties 2018
Source : Données Van Mieghem Logistics

1.2.3. Organisation des activités

Comme dans tous les entrepôts de Van Mieghem, les opérateurs sont munis de scanners permettant d'enregistrer directement dans le WMS toutes les opérations effectuées dans l'entrepôt. Les lignes qui suivent ont pour but d'expliquer brièvement le fonctionnement propre à l'entrepôt de Fleurus, selon les activités clés détaillées dans la première partie de ce travail.

Réception

Normalement, lorsqu'un camion doit livrer de la marchandise chez Van Mieghem (quel que soit l'entrepôt), un rendez-vous doit être pris sur un portail internet prévu à cet effet. Cela permet de pouvoir anticiper les arrivages et, le cas échéant, d'envoyer de la main d'œuvre supplémentaire pour aider au déchargement. Cependant, il arrive très fréquemment que des camions arrivent sans avoir été annoncés, ce qui peut engendrer des surcharges de travail pour les opérateurs.

A Fleurus, tous les camions, à charger ou décharger, sont envoyés vers les quais du hall F. Autrement dit, les quais du hall G ne sont jamais utilisés, sauf cas exceptionnel. Une fois le camion à quai, les opérateurs assignés au déchargement utilisent généralement des chariots à fourches frontales ou des transpalettes électriques pour sortir la marchandise du camion et l'amener en zone tampon, à l'avant du hall F. C'est là que le comptage et le contrôle qualité sont opérés. Cependant, au vu du peu de place disponible dans cette zone et les arrivées souvent inopinées des camions, les contrôles sont régulièrement peu fournis et rapidement clôturés. De plus, le packaging des articles rend également le contrôle difficile. Par exemple, beaucoup de chaises arrivent par piles d'une dizaine d'articles, protégées par du carton et du film plastique. Si le carton ne semble pas abimé ou transpercé, les opérateurs considèrent que les articles ne présentent pas de défaut de qualité et que le nombre d'articles est correct.

C'est également à ce moment que les articles doivent être étiquetés avec les étiquettes de stockage de Van Mieghem. Pour ce faire, le responsable ou l'assistant responsable imprime les étiquettes correspondant à l'entrée en stock depuis les ordinateurs situés dans les bureaux. Une fois les étiquettes collées, les articles sont prêts à être mis en stock.

Mise en stock

Les marchandises étiquetées sont déplacées vers les emplacements de stockage à l'aide de chariots à mat rétractable. Il peut également arriver que les opérateurs utilisent des transpalettes (électriques ou non). Lorsqu'il s'agit de piles de chaises, elles ne sont pas placées sur des palettes mais sur une sorte de plateau à roulettes qui permet de les déplacer plus facilement. En effet, ces piles doivent être déplacées une-à-une.

En fonction de la nature de l'article, de la quantité à mettre en stock et de la place disponible, les articles sont rangés soit dans les racks, soit dans la zone de vrac. La politique de stockage appliquée est le stockage partagé. En effet, aucune position n'est prédéfinie pour le classement des articles. Cependant, les opérateurs tentent, dans la mesure du possible, de regrouper géographiquement les articles de même type. Lorsque les articles sont rangés, l'opérateur scanne l'emplacement où sont positionnées les marchandises, puis l'étiquette de stockage. De cette manière, le WMS peut allouer les quantités scannées à une future commande.

Picking

L'entrepôt fonctionne selon un système de *picker-to-parts*. Les opérateurs sont équipés de scanners leur indiquant la position de l'article à prélever. Ils se déplacent dans l'entrepôt au moyen d'un chariot à mat rétractable et les commandes sont préparées sur des palettes. Ces machines sont nécessaires car le picking peut se faire à tous les niveaux des racks. Autrement dit, aucun système de réapprovisionnement des niveaux inférieurs n'est prévu et les articles à prélever peuvent donc se trouver aux niveaux supérieurs. D'autre part, étant donnés le poids des articles et la taille de l'entrepôt, un picking au transpalette n'est pas envisageable.

Lorsque le préparateur arrive à l'emplacement indiqué par le scanner, il scanne le colis duquel la marchandise doit être prélevée et confirme, le cas échéant, la quantité prélevée. De ce fait, le WMS enregistre le prélèvement et en tient compte pour les commandes suivantes. Le préparateur doit également scanner l'étiquette de la palette sur laquelle il dépose les articles. Ensuite, la position suivante s'affiche sur le scanner.

Le WMS affiche les positions où des marchandises doivent être prélevées par ordre croissant. On entend par « ordre croissant » qu'il commence par la première position de la première allée du hall F (celle-ci étant PRF1F01A21) et termine par la dernière position du hall G (PRF1G23H24). Les numéros de position se suivent par ordre croissant, comme l'illustre la figure ci-dessous, représentant schématiquement une partie des emplacements d'une allée double du hall F.

PRF1F07A21 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A22 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A23 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A24 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A25 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A26 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A27 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F07A28 B/C/D/E/F/G/H
PSF1F051							
PRF1F08A56 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A55 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A54 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A53 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A52 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A51 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A50 B/C/D/E/F/G/H	PRF1F08A49 B/C/D/E/F/G/H

Figure 52 : Exemple d'une partie d'allée
Source : Données Van Mieghem Logistics

Le préparateur a la possibilité de prélever la quantité requise d'un article sur un autre colis que celui proposé initialement par le WMS. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour les articles stockés dans les zones de stockage au sol. En effet, dans ces zones, certains colis ne sont pas accessibles directement, à cause d'autres colis stockés autour ou sur le colis prévu pour le picking.

L'opérateur doit, en fonction des articles à prélever, organiser la palettisation. En effet, certains articles doivent impérativement être posés sur la palette même ou ne peuvent en tout cas pas être posés sur certains autres articles car cela pourrait endommager la marchandise. C'est par exemple le cas des plateaux en pierre ou en bois qui peuvent peser plus de 50 kg. Il est également possible que le préparateur doive utiliser plusieurs palettes pour une même commande. Dans ce cas, il doit retourner à la zone de bureaux et imprimer une nouvelle étiquette palette.

Emballage/palettisation

Une fois la préparation terminée, le préparateur clôture la commande sur son scanner (et donc dans le WMS). Les palettes contenant les articles prélevés doivent alors être filmées. Le travail de palettisation a normalement déjà été effectué durant la préparation de la commande, comme expliqué ci-dessus. Les documents de transport (bon de livraison entre autres) sont également collés sur la palette avant que celle-ci ne soit entreposée en zone tampon en attente de chargement.

Envoi

Le travail des opérateurs se termine lorsque les palettes sont chargées dans le camion adéquat. Le transport peut être opéré par Van Mieghem ou par un tiers (souvent le client de LEP ou ECF). On parle dans ce cas d'un enlèvement plutôt que d'un transport.

2. Description du problème

Quiconque visite l'entrepôt de Fleurus comprendra que des améliorations sont nécessaires : des palettes entravent les allées de service par manque de place, la zone tampon est surchargée, les zones de stockage au sol sont gérées de manière chaotique, on retrouve à différents endroits des articles non-étiquetés, cassés, la gestion des déchets est presque inexistante, etc. Tout cela donne une image négative de l'entrepôt et engendre une ambiance de travail peu motivante.

L'objectif de ce chapitre est de formaliser la description de ces problèmes et de poser un diagnostic général de l'état de l'entrepôt. Pour ce faire, la méthodologie du WAST proposée par de Koster (2008) est mobilisée. La suite de ce chapitre est donc consacrée à l'analyse du résultat obtenu lors de la première visite en août 2018. Pour rappel, cette méthodologie propose d'analyser l'état général de l'entrepôt au travers de 11 catégories différentes et de noter chacune d'elles (pour un score maximal de 11). On obtient le score total en additionnant les résultats de chaque catégorie. Ce score permet de rendre compte de l'état de l'entrepôt : un score peu élevé indique que des améliorations sont possibles. (de Koster M. , 2008)

2.1. Résultat global

Le score total obtenu est de 31, soit 25,6% du maximum possible (121). Le questionnaire et la grille d'analyse sont reportés en annexe 4. Il apparaît clairement que des améliorations peuvent être apportées. Cependant, la question est de savoir, d'après la méthode utilisée, quels sont les points critiques qui nécessitent le plus d'attention. Pour ce faire, l'analyse de chacune des 11 catégories est détaillée ci-dessous.

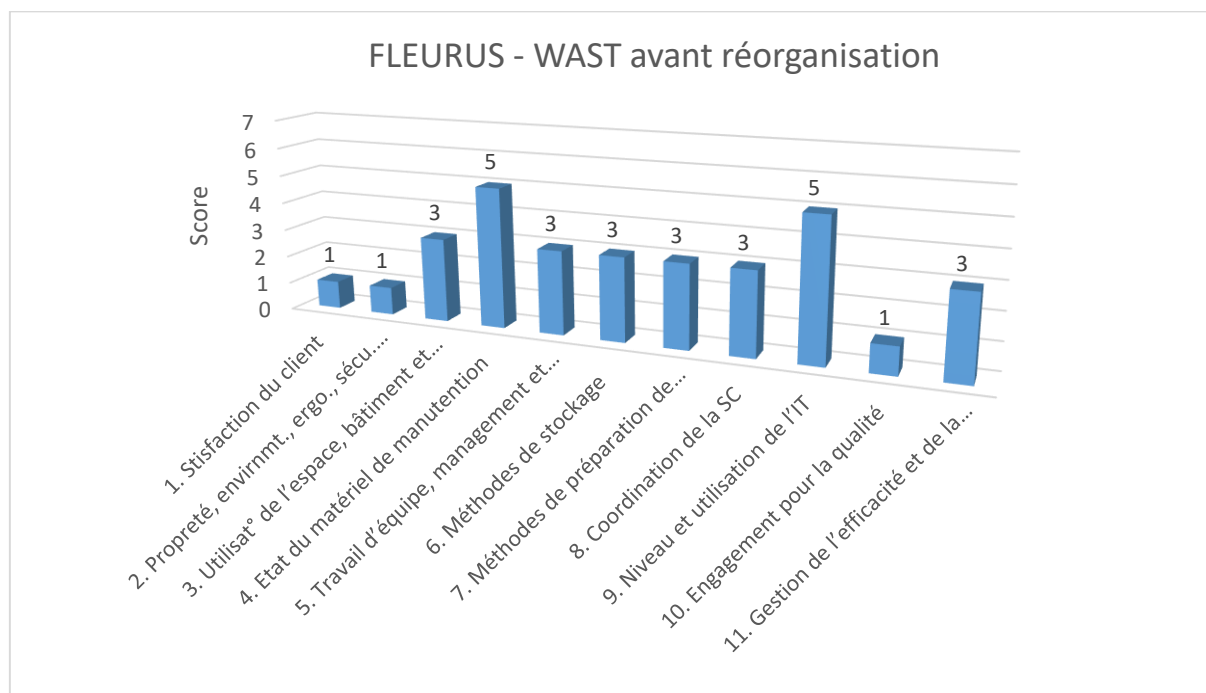


Figure 53 : Résultat du WAST avant réorganisation

Source : de Koster, M. (2008). Warehouse Assessment in a Single Tour. [Chapitre de livre] Dans Facility Logistics. *Approaches and Solutions to Next Generation Challenges* (p. 39 60). New-York: Auerbach - Taylor & Francis Group.

2.2. Détail des résultats par catégorie

2.2.1. Satisfaction du client

Aucun outil de management visuel n'est utilisé. Par exemple, on ne retrouve pas de tableau de bord reprenant les objectifs à la journée ou au mois accessible aux opérateurs. Cela est peut-être dû à l'arrivée au compte-goutte des commandes, ne permettant pas de mettre en place ce genre d'outils. Par ailleurs, les opérateurs ne semblent pas conscients des impacts d'erreurs de préparation, outre le fait que ces erreurs peuvent engendrer des retours.

2.2.2. Propreté, environnement, ergonomie, sécurité et hygiène

La propreté est certainement un des problèmes majeurs dans l'entrepôt. L'utilisation de chariots frontaux au gaz dégage beaucoup de poussière (à cause des freins). Dès lors, l'entrepôt est globalement très sale. Cependant, les chariots à gaz ont récemment été remplacés par des chariots électriques, ce qui devrait aider à l'amélioration de l'état de propreté. La gestion des déchets est également particulièrement critique. Si un compacteur à cartons est bien disponible, il est situé relativement loin des quais, à l'extérieur de l'entrepôt. A l'intérieur, aucun container n'est réellement disponible pour les déchets. Ce sont des caisses en carton récupérées qui font office de poubelles. On en trouve uniquement près des quais du hall F. Par contre, le niveau de bruit n'est pas excessivement élevé.

On remarque également que plusieurs articles endommagés sont entreposés à l'arrière de l'entrepôt. Il peut s'agir d'articles provenant de retours ou de casse ayant eu lieu lors de manutentions dans l'entrepôt. Dans tous les cas, ces articles ne semblent pas tous être étiquetés, ce qui signifie qu'ils occupent de l'espace inutilement.



En termes d'ergonomie, les scanners utilisés sont globalement assez intuitifs et le design du processus de préparation de commandes ne demande que peu d'entrées manuelles par le clavier du scanner, ce qui rend son utilisation assez simple. Cependant, en termes de scannage, le problème d'ergonomie se trouve plutôt au niveau des étiquettes de localisation. En effet, lorsque les opérateurs procèdent à la mise en stock, ils doivent scanner le code-barres de la position pour renseigner dans le WMS la position à laquelle ils déposent la palette. Le problème de ces étiquettes est que les codes des différents niveaux sont très proches les uns des autres, ce qui rend les erreurs de scannage assez fréquentes.

Figure 54 : Etiquette de position

La sécurité est également un aspect pouvant être amélioré. En effet, on n'a par exemple aucune différenciation entre les parties des allées dédiées aux piétons et celles dédiées aux chariots élévateurs. Cependant, le problème est atténué par la largeur des allées (3m20 pour les allées de service et 3m50 pour les allées de passage).

Enfin, étant donnée la nature des produits, aucun problème d'hygiène ne semble crucial dans l'entrepôt.

2.2.3. Utilisation de l'espace, état du bâtiment et installations techniques

L'état général du bâtiment semble correct et le layout de l'entrepôt est bien en « U » plutôt qu'en « I », ce qui implique une meilleure performance d'après de Koster (2008). Cependant, la congestion est le problème opérationnel le plus important dans l'entrepôt. Des allées entières sont entravées par des marchandises ne pouvant pas être stockées ailleurs, faute de disponibilité des emplacements. Au vu du nombre conséquent d'allées de service entravées, le picking est relativement compliqué et peu productif.

Par ailleurs, l'organisation des allées telle que décrite plus haut (cf. supra. p. 65) implique qu'il est possible que les préparateurs doivent faire demi-tour dans l'allée. En effet, en considérant l'exemple de la figure 52, si le préparateur doit prélever une pièce aux positions 21 et 28 de l'allée 07, et à la position 56 de l'allée 08, le préparateur sera amené par le WMS à revenir sur ses pas. En effet, il lui proposera d'abord les positions de l'allée 07 et ensuite de l'allée 08. Or, des déplacements pourraient être évités s'il visitait la position de l'allée 08 entre les deux positions de l'allée 07.

2.2.4. Etat du matériel de manutention

Les chariots élévateurs semblent globalement bien entretenus et aucun problème majeur y afférant n'a été relevé.

2.2.5. Travail d'équipe, management et motivation

Si le déchargement et le chargement peuvent se faire par équipe, le picking est une tâche individuelle. En effet, le WMS ne permet pas d'assigner plusieurs préparateurs à une même commande. En d'autres termes, le picking par article n'est pas prévu dans cet entrepôt. Cependant, les opérateurs sont capables d'opérer toutes les activités classiques.

2.2.6. Méthodes de stockage

Concernant le stockage, la politique suivie est de type « partagé » si l'on s'en tient aux définitions. Cependant, les opérateurs tentent, dans la mesure du possible, de ranger les articles d'un même type dans une zone commune. Il est cependant criant que le stockage d'un point de vue global n'est pas optimal. En effet, comme évoqué plus haut, beaucoup de marchandises doivent être entreposées dans les allées de service, par manque de place.

Concernant les systèmes de stockage à proprement parlé (racks et stockage au sol), il semble que l'utilisation des deux systèmes soit justifiée par le type de marchandises. En effet, certaines sont trop volumineuses pour entrer dans les racks, ce qui rend un deuxième système indispensable.

Enfin, la question de la gestion des niveaux de stocks ne se pose pas directement dans le cas de l'entrepôt de Fleurus. En effet, ce sont les clients qui choisissent les niveaux de stock pour chaque article.

2.2.7. Méthodes de préparation de commandes

Comme évoqué plus haut, la préparation des commandes n'est pas automatisée et s'opère grâce à un scanner. D'autre part, le préparateur se déplace au moyen d'un chariot à mat rétractable. Le point critique se situe au niveau de la palettisation qui doit absolument être fluidifiée. On pourrait également envisager l'automatisation de certains aspects du picking.

2.2.8. Coordination de la supply chain

Au point de vue de la coordination avec les acteurs externes à l'entrepôt (à savoir les clients et les transporteurs externes), on peut relever deux principaux points d'amélioration potentiels.

Tout d'abord, le packaging de certains articles (piles de chaises et plateaux) est problématique. Celui des piles de chaises, détaillé plus haut, rend le contrôle de la qualité et des quantités plus complexe. En ce qui concerne les plateaux, ils manquent eux de protection individuelle et le transport (en camion depuis le fournisseur ou dans l'entrepôt même) engendre des dégâts fréquents.

Par ailleurs, la coordination avec les acteurs externes à Van Mieghem livrant des marchandises pourrait être améliorée. En effet, comme expliqué plus haut, même s'ils doivent normalement prendre rendez-vous, il est fréquent que des camions arrivent sans qu'ils soient annoncés.

2.2.9. Niveau et utilisation de l'IT

Le WMS a été développé en interne et peut être adapté en cas de besoin. Il semble adapté aux besoins actuels ou, en tout cas, n'est pas le problème majeur que rencontre l'entrepôt. Le matériel informatique semble également maîtrisé et utilisé à bon escient par les opérateurs.

2.2.10. Engagement pour la qualité

Lors de la mise en stock, rien n'empêche l'opérateur de localiser la marchandise sur une position erronée (notamment en raison des étiquettes de position). Lors du picking, le colis doit être scanné, ce qui prévient des erreurs sur la nature du produit prélevé. Cependant, lorsque la quantité à prélever est relativement importante, le colis peut être scanné une fois et le nombre de pièces peut être confirmé manuellement. Cette particularité peut être source d'erreurs, même si, d'après les opérateurs, cela ne semble pas être le cas. Cependant, aucune mesure de type poka-yoke n'est actuellement mise en place pour limiter les erreurs.

2.2.11. Gestion de l'efficacité et de la flexibilité

Dans l'entrepôt de Fleurus, l'efficacité semble avoir été sacrifiée pour répondre aux exigences des clients. Un exemple frappant est le cas de l'enlèvement client. Lorsqu'un client de LEP désire retirer lui-même les articles commandés à l'entrepôt (plutôt que de payer la livraison), il peut se rendre directement à l'entrepôt pour retirer ses articles. Le problème réside dans le fait qu'il arrive régulièrement que LEP prévienne par téléphone le responsable dépôt qu'un enlèvement va avoir lieu, qu'il lui communique (toujours par téléphone) les articles et les quantités à prélever mais que la sortie de stock informatique soit encodée informatiquement seulement après que la sortie de stock physique ait eu lieu. En d'autres termes, il est demandé aux opérateurs de sortir *physiquement* des articles du stock avant même que l'ordre *informatique* n'ait été communiqué. Cela peut mener à des écarts d'inventaire conséquents si l'ordre informatique n'est pas effectivement envoyé.

2.3. Conclusion

L'état général de l'entrepôt est clairement problématique. Le manque de propreté et la congestion sont les éléments les plus marquants lors d'une visite de l'entrepôt. Cependant, lorsqu'on s'intéresse plus en détail au déroulement des opérations, il apparaît que d'autres éléments comme l'organisation du chemin de picking ou la gestion des arrivées sont également à revoir. Le score de 31 sur 121 révèle la nécessité d'une réorganisation de l'entrepôt de Fleurus.

3. La réorganisation

Après avoir exposé les problèmes auxquels l'entrepôt de Fleurus fait face dans le chapitre précédent, celui qui suit est consacré aux actions mises en œuvre dans le cadre de la réorganisation de l'entrepôt. Globalement, l'objectif recherché au travers de ce projet est d'améliorer la productivité de l'entrepôt, soit d'augmenter le ratio entre le niveau d'activité globale et les forces mobilisées pour atteindre ce niveau. (Hohmann, 2009) Les lignes qui suivent dépeignent les différentes modifications apportées dans l'entrepôt afin d'atteindre ces objectifs.

3.1. Ajout de racks

Un des problèmes énoncés ci-dessus était le manque de place pour stocker des palettes. Dès lors, la première mesure d'amélioration fut l'ajout de racks de stockage dans les zones jusque-là consacrées au stockage au sol. Deux types de systèmes ont été envisagés : des racks de stockage classiques et des racks d'accumulation.

3.1.1. Racks de stockage classiques

Ces racks ont été ajoutés dans le prolongement des allées existantes du hall G. Au total, l'équivalent d'une allée de 32 emplacements dans la zone de stockage au sol du hall et une autre allée de 120 emplacements le long des quais ont été installées. A raison de 5 niveaux par emplacement, on a donc une augmentation de la capacité de stockage en racks de l'ordre de 760 emplacements palettes. La surface disponible pour le stockage au sol dans le hall G a elle diminué de 44%, l'espace ayant été pris par les racks. Un plan illustrant la nouvelle configuration est annexé au travail (annexe 8)

Tableau 7 : Résultat de l'ajout de racks (hall G)

	Variation absolue	Variation relative (hall G)
Emplacements pour palettes (racks)	+ 760 <i>emplacements</i>	+ 10,27 %
Surface de stockage	– 80 <i>m²</i>	– 44 %

Source : Données Van Mieghem Logistics

3.1.2. Racks d'accumulation

Les racks d'accumulation combinent les avantages du rayonnage et du stockage au sol. En effet, ils sont prévus pour stocker des palettes en gagnant un maximum de place. Un tel système permet d'augmenter la capacité de stockage en utilisant la hauteur de l'entrepôt. Par ailleurs, il améliore aussi la sécurité du stockage : des palettes empilées les unes sur les autres ont plus de probabilité de tomber que des palettes stockées dans des racks.



L'ajout de racks d'accumulation a été envisagé pour remplacer une zone de stockage au sol du hall F. Cependant, le coût de l'investissement était trop important par rapport au gain potentiel de capacité de stockage. L'idée a donc été abandonnée.

Figure 55 : Racks d'accumulation

Source : Merialrack. (s.d.). *Rack d'accumulation*. Récupéré le 2 mai 2019, à l'adresse <http://www.merial-rack.fr/rack-accumulation-merial.p136.html>

3.2. Optimisation du stockage au sol

Dans le hall F, les zones de stockage au sol ne sont pas toutes les deux destinées au même type de marchandise. En effet, celle de gauche (à côté de la zone de bureaux) est principalement destinée à des palettes pouvant être superposées. Celle de droite est par contre utilisée pour les articles n'étant pas stockés sur palettes, principalement des piles de chaises.

L'objectif pour cette partie de l'entrepôt était d'optimiser la surface à disposition. En effet, avec le temps, les articles stockés se sont rapprochés des quais, à un tel point que l'utilisation de ceux situés face à la zone de stockage au sol est devenue impossible. En d'autres termes, il fallait réorganiser la manière dont les articles étaient entreposés pour récupérer de l'espace face aux quais. Le gain est illustré dans la figure ci-dessous. Les lignes colorées représentent les articles rangés en ligne (une couleur par article). Avant la réorganisation de la zone, l'espace perdu (entre la fin des lignes et le couloir) est considérable pour les articles avec peu de pièces en stock. En effet, ils mobilisent le même espace qu'une ligne complète (schéma de gauche). Le changement de sens des plus petites lignes réduit l'espace qui leur est alloué, ce qui limite les pertes d'espace (schéma de droite). En pratique, la surface occupée par le stockage au sol a été réduite de 15%, ce qui a permis d'agrandir la zone tampon et de distinguer la zone tampon des arrivées et des sorties.

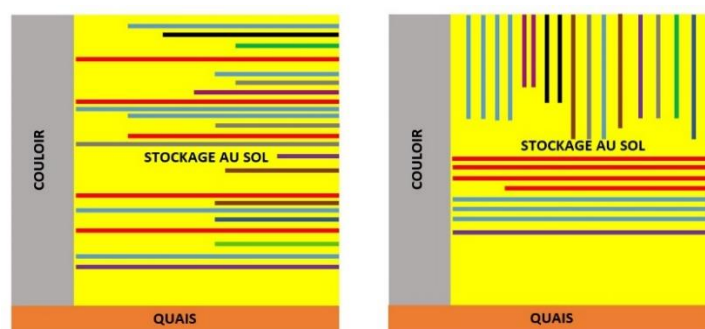


Figure 56 : Zone de stockage au sol avant (gauche) et après (droite) réorganisation

3.3. Gestion des obsolètes

Une analyse des rotations des stocks de LEP a été réalisée dans le but d'identifier et de sortir les articles obsolètes du stock, afin de libérer de l'espace pour les articles présentant des rotations plus élevées. Parmi l'ensemble du stock, ont été considérés comme obsolètes les articles ayant une date d'entrée dans l'entrepôt antérieure au 1^{er} juillet 2017 et pour lesquels aucune sortie de stock n'a été enregistrée sur les 12 derniers mois.

Tableau 8 : Résultats de l'analyse des rotations

	Colis	Ratios
Stock	6.578	-
Obsolètes	362	5,50%
Sortis du stock	238	65,75%

Source : Données Van Mieghem Logistics

5,5% du stock (362 colis) ont été identifiés comme obsolètes. Parmi ces obsolètes communiqués à LEP, 65,75% (238 colis) étaient sortis du stock au 25 mars 2019. Cela représente 3,60% du stock initial.

Par ailleurs, un inventaire complet du stock de LEP a été réalisé pour la première fois depuis 7 ans. Il en est notamment ressorti que 47 colis étaient physiquement dans le stock mais avaient été sortis du stock informatique. Dès lors, ils occupaient des emplacements dans les racks sans être pris en compte dans la facturation et représentaient donc une perte sèche pour Van Mieghem. Ces articles ont donc été réintégrés au stock informatique et communiqués au client, qui a décidé d'en détruire 45.

Au total, ce sont donc 283 colis qui ont été évacués de l'entrepôt et presque autant d'emplacements libérés dans les racks.

3.4. Resserrage du stock

Si chaque colis correspond à un seul et même article, l'inverse n'est pas forcément vrai. En d'autres termes, un article peut être présent dans l'entrepôt sous différents colis et donc à différents endroits. Étant donné que les préparateurs peuvent utiliser la fonction « Autre colis » au moment du prélèvement, il est possible que les quantités stockées dans différents colis diminuent simultanément.

Une des particularités communes à tous les articles du dépôt de Fleurus (que ce soit pour LEP ou ECF) est qu'ils ne sont pas sujets à des dates d'expiration comme c'est par exemple le cas pour les produits alimentaires. Dès lors, toujours dans un but de libérer des emplacements dans les racks, un resserrage du stock a été opéré. Pour ce faire, il a fallu identifier informatiquement les articles stockés sur plusieurs palettes incomplètes (c'est-à-dire les colis sur lesquels des prélèvements avaient déjà été opérés). Ensuite, dans l'entrepôt, ces colis ont été rassemblés sur une seule et même palette, dans la mesure du possible.

Tableau 9 : Résultat du resserrage

	Pièces (U3)	Nombre de positions	Densité (U3/position)
Avant resserrage	7.387	487	15,17
Après resserrage	7.387	185	39,93

Source : Données Van Mieghem Logistics

Le resserrage a été doublement bénéfique. Tout d'abord, il a permis de libérer 302 emplacements dans les racks. Ensuite, la densité de ces articles est passée de 15,17 à 39,93 pièces par emplacement, soit une augmentation de 163%. Or, on sait que plus la densité est élevée, moins les distances moyennes parcourues lors de la préparation des commandes sont élevées et plus le picking est opéré efficacement. (Bartholdi & Hackman, 2017)

3.5. Chemin de picking

L'organisation du chemin de picking n'est pas optimale, comme déjà été évoqué dans la catégorie consacrée à l'utilisation de l'espace. En bref, les préparateurs peuvent être amenés à faire demi-tour dans une allée, ce qui augmente automatiquement les distances parcourues lors du picking. L'objectif de la mesure présentée ci-dessous est donc d'améliorer le chemin de picking et, en particulier, d'éviter aux préparateurs les demi-tours inutiles.

Pour rappel, la configuration initiale consistait à avoir un numéro d'allée par côté d'allée de service. Par exemple, dans la figure 52, un des côté de l'allée de service est l'allée 07 et l'autre est la 08. Dans la nouvelle configuration, les numéros d'emplacements pairs sont à gauche de l'allée de service, tandis que les impairs sont à droite. Cependant, pour des raisons techniques propres au WMS, le numéro d'emplacement dans une allée ne peut pas excéder 99. Le nouveau système implique donc que deux numéros d'allées peuvent se suivre dans une seule et même allée de service, mais toujours en respectant la règle des numéros pairs à gauche et impairs à droite. Dans la figure ci-dessous, l'allée 05 s'arrête à l'emplacement 76, puis l'allée 06 commence à la suite, toujours physiquement dans la même allée de service.

PRF1G05A74 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G05A76 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G06A02 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G06A04 B/C/D/E/F/G/H
PRF1G05A73 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G05A75 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G06A01 B/C/D/E/F/G/H	PRF1G06A03 B/C/D/E/F/G/H

Figure 57 : Extrait d'une allée du hall G (nouvelle configuration)

Source : Données Van Mieghem Logistics

Par ailleurs, dans le hall F, l'ordre des allées a été modifié. Initialement, l'allée 01 se situait contre le hall G. Or, le point de départ des préparateurs se situe près des quais. Dès lors, c'est logiquement à l'allée la plus proche des quais que le numéro 01 a été attribué.

Enfin, les anciennes étiquettes de position ont été remplacées par des étiquettes magnétiques et colorées. Le positionnement des codes-barres en quinconce permet de limiter les erreurs de scannage lors de la mise en stock. D'autre part, le magnétisme permet une certaine mobilité de l'étiquette de position, utile par exemple lors de l'inventaire.

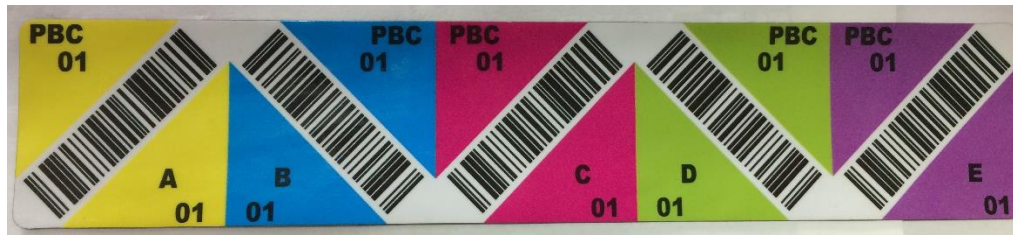


Figure 58 : Nouvelle étiquette de position

3.6. Politique de stockage

Un travail a été fait concernant la position de certains articles dans les racks, afin de faciliter la palettisation. Formellement, la politique de stockage n'a pas changé, les articles n'étant pas attribués à une zone de l'entrepôt ou un emplacement précis dans le WMS. Toutefois, en pratique, les articles se sont vus attribuer des zones particulières dans l'entrepôt. En effet, comme mentionné plus haut, la palettisation est une tâche complexe, au vu des caractéristiques des articles présents dans le stock. Certains comme les plateaux de table sont particulièrement lourds, ils doivent donc impérativement être les premiers articles posés sur la palette. Inversement, d'autres sont trop légers pour supporter le poids d'autres articles et doivent donc être positionnés sur le haut du chargement.

D'autres facteurs que le poids sont entrés en ligne de compte pour établir le classement mais, globalement, ce dernier a été réalisé grâce à l'expérience du responsable d'entrepôt. Ce sont en effet son avis personnel et sa connaissance des marchandises qui ont guidé les choix de la réorganisation du stock. Par contre, le taux de rotation des articles n'a pas été pris en compte pour le choix des zones d'emplacements allouées aux articles.

3.7. Picking & palettisation

Le réarrangement du stock évoqué ci-dessus avait déjà pour but de faciliter la palettisation pendant le picking. Cependant, l'objectif était de séparer la tâche de préparation de commande (picking des articles) et celle de palettisation. En effet, les clients sont facturés au prorata du nombre de pièces préparées. Dès lors, le surplus de travail relatif à la palettisation n'est actuellement pas valorisé.

Pour valoriser la tâche de palettisation, il faut donc que des opérateurs soient assignés au prélèvement des articles tandis que d'autres s'occupent de palettiser correctement. De cette manière, la tâche annexe de palettisation peut être créée en parallèle à celle de préparation de commande et facturée au client tous les mois. Si, globalement, cette solution semble simple, elle se heurte aux contraintes des processus système établis. En d'autres termes, la configuration actuelle du WMS ne permet pas de mettre en œuvre cette séparation des tâches.

Lors du prélèvement, le code-barres du colis prélevé doit être scanné, ce qui permet de mettre à jour les quantités en stock de chaque colis. De plus, les articles prélevés sont attribués à une étiquette palette, toujours au moyen du scanner. Dès lors, si le préparateur choisit de répartir la commande sur trois palettes par facilité, le palettiseur pourrait regrouper physiquement les trois palettes en une. Cependant, informatiquement, il faudra faire correspondre les étiquettes colis à l'étiquette palette correcte. En effet, si ce n'est pas le cas, les documents de transport indiqueront la présence de trois palettes plutôt qu'une. Dès lors, il est probable que le client inspecte en détail les marchandises à la livraison, pour vérifier que les quantités sont bien correctes. Cela engendrerait une perte de temps considérable.

Une solution pourrait être de donner au palettiseur l'accès à la liste des colis scannés, ce qui n'est, en pratique, pas possible. En effet, une liste des colis à scanner peut être imprimée avant que le prélèvement ait lieu mais il n'est en revanche pas possible d'accéder à la liste des colis effectivement prélevés avant que la commande ne soit clôturée (donc après la palettisation). Or, la fonction « Autre colis » mentionnée plus haut étant souvent utilisée dans l'entrepôt de Fleurus, il est fréquent que la liste des colis pouvant être générée *ex-ante* ne reprenne pas les colis effectivement prélevés.

La dernière possibilité pour valoriser le travail de palettisation serait d'augmenter drastiquement le prix de la pièce prélevée facturé aux clients. De cette manière, les deux activités ne devraient pas être séparées au sein de l'entrepôt et dans le WMS mais le surplus de travail engendré par la palettisation serait tout de même facturé indirectement aux clients.

3.8. Autres

D'autres améliorations ont été apportées pour améliorer la situation générale de l'entrepôt. Ainsi, le sol a été nettoyé et de grands bacs sur roulettes faisant office de poubelles ont été installés dans l'allée de circulation.

Par ailleurs, LEP a entamé une réflexion sur le packaging de ses produits, notamment pour les plateaux de table. Ces-derniers sont à présent mieux protégés individuellement. Cela permet de limiter les risques de casse lors des transports.

Enfin, sans être liée directement au projet de réorganisation de l'entrepôt de Fleurus, l'arrivée d'un responsable des ressources humaines et matérielles sur le terrain a permis d'augmenter le suivi et le contrôle des activités dans l'entrepôt. Cette personne a notamment pour rôle de dispatcher optimalement les opérateurs disponibles. Ainsi, lorsque l'activité d'un entrepôt diminue, il peut envoyer certains opérateurs en renfort sur d'autres sites.

3.9. Conclusion

Pour conclure ce chapitre consacré à la réorganisation pratique de l'entrepôt, une analyse réflexive des actions mises en œuvre est proposée. Si la réorganisation semble globalement avoir amélioré la situation de l'entrepôt, l'analyse des résultats en termes de productivité notamment sera l'objet du chapitre suivant. Il s'agit ici de porter un regard critique sur les actions mises en œuvre plutôt que de proposer des solutions supplémentaires (ce dont il sera l'objet dans le chapitre consacré aux recommandations). Cette analyse est également l'occasion de mobiliser certains éléments théoriques développés dans la première partie de ce travail.

Tout d'abord, d'un point de vue global, il apparaît que les actions menées sont orientées « résultats » plutôt que « méthode » (Hohmann, 2009) En effet, la réorganisation a été menée sous contrainte d'un certain timing : il était nécessaire d'obtenir des résultats avant le début de la haute saison, soit avant la fin du mois de mars. Par ailleurs, une grande partie de la réorganisation s'est basée sur l'expérience des opérateurs et du management.

Concernant le stockage au sol, si le changement d'orientation de certaines lignes d'articles a bien permis de gagner de l'espace près des quais, il pourrait être intéressant de travailler à l'optimisation de la profondeur des rangées de stockage, en utilisant la théorie présentée dans le point sur la structure technique. (Bartholdi & Hackman, 2017) Cependant, la formule proposée demande de connaître la quantité par commande de chaque article (q_i), qui peut varier fortement et est donc difficilement approchée par une valeur. Par ailleurs, l'espace disponible (1100 m²) ne semble, en pratique, pas suffisamment étendu pour qu'une telle optimisation soit pertinente.

Le chemin de picking n'était absolument pas organisé de manière optimale. Si les changements apportés permettent effectivement de diminuer les distances parcourues, il n'en reste pas moins que certains déplacements inutiles persistent. Ces derniers sont dus au layout de l'entrepôt. En effet, dans le hall G, les allées de service se terminent face au mur de l'entrepôt. Si le préparateur doit aller prélever un article entre l'allée de circulation et la fin de l'allée de service, il devra dès lors automatiquement faire demi-tour pour continuer la préparation de sa commande. Cependant, la nouvelle configuration assure qu'il ne devra plus prélever d'article dans l'allée une fois le demi-tour opéré. D'autre part, elle limite également les possibilités de demi-tours aux extrémités des allées du hall G (entre les allées de circulation et les murs). Ce cas illustre très bien l'existence d'une hiérarchie dans les décisions évoquée au début de ce travail. Ici, le layout de l'entrepôt (décision stratégique) contraint l'organisation du chemin de picking (décision tactique).

Enfin, concernant la politique de stockage, on sait que les articles se sont vus attribuer une certaine zone de stockage en fonction du jugement des opérateurs et en particulier du responsable d'entrepôt. Cependant, pour formaliser la réflexion, une technique comme celle proposée par Dharmapriya et Kulatunga (2011) et évoquée dans le point théorique consacré aux politiques de stockage pourrait être mise en application. Dans ce contexte, l'expérience du responsable d'entrepôt pourrait être utile pour déterminer les variables servant à déterminer le facteur F. Par ailleurs, l'analyse des rotations pourrait également entrer en ligne de compte. Par exemple, après avoir catégorisé les articles en classes A, B et C, ces dernières pourraient être intégrées à l'équation servant à déterminer le facteur F sous la forme de variables discrètes. Le poids de la variable A serait plus important que celui de la B, qui serait lui-même plus important que la C, afin d'attribuer une plus grande valeur au facteur F des articles avec des rotations importantes (classe A).

Partie III : Résultats

Après avoir consacré la partie précédente à décrire en détails la situation ainsi que les actions entreprises pour l'entrepôt de Fleurus, l'objectif de cette partie est d'analyser les résultats obtenus suite à la mise en œuvre de la réorganisation. Il s'agit d'une première étape dans la prise de recul et l'analyse critique qui constitue le cœur de la partie suivante consacrée aux recommandations.

L'analyse des résultats est divisée en deux chapitres principaux. Tout d'abord, l'évolution de l'état général de l'entrepôt est appréciée grâce à une nouvelle application de la méthode de de Koster (2008), le « Warehouse assessment in a single tour ». Ensuite, les changements en termes de productivité sont analysés grâce aux KPI.

1. Warehouse Assessment in a Single Tour (WAST)

Lors de la définition du problème, la méthode de de Koster (2008) a été mobilisée dans le but de formaliser les problèmes rencontrés au sein de l'entrepôt. Le propos de ce chapitre est d'appliquer une nouvelle fois la méthode et d'exposer les changements notables.

1.1. Résultat global

Au vu du résultat obtenu avec cette méthode, il apparaît clairement que la réorganisation a amélioré la situation générale de l'entrepôt. En effet, le score passe de 31 (26% du total) à 53 (44%) (sur un maximum possible de 121), soit une augmentation de 18%. L'amélioration est donc significative, malgré qu'il reste clairement des améliorations possibles. La nouvelle grille d'analyse ainsi que le questionnaire sont reportés en annexe 5.

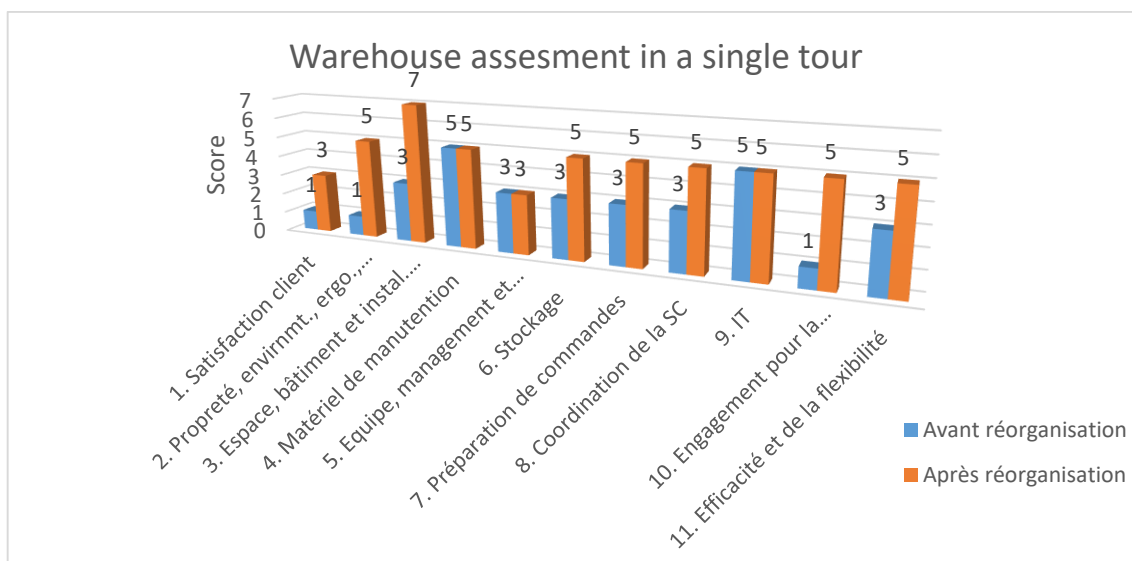


Figure 59 : WAST après réorganisation

Source : de Koster, M. (2008). Warehouse Assessment in a Single Tour. [Chapitre de livre] Dans Facility Logistics. *Approaches and Solutions to Next Generation Challenges* (p. 39 60). New-York: Auerbach - Taylor & Francis Group.

1.2. Détail des résultats par catégorie

1.2.1. *Satisfaction du client*

Aucun outil de management visuel n'a été intégré. Cependant, l'esprit de travail général semble s'être amélioré en ce sens que les opérateurs paraissent plus impliqués, plus motivés. Les changements dans l'environnement de travail n'y sont certainement pas étrangers. Toutefois, des améliorations restent possibles quant à l'implication des travailleurs.

1.2.2. *Propreté, environnement, ergonomie, sécurité et hygiène*

Le nettoyage des allées, combiné au travail sur le stock (sorties des obsolètes, resserrage, etc.) donne une impression générale plus nette qu'auparavant. Cependant, la plupart des articles en stock sont encore couverts de poussière, ce qui nuance l'amélioration en termes de propreté. Par ailleurs, remplacement des étiquettes de position est un point positif pour l'ergonomie. En effet, les nouvelles étiquettes magnétiques facilitent le scannage des emplacements et évitent les erreurs.

1.2.3. *Utilisation de l'espace, état du bâtiment et installations techniques*

Très clairement, la plupart des actions de réorganisation menées avait pour objectif principal de supprimer toute congestion dans les allées de service. Après avoir mené à bien le projet, il apparaît que cet objectif est atteint. En effet, il est devenu très rare de devoir positionner des palettes dans les allées de service. Cette disparition de la congestion est sans aucun doute l'amélioration la plus marquante de la réorganisation.

D'autre part, la modification de l'organisation des numéros des allées et d'emplacements a rendu le chemin de picking plus optimal. Cependant, le layout de l'entrepôt et en particulier l'impossibilité de changer d'allée au bout des allées de service du hall G implique toujours des déplacements inutiles lors du picking.

1.2.4. *Etat du matériel de manutention*

Aucun changement notable n'a été constaté.

1.2.5. *Travail d'équipe, management et motivation*

Aucun changement notable n'a été constaté.

1.2.6. Méthodes de stockage

Concernant les méthodes de stockage, si les racks d'accumulation ont été envisagés pour remplacer une partie de la zone de stockage au sol, cette solution s'est avérée trop onéreuse. L'ajout de racks dans le hall G et le travail sur la politique de stockage sont des facteurs ayant fortement influencé l'amélioration générale constatée.

1.2.7. Méthodes de préparation des commandes

Le travail sur les emplacements des articles dans les racks a permis de diminuer les difficultés rencontrées pour la palettisation. La solution pour séparer les tâches de palettisation et de picking n'a pas été trouvée mais elle contribuerait également à fluidifier la préparation des commandes. De plus, elle permettrait de facturer plus justement le travail engendré par les commandes de LEP et ECF.

1.2.8. Coordination de la supply chain

Le travail avec LEP sur le packaging de certains articles a permis de fluidifier les opérations dans l'entrepôt. Des améliorations restent cependant possibles.

1.2.9. Niveau et utilisation de l'IT

Aucun changement notable n'a été constaté.

1.2.10. Engagement pour la qualité

Si des erreurs restent toujours possibles, notamment lors de la réception ou de la préparation de commandes, le changement de mentalité au sein de l'entrepôt semble être un facteur favorable pour l'amélioration de la qualité. Toutefois, aucune mesure ne permet de supporter cette affirmation.

1.2.11. Gestion de l'efficacité et de la flexibilité

Si la satisfaction du client reste toujours la priorité principale au sein de l'entrepôt, les règles ont été reprécisées avec LEP (notamment pour les enlèvements clients, évoqués dans la définition du problème). Cependant, l'esprit général au sein des opérateurs ne semble pas tourné vers l'amélioration continue. Ils s'en tiennent principalement aux améliorations déjà acquises, sans réellement chercher à suggérer de nouvelles pistes.

2. Mesure de la productivité (KPI)

Si la méthode présentée ci-dessus donne un aperçu global de l'état de l'entrepôt, il semble également important d'analyser la situation au moyen de données chiffrées, permettant une rigueur scientifique plus importante. Les lignes qui suivent sont donc consacrées à l'analyse de ces données.

La difficulté principale réside dans l'agrégation des données à l'échelle de l'entrepôt. En effet, le WMS permet d'extraire des données par client. Or, comme expliqué plus haut, les clients LEP et ECF présentent des différences majeures en termes de volumétrie. Par exemple, le nombre de pièces stockées par ECF se compte en millions alors que LEP est *seulement* à quelques milliers. Cependant, LEP occupe une majeure de l'entrepôt. Dès lors, la construction de KPI à l'échelle de l'entrepôt n'a pas été possible avec les données disponibles. Par ailleurs, les unités de mesures cohérentes pour LEP ne le sont pas forcément pour ECF. Par exemple, des mesures « à la pièce » font sens pour LEP car elles sont souvent volumineuses et lourdes. A l'inverse, une ligne de commande chez ECF représente souvent plus de 100 pièces. Des mesures « à la pièce » sont dès lors moins cohérentes pour ce client.

2.1. Productivité du picking

Comme mentionné dans la partie théorique du travail, il est communément reconnu que la préparation des commandes est l'activité de l'entrepôt requérant le plus de ressources. Dans cette partie, c'est donc la productivité du picking qui est analysée. Celle-ci est définie par le rapport entre le temps passé par les opérateurs à préparer les commandes et le volume de commandes traité. Si, conceptuellement, cette définition est assez simple, son analyse pratique se révèle plus compliquée.

A priori, on s'attend à observer une amélioration suite à la réorganisation. En effet, toutes les actions mises en œuvre devraient permettre aux opérateurs de traiter les commandes plus rapidement.

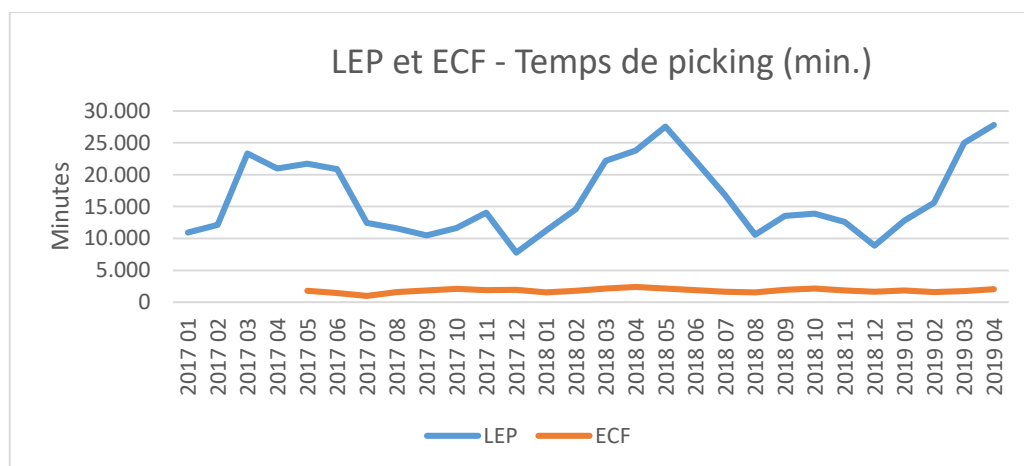


Figure 60 : LEP et ECF - Temps de picking

Source : Données Van Mieghem Logistics

Tout comme la proportion de l'entrepôt occupée par chaque client, il apparaît clairement que le temps alloué à la préparation des commandes est proportionnellement beaucoup plus important pour LEP qu'ECF. Ce résultat semble logique lorsqu'on sait que le nombre mensuel de commandes se situe entre 600 et 700 en haute saison tandis qu'il oscille toute l'année autour de 20 chez ECF (voir annexe 6). Il confirme par ailleurs l'importance de LEP par rapport à ECF dans l'entrepôt de Fleurus.

En ce qui concerne la productivité du picking, les données disponibles permettent de la calculer en minutes (ou secondes), par commande, par ligne de picking ou par pièce. Pour les raisons évoquées ci-dessus, la pièce est une unité pertinente pour LEP. En revanche, c'est la ligne de picking qui est utilisée pour ECF, ce qui rend l'agrégation au niveau de l'entrepôt impossible.

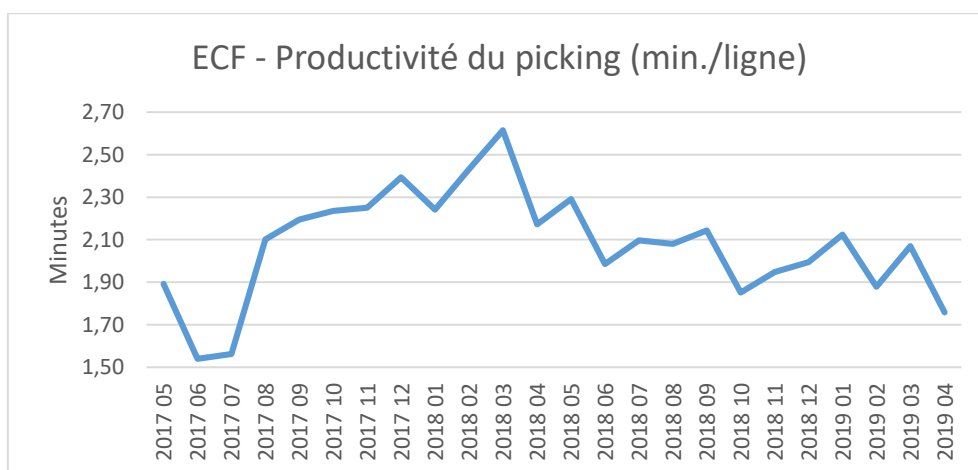


Figure 61 : ECF - Productivité du picking

Source : Données Van Mieghem Logistics

Chez ECF, on observe une tendance décroissante du temps de picking par ligne et donc une augmentation de la productivité. Cependant, on peut observer que cette tendance débute à partir de mars 2018. Or, la réorganisation de l'entrepôt de Fleurus n'a commencé qu'à l'été 2018. Dès lors, on ne peut pas affirmer avec certitude que les actions mises en œuvre sont effectivement l'élément déclencheur de cette hausse de productivité. Il y a cependant de grandes chances pour que la réorganisation ait favorisé l'amélioration de la productivité.

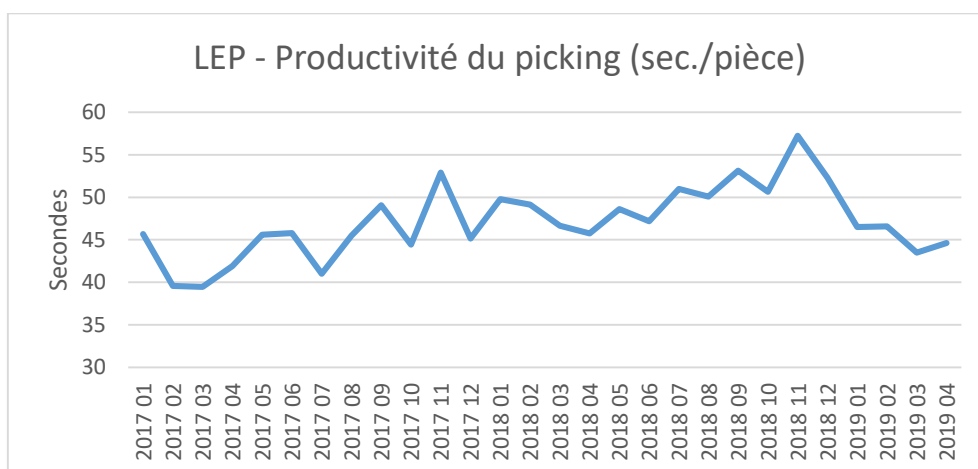


Figure 62 : LEP - Productivité du picking

Source : Données Van Mieghem Logistics

Par contre, pour LEP, on observe une diminution significative du temps moyen de picking à partir de novembre 2018 (voir graphique ci-dessus). Le resserrage du stock, la décongestion des allées et toutes les actions menées pour réorganiser l'entrepôt semblent ici avoir porté leurs fruits. D'autre part, le timing de cette diminution semble pouvoir être expliquée par deux facteurs :

- 1) Le moment où la productivité commence à augmenter correspond avec la conclusion du projet de réorganisation ;
- 2) L'arrivée de la haute saison à partir de mars, qui a pour effet d'augmenter la pression sur les opérateurs.

2.2. Productivité de l'activité globale

Si la productivité semble effectivement avoir augmenté pour l'activité principale de l'entrepôt (la préparation de commandes), il est intéressant d'également se pencher sur une productivité plus globale. L'idée ici est de mettre en relation le volume général d'activité avec la quantité de main d'œuvre mobilisée pour arriver à ce volume d'activité.

La meilleure approximation du volume total d'activité disponible en termes de données dans le WMS est le total du nombre de pièces entrées et sorties. Cependant, les données ne peuvent pas être agrégées entre ECF et LEP étant donné que l'écart en nombre de pièces ne reflète pas les différences en termes de volume d'activité. Autrement dit, on sait que LEP représente la majeure partie de l'activité de l'entrepôt. Pourtant, ECF présente un volume de pièces plus de 100 fois supérieur à celui de LEP. Dès lors, additionner les données pour obtenir une mesure à l'échelle de l'entrepôt ne refléterait pas une image fidèle de la charge que représente chaque client.

De manière générale, il apparaît que la main d'œuvre employée à Fleurus a drastiquement diminué à partir de janvier 2019. En effet, on passe de 16 ou 17 opérateurs par mois en 2018 à 12 ou 13 en 2019. La comparaison entre 2018 et 2019 proposée ci-dessous présente l'intérêt d'être organisée par mois, ce qui fait sens au vu de la saisonnalité caractéristique de l'entrepôt de Fleurus. On peut observer des diminutions drastiques tant en termes de personnes mobilisées que d'heures prestées et d'heures par personne. Cela signifie notamment que, en moyenne, les opérateurs présents à Fleurus travaillent moins. Cela s'explique notamment par le fait qu'il était courant, avant la réorganisation, que les opérateurs viennent travailler durant les week-ends pour rattraper le retard pris en semaine. D'autre part, l'arrivée du responsable des ressources humaines et matérielles sur le terrain a également permis de mieux répartir au jour le jour les ressources humaines entre les différents sites. Notons qu'il sera intéressant de vérifier si ce nombre de 13 opérateurs reste stable avec l'arrivée du pic d'activité lié à la haute saison.

Tableau 10 : Statistiques RH

	Personnel (# personnes)			Heures prestées			Heures / pers.		
	2018	2019	Variation	2018	2019	Variation	2018	2019	Variation
Janvier	16	13	-18,75%	2.664	1937	-27,28%	166	149	-10,49%
Février	17	12	-29,41%	2.759	1647	-40,31%	162	137	-15,44%
Mars	16	13	-18,75%	3.073	1977	-35,66%	192	152	-20,81%

Source : Données Van Mieghem Logistics

Cependant, si cette diminution du nombre d'heures prestées est couplée à une diminution de l'activité, on ne pourra pas parler d'amélioration de la productivité. Pour prendre un point de vue plus global de l'activité, on peut s'intéresser au volume traité dans l'entrepôt, tant en entrées (déchargement et mise en stock), qu'en sorties (préparation des commandes, emballage / palettisation et envoi). Par ailleurs, les données sont uniquement disponibles par client et avec la pièce comme unité de mesure. Or, on sait que le volume de pièces ne peut être agrégé entre LEP et ECF. Dès lors, on peut, dans un premier temps, s'intéresser à l'évolution de l'activité globale pour chaque client.

Concernant ECF, le graphique ci-dessous rappelle qu'aucune saisonnalité ne peut être détectée dans l'activité de ce client. Par contre, on peut observer que l'activité suit une légère tendance à la baisse.

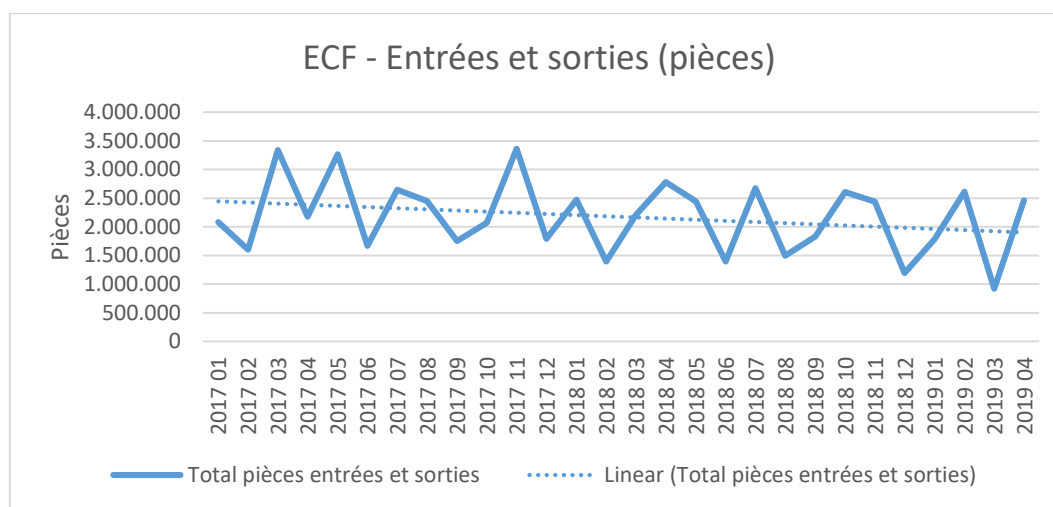


Figure 63 : ECF - Entrées et sorties
Source : Données Van Mieghem Logistics

Chez LEP, les données mois par mois reflètent la saisonnalité de l'activité. Cependant, ces données ne permettent pas de détecter de tendance à la hausse ou à la baisse (voir annexe 7) A l'inverse, l'analyse des quatre premiers mois de 2017, 2018 et 2019 révèle tout de même une augmentation de l'activité globale, comme le montre le graphique ci-dessous.

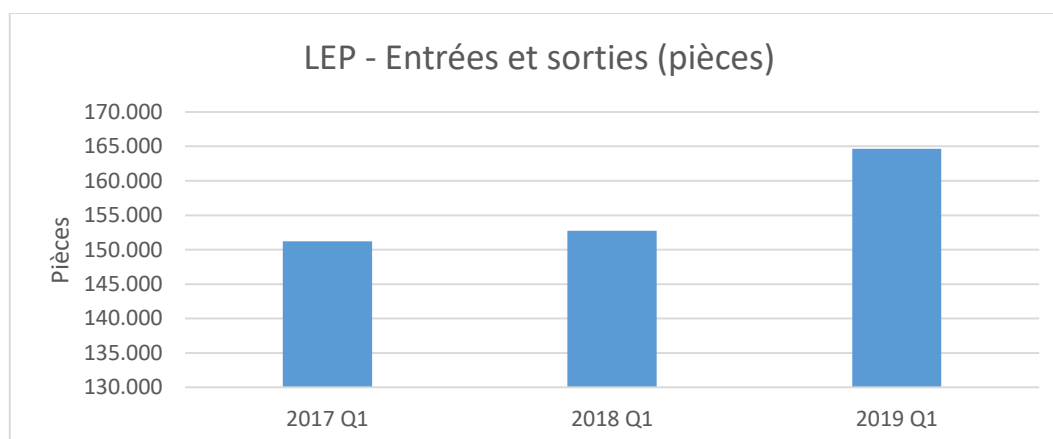


Figure 64 : LEP - Entrées et sorties
Source : Données Van Mieghem Logistics

En conclusion, on a donc une activité en légère augmentation chez LEP et légère diminution chez ECF. Les heures prestées sont en revanche en nette diminution (-34,41% en moyenne en 2019 par rapport à 2018). Dès lors, on peut conclure que la productivité globale des activités opérées dans l'entrepôt de Fleurus est en augmentation. Notons cependant que ce résultat est assez approximatif, la réflexion ayant été contrainte par les données disponibles.

Tableau 11 : Récapitulatif des résultats

	<i>Activité</i>	<i>Heures prestées</i>	<i>Productivité globale</i>
LEP	+	- -	+ +
ECF	-		+

Source : Données Van Mieghem Logistics

3. Conclusion

Les deux méthodes utilisées pour mesurer les résultats de la réorganisation aboutissent à des conclusions relativement positives. En effet, le score du WAST progresse de 18%. Le score final (53) laisse cependant transparaître que des améliorations sont encore envisageables. Les mesures de productivité, tant pour l'analyse de la préparation de commandes que pour celle de l'activité globale, montrent des résultats plutôt positifs, sans qu'ils soient extrêmement marqués.

Notons que la première méthode reste assez subjective, étant basée sur des observations et des appréciations de l'assesseur. La seconde méthode est, elle, plus précise et rigoureuse. En effet, il s'agit là d'utiliser des données chiffrées et concrètes. Cependant, une part de subjectivité persiste, notamment dans le choix des données analysées et présentées. Concernant cette méthode, des données plus précises (comme par exemple la répartition entre les deux clients des heures prestées au sein de l'entrepôt) ou d'une autre nature (les données ayant trait à l'aspect financier par exemple) auraient permis une analyse plus détaillée de la productivité.





















Cette partie a permis de confirmer le sentiment général pouvant être perçu dans l'entrepôt, à savoir que la réorganisation a permis de rendre la situation plus pérenne. On notera toutefois qu'il existe un certain décalage entre l'amélioration perçue (surtout concernant la productivité) et celle observée dans l'analyse proposée. En effet, l'amélioration réelle de la productivité n'est pas aussi flagrante et marquée que l'amélioration globalement perçue.

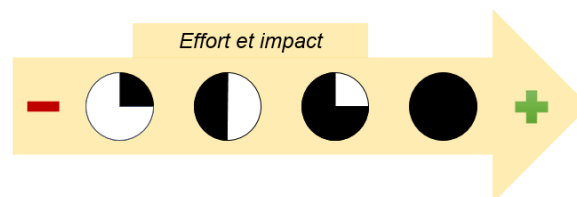
Partie IV : Recommandations

Après avoir présenté l'optimisation d'un entrepôt sous un angle théorique, il est ressorti de l'analyse du cas pratique de l'entrepôt de Fleurus que des améliorations restaient possibles. Dès lors, cette partie a pour objectif d'avancer des pistes d'amélioration. Pour éviter toute confusion, il est important de mentionner qu'il ne s'agit pas de remettre en cause les actions mises en œuvre mais bien de proposer des prolongements ainsi que de nouvelles idées. Pour ce faire, l'idée est de s'inspirer tant des éléments théoriques proposés au début de ce travail (partie I) que des idées pratiques découvertes lors du stage chez Van Mieghem Logistics et dépeintes dans les parties II et III.

La suite de cette partie est organisée autour de différents thèmes. Chaque thème inclut une ou plusieurs propositions, reprises synthétiquement dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : *Recommandations*

#	Thème	Recommandation	Effort	Impact
1	Etiquetage	RFID		
2	Lean	Relation client packaging		
3	Lean	Visual management		
4	Automatisation	Robots de picking		
5	Stockage	Formalisation de la politique de stockage dans le WMS		
6	Layout	Optimisation du layout		
7	Routing	Guidage des opérateurs via le scanner		
8	Données	Tracking des erreurs		
9	Sécurité	Aménagement des allées de circulation		
10	Stockage	Resserrage des lignes de stockage au sol		



1. Etiquetage – RFID

La mise en place de la RFID pourrait permettre de résoudre considérablement les problèmes rencontrés à la réception et au picking. Par exemple, avec une telle technologie, le comptage n'est plus nécessaire lors de la réception et les erreurs de picking peuvent être plus facilement détectées. On pourrait également envisager de ne plus devoir utiliser de scanner : tous les mouvements seraient directement détectés par la RFID. Les gains potentiels sont donc considérables. Comme dans le cas du packaging, l'idéal est de travailler à l'échelle de la supply chain dans son ensemble. En effet, les gains sont bien plus importants si tous les acteurs travaillent avec la RFID.

Cependant, l'implémentation d'un tel système demande une refonte totale du processus d'étiquetage. Tant pour Van Mieghem que pour les autres acteurs de la supply chain des produits d'ECF et LEP, cela demanderait énormément d'efforts. Pour Van Mieghem, il faudrait équiper l'entrepôt avec la technologie adaptée et adapter le WMS. Par ailleurs, pour une rentabilisation optimale de la RFID dans l'optique du supply chain management, il faudrait que les produits soient étiquetés avec la RFID dès la fabrication, pour une traçabilité totale. Se pose alors la question de la répartition des coûts supplémentaires liés à l'étiquetage individuel des pièces survient. En effet, s'il incombe à l'usine de fabrication de procéder à l'étiquetage, tous les autres acteurs de la supply chain en bénéficieront. Dès lors, comment peut-on dédommager l'usine de fabrication pour le coût supplémentaire engendré par l'implémentation de la RFID ?

2. Lean – Relation client : packaging

L'application des principes du lean management ne se limite pas à l'entreprise en tant que telle. En effet, l'utilisation du lean n'est optimale que lorsque les *muda* sont éliminés dans toute la supply chain.

Dans cette optique, l'idée suggérée ici serait de continuer le travail commencé avec LEP concernant le packaging des produits. En effet, si l'on considère l'exemple des plateaux évoqué plus haut, il serait intéressant de continuer à travailler avec LEP pour individualiser totalement le packaging. En particulier, l'idéal serait que les produits soient emballés correctement dès la sortie de la ligne de fabrication. Cela permettrait non seulement un meilleur contrôle des quantités à la réception et un picking plus aisé dans l'entrepôt, mais aussi de diminuer le risque de dégâts tout au long de la supply chain (en amont et en aval de l'entrepôt de Van Mieghem). On limiterait donc les défauts et le temps perdu à devoir changer les emballages.

Evidemment, cela demande de la réflexion et des négociations avec LEP. Cependant, les gains, tant pour LEP que pour Van Mieghem pourraient s'avérer importants, surtout si la réflexion s'opère sur tous les articles pouvant poser problème.

3. Lean – Visual Management

Si l'implication et la motivation de l'équipe semble effectivement avoir augmenté, cet aspect peut encore être travaillé. Dans cette optique, le visual management est un outil qui pourrait être mobilisé. Globalement, l'idée est de permettre aux opérateurs de visualiser certaines mesures importantes concernant l'entrepôt et l'état d'avancement du travail journalier. Par exemple, on pourrait envisager d'avoir un écran affichant les commandes clôturées, en cours et en attente. Le nombre d'erreurs ou de retards sur le dernier mois pourrait également être affiché. Une autre possibilité pour aborder plus positivement les données concernant les retards et les erreurs pourrait être d'afficher le nombre de jours depuis le dernier retard ou la dernière erreur.

L'utilisation d'un tel outil ne semble pas demander énormément d'investissements, si ce n'est un écran d'affichage et peut être quelques adaptations techniques du WMS pour permettre d'afficher facilement les données. Concernant les données sur les erreurs, elles demanderont plus de travail car WMS n'enregistre à ce jour pas ce type de données. Cependant, l'impact du visual management sur la motivation est susceptible d'être important.

4. Automatisation – Robots de picking

Si l'automatisation avec du matériel lourd tels que les transstockeurs n'est actuellement pas du tout à l'ordre du jour chez Van Mieghem Logistics (en tout cas pas pour l'entrepôt de Fleurus), une solution « hybride » pourrait être envisagée. Elle permettrait de profiter des gains de l'automatisation sans requérir des investissements aussi lourds que lors d'un projet d'automatisation classique. L'idée serait de s'inspirer de la solution proposée par Locus et présentée dans la partie théorique. La solution de Locus doit cependant être adaptée car elle est initialement prévue pour le transport de pièces relativement petites. Ici, il s'agirait de déplacer des palettes pouvant peser plusieurs centaines de kilos.

Pratiquement, les robots effectueraient les trajets entre le point P&D et les emplacements de manière autonome. Cela permettrait aux opérateurs de se déplacer uniquement dans les allées de l'entrepôt. L'avantage est double :

- 1) On réduit les déplacements (inutiles) des opérateurs ;
- 2) Les chariots sur lesquels se trouvent les opérateurs roulent moins, ce qui ralentit leur usure.

Si l'investissement n'est pas aussi lourd que pour un projet d'automatisation complète, il n'en reste pas moins qu'il s'agit tout de même d'un investissement conséquent, ce qui constituera certainement un frein à l'implémentation de la solution.

5. Stockage – Formalisation de la politique de stockage dans le WMS

Concernant la politique de stockage, les différents articles se sont vus attribuer une zone de l'entrepôt afin de faciliter le picking et, en particulier, la palettisation. Cependant, deux points d'amélioration peuvent être mentionnés :

- 1) La politique n'a pas été formalisée dans le WMS. En d'autres termes, le système n'empêche pas le positionnement de marchandises à d'autres emplacements que ceux prévus ;
- 2) Les positions attribuées aux marchandises ont été déterminées uniquement grâce à l'expérience du responsable d'entrepôt.

Pour améliorer la politique de stockage, il serait intéressant de travailler sur les deux points ci-dessus. Deux pistes intéressantes ont été relevées :

- 1) L'inclusion de la politique de stockage au WMS. Il s'agit ici de communiquer au WMS les positions possibles pour chaque article afin qu'il empêche les erreurs lors de la mise en stock ;
- 2) La formalisation du choix de la localisation. Ici, l'idée est de prendre en compte objectivement différents facteurs. Pour ce faire, la méthode de Dharmapriya et Kulatunga (2011) présentée dans partie théorique de ce travail semble intéressante. Pour rappel, il s'agit de déterminer un facteur F grâce à diverses variables. Dans le cas de l'entrepôt de Fleurus, ces variables pourraient être le poids, le volume, etc. Il serait également possible d'y intégrer les rotations (classification ABC).

L'implémentation de cette recommandation permettrait de s'assurer que les bénéfices des actions menées lors de la réorganisation en termes de politique de stockage persistent sur le long terme.

6. Layout – Optimisation du layout

Il est apparu au cours de ce travail qu'une caractéristique du layout de l'entrepôt de Fleurus était relativement problématique. Il s'agit de l'impossibilité de changer d'allée de service au bout des allées du hall G, ce qui implique obligatoirement des déplacements inutiles. Dès lors, une réorganisation du layout en tant que telle pourrait permettre de réduire significativement les distances parcourues par les opérateurs. Le layout de type *Fishbone aisles* peut par exemple les faire diminuer de plus de 20%.

Cependant, une telle réorganisation demanderait un investissement extrêmement conséquent. En effet, il faudrait déplacer tout le stock dans un autre entrepôt, puis démonter et remonter tous les racks, avant de ramener tout le stock dans l'entrepôt réaménagé. De plus, étant donné que la mise en stock et la préparation de commandes s'opèrent avec des chariots à mat rétractable, l'importance de réduire les distances parcourues est diminuée.

7. Routing – Guidage des opérateurs via le scanner

On sait que l'optimisation du routing requiert un WMS intégrant le modèle géométrique de l'entrepôt et que de tels WMS n'existent pas à ce jour. Cependant, on pourrait tout de même envisager que le WMS affiche une indication quant à la direction à prendre dans l'allée, en fonction de l'emplacement suivant.

Toutefois, cette solution semble assez complexe à mettre en œuvre, notamment à cause de la structure actuelle des racks dans le hall G. De plus, les opérateurs connaissent tous assez bien l'entrepôt, ce qui rend l'attrait de la solution moindre.

8. Données – Tracking des erreurs

Dans un but d'amélioration continue, il serait intéressant de pouvoir suivre des statistiques concernant les erreurs commises lors du prélèvement des articles. Le WMS, dans sa configuration actuelle, ne permet pas d'extraire de telles données. En plus des erreurs à proprement parler, on peut également inclure les cas où les préparations ont été clôturées en retard. Ces données pourraient par ailleurs servir pour la mise en place du visual management, évoqué plus haut. On notera cependant la nécessité des modifications techniques du WMS pour accéder à de telles données.

9. Sécurité – Aménagement des allées de circulation

Comme la méthode du WAST a pu le montrer, l'aspect sécurité n'est pas celui le plus travaillé dans l'entrepôt. Les mesures prises pour la réorganisation étaient plutôt destinées à désengorger l'entrepôt qu'à augmenter le niveau de sécurité. Une possibilité relativement simple pour améliorer la sécurité serait de séparer les espaces de circulation destinés aux machines et ceux réservés aux piétons. Par exemple, l'espace réservé aux piétons pourrait être marqué au sol avec de la peinture ou délimité au moyen de poutres fixées au sol.

10. Stockage – Resserrage des lignes de stockage au sol

L'idée suggérée ici serait de tenter d'appliquer la formule de Bartholdi et Hackman (2017) concernant la profondeur des allées de stockage. Cependant, étant donnés les mouvements réguliers des stocks, l'application de cette méthode en *one shot* ne semble pas avoir un impact significatif.

Conclusion

La question sur laquelle j'ai axé mon travail comporte deux sous-questions :

- 1) Que peut-on faire pour (ré)optimiser un entrepôt ?
- 2) Comment peut-on mesurer les gains de productivité générés ?

Concernant la première sous-question, j'ai constaté qu'il existe un fossé entre ce que la théorie suggère et ce qui est mis en pratique. En effet, la littérature scientifique propose des solutions qui sont difficilement transposables au cas de la réorganisation d'un entrepôt tel que celui de Van Mieghem Logistics. Par exemple, si une structure technique non-conventionnelle (e.g. la configuration *Faishbone Aisles*) peut engendrer des gains conséquents en termes de distances parcourues, changer le layout d'un entrepôt existant est, en pratique, rarement envisageable. Par ailleurs, il est également apparu que certaines propositions de la littérature n'étaient pas réalisables techniquement. Je pense ici au *routing* des préparateurs de commandes.

Selon moi, la littérature scientifique est globalement plus adaptée pour l'**optimisation** d'un nouvel entrepôt. La littérature traite principalement l'optimisation du layout de l'entrepôt et du processus de préparation de commandes, tâche principale des opérateurs dans l'entrepôt. J'ai également constaté que l'automatisation de cette tâche constitue le *core business* de différentes entreprises.

A l'inverse, le cas pratique évoqué dans ce travail m'a permis de comprendre comment **ré-optimiser** un entrepôt existant, en faisant face à certaines contraintes pratiques (comme l'impossibilité de modifier le positionnement des racks). Dans ce cas précis, le travail a principalement porté sur l'optimisation de l'espace de stockage disponible (tant en stockage au sol que dans les racks) et sur la facilitation du travail de préparation des commandes.

L'importance du *picking* est le point commun principal entre la littérature scientifique et le cas pratique exposé dans ce travail. En effet, la place centrale qu'a occupée cette tâche dans les actions mises en œuvre pour la réorganisation de l'entrepôt de Fleurus confirme ce qui est ressorti de l'analyse de la littérature, à savoir que cette tâche est la plus coûteuse.

Concernant la deuxième sous-question, la réponse que propose mon travail comporte deux solutions. Tout d'abord, la grille d'analyse du **WAST** permet d'obtenir une vision assez générale de l'état de l'entrepôt et de comparer la situation à deux instants différents. Cette méthode présente également l'avantage de requérir une quantité trop importante de connaissances et de données. Cependant, elle laisse, selon moi, une place non-négligeable à la subjectivité. Dès lors, l'utilisation des **KPI** me semble être complémentaire à celle du WAST. S'ils sont plus objectifs, les KPI requièrent cependant l'accès à des données internes. Mon expérience m'a appris que la construction et le suivi de telles mesures étaient plus complexes qu'il n'y paraît. Concernant les résultats, l'augmentation de productivité n'est pas aussi marquée qu'escompté, même si une amélioration a tout de même été constatée.

J'ai conscience que la théorie a pris une place importante dans ce travail. La construction d'une base théorique solide me paraissait nécessaire, sachant que mes connaissances en matière de logistique étaient très limitées à l'aube de ce travail. De plus, je n'ai abordé l'étude « que » d'un cas pratique. Il serait toutefois intéressant de mettre ce cas précis en perspective avec d'autres projets de réorganisation. Cela permettrait d'obtenir un point de vue plus global de la ré-optimisation pratique des entrepôts.

Bibliographie

Livres et chapitres de livres

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2017). *Warehouse & Distribution Science*. Atlanta : The Supply Chain & Logistics Institute. Récupéré de <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf>

de Koster, M. (2008). Warehouse Assessment in a Single Tour. [Chapitre de livre] Dans *Facility Logistics. Approaches and Solutions to Next Generation Challenges* (p. 39-60). New-York: Auerbach - Taylor & Francis Group.

Goldsby, T. J., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma logistics: strategic development to operational success*. Boca Raton : J. Ross Publishing. Récupéré de <https://mynotesonsystemicthinking.files.wordpress.com/2011/02/lean-six-sigma-logistics.pdf>

Hohmann, C. (2009). *Techniques de productivité: comment gagner des points de performance : pour les managers et les encadrants*. Paris : Ed. d'Organisation. Récupéré de http://empssi-sup.com/bibliotheque/Livre/Techniques_de_productivite.pdf

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2013). *Operations management: processes and supply chains*. (10. ed., global ed). Boston, Mass.: Pearson.

Roux, M., & Liu, T. (2010). *Optimisez votre plate-forme logistique*. Paris: Ed. d'Organisation.

ten Hompel, M., & Schmidt, T. (2007). *Warehouse management: automation and organisation of warehouse and order picking systems*. Berlin : Springer. Récupéré de <https://epdf.tips/warehouse-management-automation-and-organisation-of-warehouse-and-order-picking-.html>

Articles de revues

Adarme Jaimes, W., Otero Pineda, M. A., Rodríguez Quiñones, T. A., & Tejeda López, L. (2012). Optimization of a warehouse layout used for storage of materials used in ship construction and repair. *Ciencia y tecnología de buques*, 5(10), 59. <https://doi.org/10.25043/19098642.59>.

Anđelković, A., Radosavljević, M., & Stošić, D. (2016). Effects of lean tools in achieving lean warehousing. *Economic Themes*, 54(4), 517-534. <https://doi.org/10.1515/ethemes-2016-0026>.

van den Berg, J. P., & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 519-528. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00114-5).

Cardona, L. F., Rivera, L., & Jairo Martínez, H. (2016). Analytical optimization for the warehouse sizing problem under class-based storage policy. *Ingeniería y Ciencia*, 12(24), 221-248. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.12.24.10>.

Chen, J. C., Cheng, C.-H., Huang, P. B., Wang, K.-J., Huang, C.-J., & Ting, T.-C. (2013). Warehouse management with lean and RFID application: a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(1-4), 531-542. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5016-8>.

- 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), 481-501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Dukic, G., Česnik, V., & Opetuk, C. (2010). Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing. *Strojarstvo*, 52(1), 23-31. Récupéré de <https://pdfs.semanticscholar.org/d85e/7d0491111692cf679a48d726e77e628d09e8.pdf>
- Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review*, 105-116. Récupéré de <https://pdfs.semanticscholar.org/647a/c2ded3d69e41bb09ef5556aa942e01abd14d.pdf>
- Gue, K. R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Transactions*, 41(3), 171-182. <https://doi.org/10.1080/07408170802112726>.
- Guillaume, J.-P. (2017). Votre entrepôt est-il assez performant? *Supply Chain Magazine*, 14, 36-51. Récupéré de <http://supplychainmagazine.fr/TOUTE-INFO/Archives/SCM014/Dossier-14.pdf>
- Karasek, J. (2013). An overview of warehouse optimization. *International Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems*, 2(3). <https://doi.org/10.11601/ijates.v2i3.61>.
- Kumar Das, S. (2016). Design and methodology of automated guided vehicle-a review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 03(03), 29-35. <https://doi.org/10.9790/1684-15010030329-35>.
- Plambeck, E. L., & Denend, L. (2008). The greening of Wal-Mart. *Stanford Social Innovation Review*, 53-59.
- Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31(3), 507-521. <https://doi.org/10.1287/opre.31.3.507>.
- Roodbergen, K. J., & de Koster, R. (2001). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 32-43. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00177-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00177-6).
- Roodbergen, K. J., Sharp, G. P., & Vis, I. F. A. (2008). Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions*, 40(11), 1032-1045. <https://doi.org/10.1080/07408170802167639>.
- 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(3), 515-533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X).
- Wellian, E. (2008). Lego : Consolidating Distribution (A). *International Institute for Management Development*, 1-13.

Actes de colloques

Dharmapriya, U., & Kulatunga, A. (2011). New Strategy for Warehouse Optimization – Lean warehousing. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Actes du colloque, 22-24 janvier 2011, Kuala Lumpur. Récupéré de <http://ieomsociety.org/ieom2011/pdfs/IEOM076.pdf>

Meghelli-Gaouar, N., Sari, Z., Cardin, O., & Castagna, P. (2010). Évaluation de la performance d'un stockage par classes dans le contexte du stockage automatisé à accumulation dynamique. *Évaluation et optimisation des systèmes innovants de production de biens et de services*. Actes du colloque, 10-12 mai 2010, Hammamet. Récupéré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00620879/document>

Staudt, F. H., Di Mascolo, M., Alpan, G., & Rodriguez, C. M. (2014). Warehouse performance measurement: classification and mathematical expressions of indicators. . *5th International Conference in Information Systems, Logistics and Supply Chain*. Actes du colloque, 24-27 août 2014, Breda. Récupéré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01242034>

Wamba, S. F., Coltman, T. R., & Michael, K. (2008). RFID-Enabled Warehouse Optimization: lessons from early adopters in the 3PL industry. *International Conference on Information Systems*. Acte du colloque, 14-17 décembre 2008, Paris. Récupéré de <http://ro.uow.edu.au/infopapers/716>

Syllabi

Claes, A. (2015). *Econométrie*. Syllabus. Université Saint-Louis, Bruxelles.

Grisay, F. (2018a). *Deliver*. Présentation PowerPoint. ICHEC, Bruxelles.

Tancrez, J. S. (2018a). *Outsourcing and supplier relationships*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

Tancrez, J. S. (2018b). *Supply Chain Design*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

Tancrez, J. S. (2018c). *Supply Chain Management: Introduction*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

Tancrez, J.-S. (2018d). *Accurate Response and Aggregate Planning*. Présentation PowerPoint. Université Catholique de Louvain, Mons.

Pages web

FAQ Logistique. (2019a). *Cross-Docking*. Récupéré le 18 mars 2019 de https://www.faq-logistique.com/Cross_Docking.htm

FAQ Logistique. (2019b). *Glossaire Logistique*. Récupéré le 25 mars 2019 de https://www.faq-logistique.com/Glossaire.htm#_P_1

Kleinman, Z. (2018). *The Ocado robot swarms that pack your shopping*. Récupéré le 29 avril 2018, à l'adresse <https://www.bbc.com/news/technology-43968495>

Legras, F. (2018a). *L'entrepôt doit se réinventer perpétuellement*. Récupéré le 12 avril 2019, à l'adresse <https://www.faq-logistique.com/Entrepot-Du-Futur-BOA-CONCEPT-Patrice-Henrion.htm>

Legras, F. (2018b). *L'entrepôt du futur*. Récupéré le 2 avril 2019, à l'adresse <https://www.faq-logistique.com/Entrepot-Du-Futur.htm>

Legras, F. (2018c). *Ne pas mécaniser à tout prix*. Récupéré le 15 avril 2019, à l'adresse <https://www.faq-logistique.com/Entrepot-Du-Futur-ACSEP-Jean-Francois-Gentile.htm>

Locus. (s.d.). *How it works*. Récupéré le 2 avril 2019, à l'adresse <https://www.locusrobotics.com/why-locus/>

Mecalux. (2019a). *Convoyeur palette*. Récupéré le 4 avril 2019, à l'adresse <https://www.mecalux.fr/stockage-automatise/stockage-automatise-palettes/convoyeur-a-palettes>

Mecalux. (2019b). *Convoyeur pour caisses*. Récupéré le 4 avril 2019, à l'adresse <https://www.mecalux.fr/stockage-automatise/stockage-automatise-bacs-cartons/convoyeur-pour-bacs>

Mecalux. (2019c). *Transstockeur pour palettes*. Récupéré le 5 avril 2019, à l'adresse <https://www.mecalux.fr/stockage-automatise/stockage-automatise-palettes/transstockeur-pour-palettes>

Merialrack. (s.d.). *Rack d'accumulation*. Récupéré le 2 mai 2019, à l'adresse <http://www.merial-rack.fr/rack-accumulation-merial.p136.html>

Robotics Business Review. (2019). *Robots Will Be Working in 50,000 Warehouses by 2025, Report Says*. Récupéré le 3 avril 2019, à l'adresse <https://www.roboticsbusinessreview.com/supply-chain/robots-will-be-working-in-50000-warehouses-by-2025-report-says/>

Scallog. (2018). *Scallog Systems*. Récupéré le 10 avril 2019, à l'adresse <http://www.scallog.com/goods-to-man/>

Schmidt, R. (s.d.). *Automatic Inductive Guidance System for Forklifts uses CANopen*. Récupéré le 10 avril 2019, à l'adresse <https://www.stw-technic.com/wp-content/uploads/2010/01/CANopen.pdf>

Vincent, J. (2018). *Welcome to the automated warehouse of the future*. Récupéré le 4 avril 2019, à l'adresse <https://www.theverge.com/2018/5/8/17331250/automated-warehouses-jobs-ocado-andover-amazon>