

Le rôle du système de gestion (WMS) sur le développement durable, utilisation de l'approche Lean six sigma, étude de cas.

The role of the warehouse management system (WMS) in sustainable development, use of the Lean Six Sigma approach, case study.

ACHOUÏ MOSTAFA ^a
EL MEDIANI MERYEM ^b

^a Enseignant chercheur, Laboratoire de recherche prospective en finance et gestion (LRPFG), ENCG, Université Hassan II-Casablanca, Maroc

^b Doctorante, Laboratoire de recherche prospective en finance et gestion (LRPFG), ENCG, Université Hassan II-Casablanca, Maroc

Les auteurs acceptent que cet article reste en libre accès en permanence selon les termes de la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0



Résumé

Le fondement de l'industrie 4.0 repose sur les technologies avancées de l'information, de la communication et du stockage des données, ainsi que les systèmes de gestion des entrepôts (WMS). Par ailleurs, les ressources deviennent de plus en plus difficiles à trouver dans l'économie linéaire actuelle, dans ce contexte l'objectif de la démarche Lean six sigma est d'obtenir la meilleure qualité au moindre coût, tout en minimisant le gaspillage des ressources, le développement durable repose également sur le principe d'une meilleure utilisation des ressources limitées et sur la réduction de l'impact des activités humaines sur l'environnement. Le développement durable appréhende les activités industrielles comme des écosystèmes particuliers, caractérisés par des flux de matière, d'énergie et d'information. En s'inspirant des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, le développement durable vise à réorganiser le système industriel pour le faire évoluer vers un fonctionnement compatible avec la biosphère et viable à long terme, ou l'intérêt d'exploiter les nouvelles technologies tel que le WMS. L'objectif alors de cet article est de comprendre l'impact et le rôle des technologies avancées issues de l'industrie 4.0 à savoir le WMS sur l'optimisation d'espace de stockage et sur le développement durable, tout en adoptant l'approche Lean six sigma, qui vise à obtenir la meilleure qualité au moindre coût possible et avec un minimum de gaspillage de ressources. Les résultats indiquent que les nouvelles technologies, plus spécifiquement le WMS ont un impact favorable sur la préservation de l'environnement. Elles permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et d'utiliser plus efficacement l'espace existant, évitant ainsi la construction de nouveaux entrepôts, cela a permis à la société Emirates Logistics, TAC 2 de réaliser un gain à la fois spatial et financier.

Mots clés : L'industrie 4.0, Le développement durable, le système de gestion des entrepôts (WMS), les technologies avancées, Lean six sigma.

Abstract

The foundation of industry 4.0 formed by advanced information, communication and data storage technologies, and warehouse management systems (WMS). Resources are increasingly hard to find in today's linear economy, so the aim of Lean Six Sigma is to achieve the best quality at the lowest possible cost and with minimum waste of resources. Sustainable development is also based on the principle of making better use of limited resources and mitigating the impact of human activities on the environment. Sustainable development views industrial activities as specific ecosystems, characterized by flows of materials, energy and information. Drawing on knowledge of how ecosystems function, sustainable development aims to reorganize the industrial system so that it evolves towards a mode of operation that is compatible with the biosphere and viable in the long term, or the value of exploiting new technologies such as WMS. The aim of this article is to understand the impact and role of advanced technologies stemming from Industry 4.0, namely the WMS, on storage space optimization and sustainable development, while opting for the Lean six sigma approach, from which the objective is to obtain the best quality at the lowest possible cost and with minimum waste of resources. The results indicate that the new technologies, more specifically the WMS, have a positive impact in terms of preserving the environment, while reducing greenhouse gas emissions and making more efficient use of existing space, thus avoiding the construction of new warehouses, which has enabled Emirates Logistics, TAC 2 to benefit from a gain in space and costs

Keywords: Industry 4.0, Sustainable development, Warehouse management system (WMS), advanced technologies, Lean six sigma

Introduction

La Révolution 4.0, est en marche et nous serions, pour certains, à l'aube d'un « tsunami technologique » appelé à bouleverser la société tout entière. Cette nouvelle « révolution industrielle », qui fait suite à la troisième, celle de l'automatisation au XXe siècle (après celles de la machine à vapeur et de la mécanisation aux XVIIIe et début XIXe et de l'électricité à la fin du XIXe siècle), est celle de la numérisation, par laquelle toutes les activités de production – et toutes les unités de production – sont en permanence reliées entre elles et échangent des informations (Dunand et al. 2019)

Les flux de travail technologiques avancés peuvent être intégrés dans des méthodologies d'amélioration continue tout en tenant compte d'éléments tels que la réalité augmentée, l'Internet des objets (IoT), la fabrication additive (FA), le cloud computing le big data, l'automatisation industrielle et la cybersécurité. (Review 2022)

La notion de développement durable a fait une entrée remarquée dans le dictionnaire des idées, elle constitue désormais un élément central de la rhétorique des acteurs engagés dans les questions d'environnement et de développement (Latouche 2003)

La définition la plus répandue et la plus officielle du développement durable est la suivante : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». ("Qu'est-Ce Que Le Développement Durable ? 1," n.d.)

Le Lean Six Sigma est l'application conjuguée de deux concepts : le Lean et le Six Sigma, le premier vise à éliminer les tâches sans valeur ajoutée, à simplifier les processus en augmentant la fluidité, la flexibilité, l'agilité, ceci afin d'accroître la valeur définie par le client et ainsi contribuer à l'amélioration des performances de l'entreprise. Et le Six Sigma qui vise quant à lui à diminuer la variabilité des processus afin de les fiabiliser, les rendre stables et prévisibles, s'assurer de la reproductibilité « parfaite » du processus pour tendre vers le zéro défaut et la satisfaction du client. Le Lean Six Sigma est l'alliance des deux concepts qui relient les notions de productivité (le Lean) et de qualité (le Six Sigma).

En adoptant la méthode analytique descriptive, Cet article permettra une meilleure compréhension des technologies avancées utilisées dans le cadre de l'industrie 4.0, notamment le système de gestion des entrepôts (WMS), ainsi que son impact sur l'optimisation de l'espace de stockage et, par conséquent, sur la préservation de l'environnement, c'est dans cette perspective que nous proposons la question principale suivante : **comment peut-on gagner de**

l'espace de stockage tout en optimisant l'agencement de l'entrepôt à l'ère du système de gestion des entrepôts (WMS), tout en garantissant les principes du développement durable ?

En vérifiant ces hypothèses :

H1 : Le WMS contribue-t-il aux objectifs de développement durable ?

H2 : Comment peut-on améliorer l'efficacité de l'optimisation de l'espace de stockage avec l'utilisation du WMS ?

1. Revue de littérature.

1.1. La transformation digitale

1.1.1 Le WMS, cerveau de l'entrepôt

Un entrepôt est une installation de la chaîne d'approvisionnement qui permet de consolider les produits afin de réduire les coûts de transport,(Bartholdi III and Hackman 2008) ou fournir des processus à valeur ajoutée et raccourcir le temps de réponse(Gong and De Koster 2008), L'entreposage a également été reconnu comme l'une des principales opérations permettant aux entreprises de fournir des services sur mesure à leurs clients et d'acquérir un avantage concurrentiel. Il existe différents types d'entrepôts : ils peuvent être classés en entrepôts de production et en centres de distribution(Ghiani, Laporte, and Musmanno 2004)

Les entrepôts ont dû relever plusieurs défis : les chaînes d'approvisionnement sont de plus en plus intégrées et courtes, les opérations sont mondialisées, les clients sont plus exigeants et les changements technologiques sont rapides. Pour faire face à ces défis, les organisations adoptent des approches innovantes telles que les systèmes de gestion d'entrepôt. Qui vise principalement à contrôler le mouvement et le stockage des matériaux au sein d'un entrepôt et traiter les transactions associées, y compris l'expédition, la réception, la mise en stock et la préparation des commandes.

Un système de gestion d'entrepôt (WMS) est une application informatique basée sur une base de données, qui permet d'améliorer l'efficacité de l'entrepôt en dirigeant les sorties de stock et de maintenir un inventaire précis en enregistrant les transactions de l'entrepôt, et en optimisant les stocks en fonction d'informations en temps réel sur l'état des stocks. Ils utilisent souvent la technologie AIDC (Auto ID Data Capture), comme les lecteurs de codes-barres, les ordinateurs

mobiles, les réseaux locaux sans fil pour contrôler efficacement le flux des produits. . Une fois les données collectées, il y a soit une synchronisation par lots avec une base de données centrale, soit une transmission sans fil en temps réel. La base de données peut alors fournir des rapports utiles sur l'état des marchandises dans l'entrepôt.(Faber and Van de Velde 2002)

Parmi les tâches que le WMS prend en charge, on peut citer :

- La planification et l'optimisation des réceptions en fonction des approvisionnements prévus par les fournisseurs ;
- La validation de la mise en stock ;
- L'optimisation du stockage et l'organisation des emplacements ;
- L'ordonnancement de la préparation de commandes ;
- Le choix des transporteurs ;(Moulim 2016)

1.1.2. La digitalisation : rôle clé du WMS

Il est évident que la logistique est un élément clé de la chaîne d'approvisionnement qui permet de livrer à le bon produit, au bon moment et au bon coût. Les systèmes informatiques, en particulier le système de gestion d'entrepôt, aident grandement l'entreprise de logistique à y parvenir. Avant l'apparition des systèmes informatiques ou des systèmes de gestion d'entrepôt, les entreprises logistiques étaient pleines de papier et d'opérations manuelles. Ces deux types d'opérations étaient très coûteux, prenaient beaucoup de temps et étaient très complexes, nécessitaient une main-d'œuvre importante et étaient facilement sujettes aux erreurs. Voici quelques-uns des problèmes les plus courants auxquels l'industrie de la logistique était confrontée lorsqu'elle ne disposait pas d'un système WMS :

- Aucune visibilité de l'inventaire - aucun partenaire commercial y compris le personnel d'entreposage dans la chaîne logistique et d'approvisionnement ne pouvait voir l'inventaire actuel à l'installation
- Erreurs de traitement des expéditions - sur-expédition, sous-expédition, expédition manquée
- Problème d'utilisation de l'espace de l'entrepôt - sous-utilisation et/ou surutilisation de l'espace de l'entrepôt

- Travail manuel et papier - beaucoup de travail papier à faire et à maintenir à des fins d'audit en plus d'effectuer tout le travail d'entreposage manuellement
- Problèmes de sécurité - Comme il n'y avait pas de systèmes informatiques ou aucun dispositif technologique utilisé, cela a causé des problèmes de sécurité dans des situations telles que la main.

Lorsque la technologie a commencé à évoluer il y a quelques décennies, a contribué à la logistique et à la chaîne d'approvisionnement pour profiter des avantages. Et, comme chacun a pu le constater, l'industrie est en plein essor. Le système de gestion d'entrepôt (Warehouse Management System - WMS) est un outil formidable ou une application qui aide les entreprises de logistique à gérer leurs stocks de manière efficace et efficiente. Il aide également à fournir une visibilité sur les stocks à toutes les parties prenantes de l'entreprise(Andiyappillai 2020)

Le travail de Wen et al. (2018) montre une forte exigence pour l'automatisation dans la logistique intelligente(Wen, He, and Zhu 2018), Les entrepôts intelligents sont l'ensemble des technologies intelligentes dans la section des entrepôts et une série de pratiques de gestion des opérations pour faire fonctionner les entrepôts de manière plus « intelligente ». Les entrepôts intelligents sont devenus un ensemble de technologies de pointe, de processus d'entreposage et de gestion des opérations d'entreposage. Les caractéristiques de base des entrepôts intelligents peuvent être classées selon les perspectives suivantes :

- L'interconnexion des informations : L'interconnexion des informations implique la conception de haut niveau des entrepôts intelligents. Elle constitue la base des entrepôts intelligents et de la gestion opérationnelle. Sur la base de la technologie dérivée de l'Internet des objets (IoT) des systèmes cyber-physiques (CPS) et d'autres technologies émergentes, le flux d'informations peut être partagé et traité par de nombreux nœuds logistiques et produire ainsi des valeurs supplémentaires.
- Automatisation des équipements :L'automatisation des équipements décrit les caractéristiques de l'entrepôt intelligent aux niveaux stratégique et tactique. L'automatisation est le support technique de l'entrepôt intelligent. Équipés d'installations automatiques, les entrepôts intelligents peuvent atteindre des niveaux d'automatisation élevés dans les activités de l'entrepôt. L'automatisation des

équipements peut améliorer la productivité de l'entrepôt tout en réduisant le besoin de travail manuel. En outre, la gestion des opérations des entrepôts intelligents accorde plus d'attention aux caractéristiques des équipements dans les décisions stratégiques et aux caractéristiques des produits dans les décisions tactiques, ce qui permet d'avoir une vision holistique de la technologie, et d'améliorer la précision de la prise de décision.

- **Intégration des processus :** L'intégration des processus est une exigence de la gestion des opérations des entrepôts intelligents et fonctionne comme un soutien opérationnel dans le cadre. L'intégration des processus tente de mettre en œuvre une planification globale entre les différents processus de l'entrepôt et se concentre sur les nouveaux problèmes opérationnels qui se posent dans l'exploitation des entrepôts intelligents
- **Durabilité environnementale :** La durabilité environnementale est l'avenir des entrepôts intelligents, soutenus par l'automatisation des équipements et l'intégration des processus sur le site. Le développement durable des entrepôts intelligents concerne les problèmes liés à l'environnement, tels que la consommation d'énergie et les émissions de carbone. La gestion opérationnelle des entrepôts intelligents aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel doit être mise en œuvre de manière écologique afin de créer une feuille de route durable dans l'entrepôt section.(Zhen and Li 2022).

1.2. Lean six sigma dans la chaîne logistique

La logistique est un élément crucial de la chaîne d'approvisionnement(Sachan and Datta 2005) Le coût, la rapidité et la qualité du service des opérations logistiques ont une incidence directe sur les performances de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement(Zhang et al. 2016), suite aux exigences du client, la logistique doit améliorer ses opérations pour offrir une valeur supérieure au client(Forslund 2007). Afin d'atteindre l'objectif de la chaîne d'approvisionnement consistant à honorer les commandes des clients plus rapidement et plus efficacement que les concurrents, une chaîne d'approvisionnement doit s'engager dans des processus d'amélioration continue et des stratégies concurrentielles(Arif-Uz-Zaman and Nazmul Ahsan 2014),

1.2.1. La démarche DMAIC

Le terme DMAIC, qui signifie « définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler », représente une méthode d'analyse des processus utilisée dans le cadre de la méthode Lean Six Sigma. Pour comprendre la méthodologie DMAIC, il faut d'abord connaître l'histoire des méthodes Lean et

Six Sigma. La production « allégée » est issue de système de production Toyota introduit au Japon par l'ingénieur Taiichi Ohno dans les années 1950 à 1980. Les principes de la production allégée (dont certains aspects sont façonnés par la culture japonaise et le bouddhisme zen japonais) sont conçus pour imprégner tous les aspects d'une organisation, de la culture et de la philosophie de l'entreprise au leadership, à la technologie, au travail d'équipe et à la normalisation des tâches. En fin de compte, l'objectif de la production allégée est d'améliorer l'efficacité d'un processus et de fournir le meilleur produit en éliminant le gaspillage.(Chiarini, Baccarani, and Mascherpa 2018),

1.2.2. les étapes de la démarche DMAIC

- Définir : L'exigence est définie en fonction du besoin(Kumar Phanden et al. 2022), les parties prenantes doivent clairement définir l'objectif du projet, sa portée et, si possible, le calendrier. Les parties prenantes doivent se mettre d'accord sur l'objectif du projet, ainsi que sur sa durée. Mesurer : Les données mesurables qui serviront d'indicateurs de qualité ou de sécurité sont identifiées. Il peut s'avérer nécessaire de procéder à une collecte de données pour établir des mesures de référence. Les données extraites des bases de données globales doivent être analysées pour en vérifier l'exactitude.
- Analyse : Cette étape fusionne ce que l'on sait du processus ainsi que les données de base pour identifier et valider les causes des erreurs, des écarts, des retards, des gaspillages ou d'autres étiologies de défauts dans le processus.(Monday 2022),
- Améliorer (Improve) : L'objectif de cette étape est d'identifier la solution/stratégie d'amélioration optimale pour éliminer les défauts. Cette étape implique une série de processus de brainstorming pour générer des idées d'amélioration basées sur le contexte du problème ergonomique défini, identifié et analysé dans les étapes précédentes(Azreen Mustafa et al., n.d.),
- Contrôler: qui sert à surveiller et maintenir l'amélioration des performances du processus.

❖ Qu'est-ce ce qu'un gaspillage ?

Le gaspillage est une situation qui ne produit pas de valeur ajoutée, à la recherche de ces gaspillages, l'entreprise commence par identifier ses clients et articuler leurs attentes formelles et implicites, le rapprochement entre les opérations, les flux et les attentes des clients permet de créer de la valeur et d'identifier les gaspillages.

Le gaspillage peut être hiérarchisé en fonction de son impact sur la satisfaction client, le coût et le degré de difficulté, ainsi que sur l'investissement financier et temporel nécessaire pour l'éliminer.

Les méthodes japonaises identifient trois formes de gaspillages, parfois appelées les 3M :

Muda : c'est le type de gaspillage le plus connu et le plus pratiqué, représente un gâchis délibéré qui consomme des ressources sans apporter de valeur ajoutée au client, Par exemple, un laboratoire vérifie un produit avec une telle fréquence et avec des critères de contrôle spécifiques. Il alloue des ressources et organise l'ensemble des flux d'informations avec les services internes. depuis des années, chaque contrôle s'est déroulé dans les tolérances du client et les normes suivis sont toujours respectés. Quelle valeur ajoutée ce contrôle apporte-t-il à l'entreprise alors ?

Mura : variabilité, rythme de travail irrégulier qui pousse à mettre à pression pour produire de plus en plus vite avant de tomber sur les temps d'attente.

Muri : c'est irrationnel, l'excès qui se concrétise par des achats «spot» en grandes quantités de matières premières pour le prix attractif du moment, des campagnes de production avec des tailles de lots inadaptées, Ce gaspillage a un effet très spécifique sur la trésorerie de l'entreprise, prend de la place, augmente les risques d'erreurs et de fin de vie du produit. (produit obsolète)(Dies and Vérilhac 2010),

2. Méthodologie

❖ Etude de cas

L'étude a été réalisée au sein de l'entrepôt d'Emirates Logistics, une division spécialisée dans la prestation logistique du groupe Sharaf Emirates Logistics LLC, pionnier dans la fourniture de solutions de fret et de logistique, situé à la zone franche de Tanger TAC2.

❖ Le processus de gestion d'entrepôt**Figure 1 : Le processus de gestion d'entrepôt**

La zone de réception : la zone de réception d'un entrepôt regroupe plusieurs espaces, les quais de déchargement, la zone de contrôle réception, de conditionnement et de stockage de masse. Les camions y sont déchargés par transpalette ou chariot élévateur. Les marchandises réceptionnées font ensuite l'objet de contrôles quantitatifs et qualitatifs. Une zone de déconditionnement est nécessaire si les marchandises réceptionnées doivent être conditionnées unitairement (pouvant nécessiter une dépalettisation), reconditionnées (pour effectuer un changement de la palette par exemple) ou étiquetées. Avant leur transfert vers les zones de stockages définitives, les marchandises peuvent être temporairement entreposées dans une zone de stockage de masse, adaptée aux produits lourds et posés au sol. La zone de réception est dimensionnée en fonction du volume de réception de l'entrepôt et du type des marchandises réceptionnés, Par exemple, plus le volume de réception sera élevé, plus la surface occupée par la zone de réception devra être importante

La zone de stockage : la zone de stockage regroupe les moyens de stockage (le plus souvent des racks), Chaque emplacement est identifié par une adresse unique. Par exemple l'adresse d'un emplacement peut être définie par un numéro de zone, un numéro d'allée, un numéro de travée et un niveau

La zone d'expédition : la zone d'expédition regroupe une zone de contrôle et une zone d'attente de départ. La première permet de vérifier que la commande prête à être expédiée au client est conforme, et La zone d'attente de départ et de chargement permet de stocker les marchandises qui sont prêtes avant l'arrivée du camion.

Pour mettre en œuvre ce projet, nous avons utilisé les outils du Lean six sigma, en particulier l'approche DMAIC,

Phase 1 (Définition du problème) : Il s’agit d’une étude visant à optimiser l’espace de stockage en s’appuyant sur l’analyse du taux d’occupation. Ce dernier est impacté par des zones de masse désordonnées et par des Racks mal conçus. L’objectif principale est donc d’optimiser les différentes zones de l’entrepôt, afin d’en améliorer l’efficacité. Pour mieux cerner la problématique, nous avons exploité la méthode QQQQCP.

Figure 2 : l’outil QQQQCP

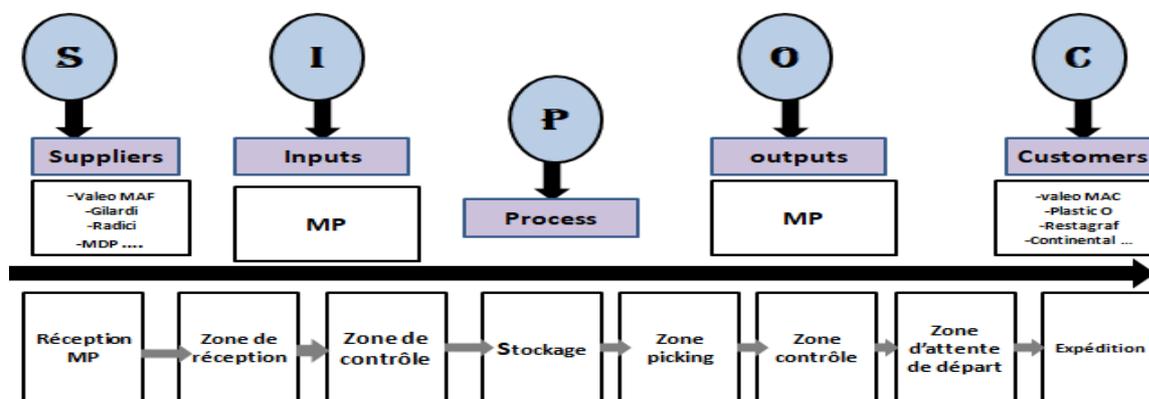


Source : Notre production pour les besoins de l’étude

❖ **L’outil SIPOC**

En exploitant cet outil afin de construire une première vue organisée pour faciliter l’application de la démarche DMAIC

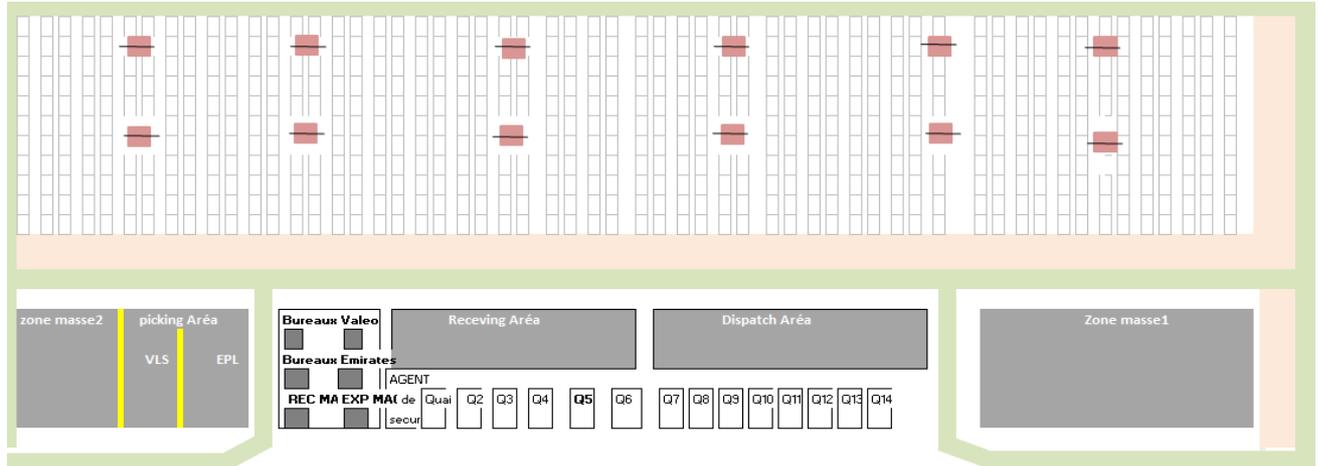
Figure 3 : SIPOC



Source : Notre production pour les besoins de l’étude

Phase 2,3 (Mesurer, Analyser) : Cette étape est consacrée à l'étude de l'état actuel, en commençant par une modélisation de l'entrepôt et de ses différentes zones fonctionnelles.

Figure 4 : Lay-out



Source : Notre production pour les besoins de l'étude

- les modèles adoptés sont le stockage par rayonnage et le stockage de masse

Tableau 1 : les caractéristiques des racks

	Echelles		Lisses				Protections Latérales	Sabots	Les entretoises
	Feralco	Stow	3.9	3.6	2.7	1.8			
Total	528	792	322	5198	104	106	207	696	35
									972

Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Tableau 2 : les caractéristiques des palettes

Type	Caractéristiques (cm)
Palette EURO	-Largeur : 80 -longueur : 100
Palette US	-Largeur : 100 -longueur : 120
Palette HG1.5	- largeur : 120 -longueur : 120
Palette HG 2	- largeur : 160 - longueur : 120
Palette HG 8	- largeur : 340 - longueur : 200

Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Tableau 3 : la capacité des lisses

Lisse(m)	3.9	3.6	3.3	2.8	1.7
Capacité	390/80=4.875	360/80=4.5	330/80=4.125	280/80=3.5	170/80=2.125
	80*4=320	80*4=320	80*4.125= 330	80*3.5=280	80*2.125=170
	390/100=3.9	360/100=3.6	330/100=3.3	280/100=2.8	170/100=1.7
	100*3.9=390	100*3.6=360	100*3.3=330	100*2.8=280	100*1.7=170
	➤ 4PE	➤ 4PE	➤ 4PE	➤ 3PE	➤ 2PE
	➤ 4US	➤ 3US	➤ 3US	➤ 2US	➤ 1US

Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Tableau 4 : le taux d'occupation

Week	Nombre de palette EUR	Nombre de palette US	Nombre de palette HG 1.5	Nombre de palette 2.0	Nombre de palette 8	Nombe total de palette	Nombre total équivalent palette/rack	Capacité	Occupation
48	2903	6271	783	59	-	10016	12557	12965	97%
48	2979	6499	822	59	-	10359	12995	12965	100%
48	3060	6675	823	59	-	10617	13313	12965	103%

48	3067	6624	837	59	-	10587	13272	12965	102%
49	3040	6793	832	59	-	10724	13463	12965	104%
49	2986	6681	816	59	-	10542	13236	13353	99%
49	3096	6783	845	59	-	10783	13526	13353	101%
49	3220	6659	834	59	-	10972	13734	13353	101%
49	3196	7976	812	59	-	11043	13833	13353	103%
49	3158	7070	822	59	-	11109	13936	13353	104%
49	3140	7099	827	59	-	11025	13964	13353	104%
50	3098	7279	818	59	-	11267	14066	13353	105%
50	3147	7279	814	59	-	11299	14191	13353	106%
50	3195	7300	800	59	-	11354	14246	13353	106%
50	3234	7341	780	59	-	11414	14310	13353	107%
50	3244	7384	773	59	-	11460	14367	13353	107%
50	3228	7418	797	59	-	11502	14432	13353	108%
50	3294	7519	797	59	-	11669	14633	13353	108%
51	3294	7606	797	59	-	11756	14749	13353	100%
51	3230	7624	795	57	-	11606	14569	13353	100%
51	3234	7628	797	57	-	11716	14714	13353	109%
51	3312	7748	817	57	-	11934	14982	13353	100%
51	3430	8141	817	57	-	12445	15624	13353	112%
51	3504	8229	855	57	-	12645	15873	13353	117%
51	3439	8334	855	57	-	12685	15948	13353	119%
52	3084	8123	881	57	-	12145	15350	13353	115%
52	3044	7995	901	57	-	11997	15170	13353	114%
52	3069	8174	916	57	-	12216	15456	13353	116%
52	3127	8248	911	57	-	12343	15605	13353	117%
52	3154	8318	906	57	-	12435	15718	13353	118%
52	3171	8449	896	57	-	12573	15894	13353	119%

Source : Document interne¹¹ Emirates logistics, TAC2, Tanger, Maroc

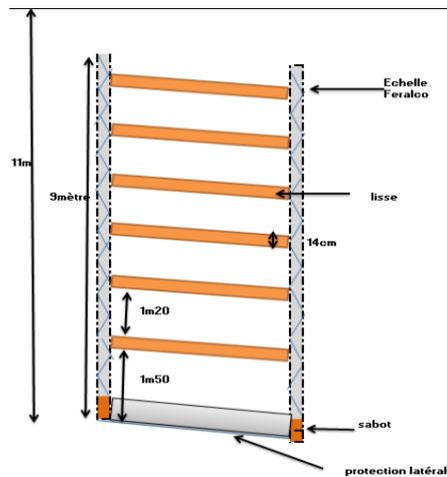
2.1. Résultats

- **Phase 4,5 (innover, contrôler) :** En se basant sur les problèmes identifiés au niveau de l'espace de stockage, trois plans d'actions sont proposés, chacun correspondant à un scénario distinct.
- **Scénario 1 : concevoir neuf rayonnages de type sol+6 niveaux, comprenant sept travées chacun, dans la zone de stockage de masse 1.**

Il s'agit d'une zone dédiée au stockage d'un article spécifique X. ce choix est justifié par la proximité de cette zone avec celle de tri de cet article, ce qui facilite les opérations logistiques. De plus l'entreprise dispose de la possibilité de former les palettes dédiées au stockage de cet article, de manière à ne pas dépasser 1,40 mètre de longueur. Par conséquent, il a été décidé de placer la première lisse à 1,50 mètre du sol, afin de tenir compte de la longueur des palettes, tout en laissant une marge suffisante pour faciliter l'opération de prélèvement.

$$\checkmark 150 + (14 \times 6) + (120 \times 5) = 834 < 900$$

Figure 5 : lay-out du rack



Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Tableau 5 : L'état de stock des Echelles et lisses1

Echelles		45 (Feralco)	55 (stow)
Lisses	3,9	40	
	3,6	100	
	3,3	118	
	2,7	6	
	1,8	7	

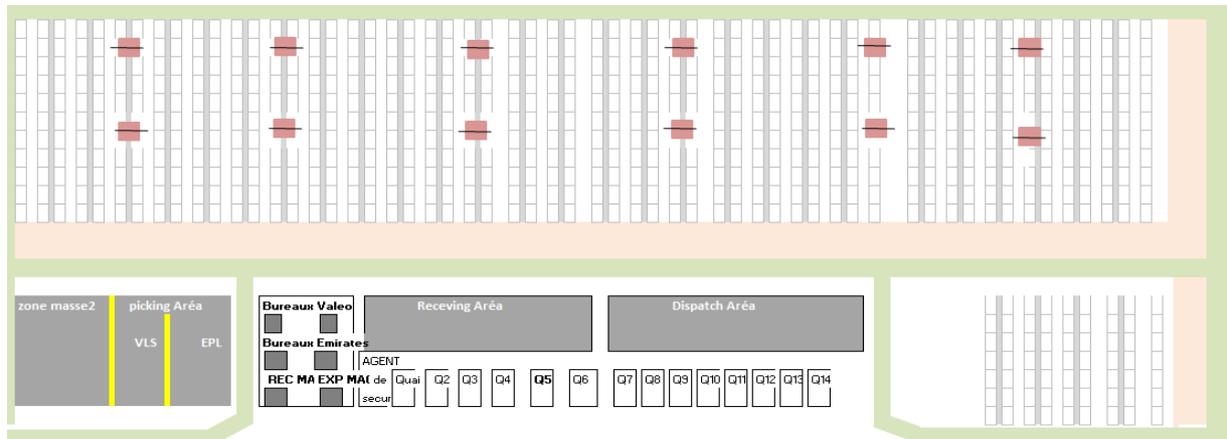
Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Tableau 6: le besoin

	Echelles	Lisses	Protections Latérales	Sabots	Les entretois
Total	Feralco	3.6	5	80	35
	144	756			96

Source : Notre production pour les besoins de l'étude

Figure 6 : lay-out, état2



source : Auteurs

- Avec ce plan la société a pu passer d'une capacité de 13 353 à 14 821, générant un gain de 1 468 emplacements

Tableau 7: taux d'occupation

Week	Date	Nombre de palette EUR	Nombre de Palette US	Nombre de Palette HG 1.5	Nombre de Palette HG 2.0	Nombre de Palette HG 8.0	Nombre Total palette	Nombre total Equivalent Palette /rack	capacité	Occupation
13	01-avr	3066	6762	821	15	12	10676	13440	14821	91%
13	02-avr	3106	6845	802	15	12	10780	13562	14821	92%
14	03-avr	3068	7105	784	15	12	10984	13843	14821	93%
14	04-avr	3073	7118	793	15	12	11011	13879	14821	94%
14	05-avr	3109	6990	777	15	10	10901	13705	14821	92%
14	06-avr	3064	6775	764	15	10	10628	13353	14821	90%
14	07-avr	3164	6855	795	15	10	10839	13607	14821	92%
14	08-avr	3133	6717	787	15	10	10662	13380	14821	90%
14	09-avr	3140	6721	857	15	10	10743	13497	14821	91%
15	10-avr	3084	6910	844	15	10	10863	13673	14821	92%
15	11-avr	2993	6618	828	15	10	10464	13169	14821	89%
15	12-avr	3059	6496	901	15	10	10481	13182	14821	89%
15	13-avr	3141	6514	908	15	10	10588	13298	14821	90%
15	14-avr	3068	6711	919	15	10	10723	13505	14821	91%
15	15-avr	3054	6484	835	15	10	10458	13152	14821	89%
15	16-avr	3026	6469	938	15	10	10458	13168	14821	89%
16	17-avr	3049	6356	926	15	10	10356	13023	14821	88%
16	18-avr	2930	5959	921	15	10	9835	12367	14821	83%
16	19-avr	3026	5907	897	15	2	9847	12294	14821	83%
16	20-avr	3036	5893	912	15	-	9856	12291	14821	83%
16	21-avr	3106	5870	944	15	-	9935	12379	14821	84%
16	22-avr	3109	5872	944	15	-	9940	12384	14821	84%
16	23-avr	3109	5872	944	15	-	9940	12348	14821	84%
17	24-avr	3109	5872	944	15	-	9940	12384	14821	84%
17	25-avr	3143	5798	933	15	-	9889	12303	14821	83%
17	26-avr	3278	5799	928	15	-	10020	12432	14821	84%
17	27-avr	3252	5558	904	15	-	9729	12049	14821	81%

17	28-avr	3195	5630	895	15	-	9735	12074	14821	81%
17	90-avr	3143	5589	857	15	-	9604	11911	14821	80%
17	30-avr	3215	5649	849	15	-	9728	12051	14821	81%

Source : Document interne²

➤ **Scénario 2:** modification des niveaux des rayonnages

-Rack 56/57 :stockage de l'article X, qui se caractérise par une longueur de 1,50 mètre

$$150 + (14 \times 6) + (120 \times 5) = 834 < 900$$

-Rack 32/33 : le stockage de l'article Y est organisé de manière à ce que, au premier niveau, la matière première soit stockée entre le sol et la première lisse. Cette configuration est nécessaire en raison du tonnage de la matière, qui les trois tonnes et de sa longueur excédant 1,60 mètre. Les pièces injectées, réparties sur les autres niveaux, se divisent en deux types, permettant une gestion optimisée en fonction de leurs caractéristiques.

- Ceux qui sont configurées en 3 couches, avec 1m13 en longueur, et qui représentent 90% de stock.
- Ceux qui sont configurées en 5 couches, avec 1m41 en longueur, et qui représentent 10% de stock.

En éliminant les racks 24, 25, 34, 35, où est installé le système sprinkler en vue de garantir une protection contre les incendies, la répartition se fera en fonction du pourcentage que représente chaque type. La répartition sera donc la suivante :

- ✓ 22 Rack s, sol+6 pour le rangement de premier type

$$170 + (14 \times 6) + (113 \times 5) = 819 < 900$$

- ✓ 2 Racks, sol+5 pour le rangement de deuxième type

$$170 + (14 \times 5) + (141 \times 5) = 804 < 900$$

- ✓ Rack 4/5/45/46/52/53 ; stockage de l'article Z, qui représente 1m10 en longueur

- ✓ Pour R53/46/45 qui sont conçus avec des échelles de type Feralco

$$900 - ((14 \times 6) + 110) = 706 / 5 = 141$$

$$110 + (14 \times 6) + (130 \times 5) = 844 < 900$$

- ✓ Pour R4/5/52 qui sont conçus avec des échelles de type Stow

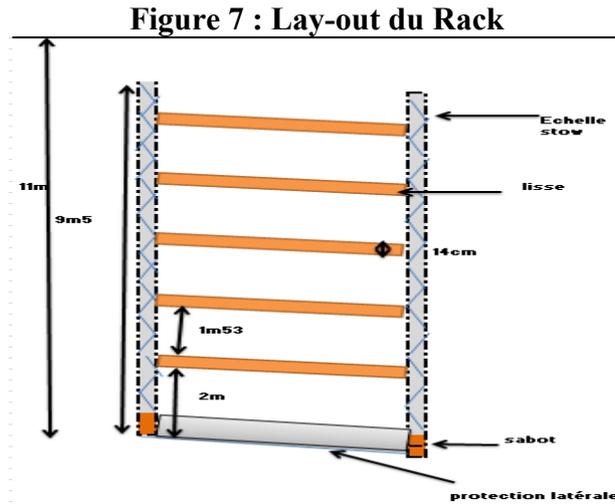
$$950 - ((14 \times 6) + 110) = 756 / 5 = 151$$

$$110 + (14 \times 6) + (140 \times 5) = 894 < 950$$

² Emirates logistics, TAC2, Tanger, Maroc

➤ **Scénario 3 : concevoir six rayonnages de type sol+5 au niveau de la zone masse 2.**

- **Cas1** : les concevoir horizontalement, en face des rayonnages Sol+5, est nécessaire car les articles stockés en zone de masse représentent des dimensions spécifiques, dépassant 1,80 mètre en longueur.



Source : Auteurs

✓ $900 - (200 + (14 * 5)) = 900 - 270 = 630$
 $630 / 4 = 157.5$

Tableau 8 : l'état de stock 2

Echelles		45 (Feralco)	55 (stow)
Lisses	3,9	40	
	3,6	100	
	3,3	118	
	2,7	6	

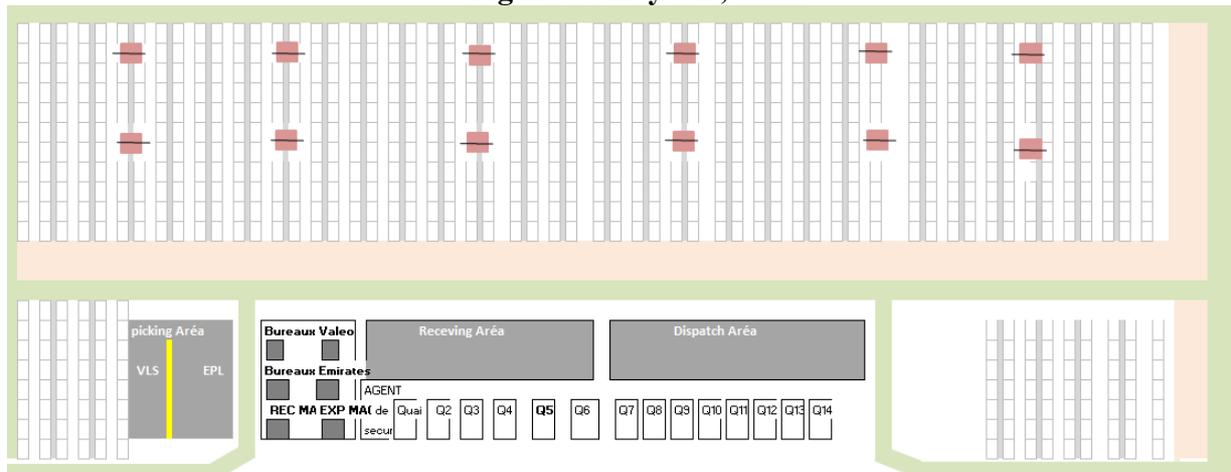
Source : Auteurs

Tableau 9 : le besoin

	Echelles	Lisses	Protections Latérales	Sabots	Les entretoises
Total	96	420	8	32	35
					24

Source : Auteurs

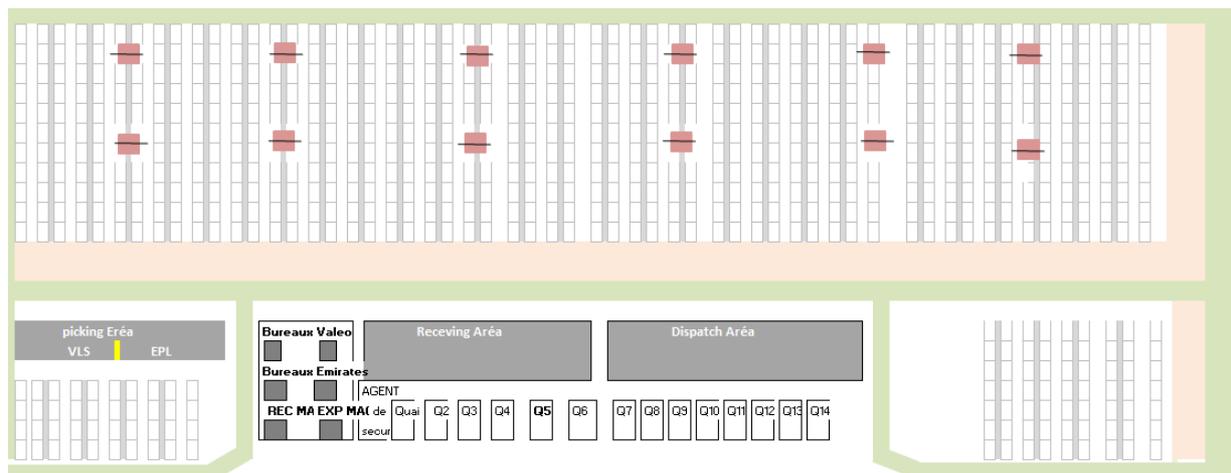
Figure 8 : Lay-out, état 3



Source : Auteurs

- **Cas2** : concevoir les rayonnages verticalement, Suite à une demande de l’administration, qui souhaite préserver la vue panoramique, nous proposons le plan suivant :

Figure 9 : Lay-out, état 4



Source : Auteurs

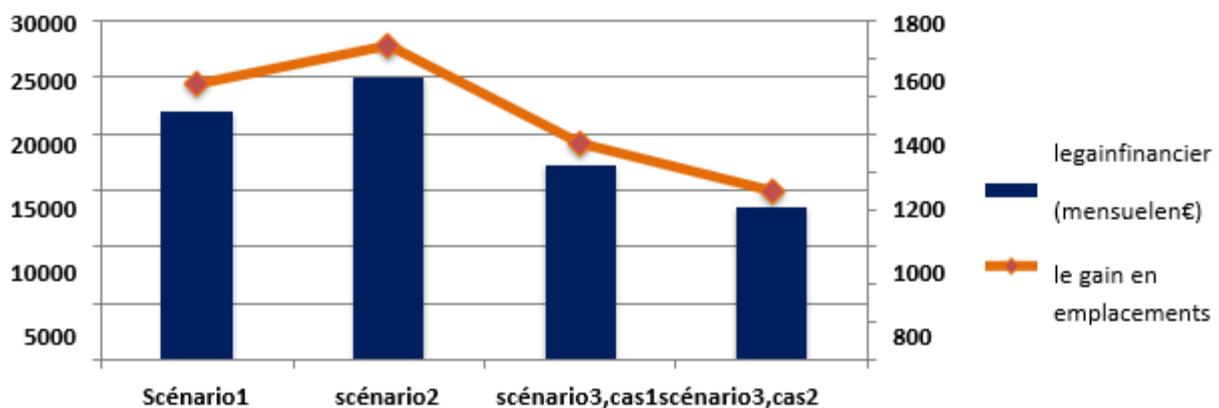
➤ Donc un acte d'achat doit être effectué afin de mettre en place les deux derniers scénarios.

-587 lisses pour le deuxième scénario.

-420 lisses pour le troisième scénario.

✓ Avec ce scénario la société a pu avoir un gain de 1152 emplacements pour le premier cas, et 900 pour le deuxième.

Figure 10 : Le Gain



Source : Auteurs

3. Discussion

3.1. Le rôle des nouvelles technologies au service de l'environnement

La science de la mesure pour la durabilité de la fabrication n'est pas aussi mature que pour le temps et le coût et constitue un domaine de recherche actif. La nécessité de mieux comprendre et maîtriser les impacts de ces systèmes sur la durabilité augmente, à mesure que la productivité et l'agilité des systèmes de fabrication augmentent aussi. La durabilité de la fabrication est définie en termes d'impact environnemental (comme l'énergie et les ressources naturelles), de la viabilité économique, ainsi que de sécurité et de bien-être des employés. (Julien, Nathalie • Martin 2020).

Citons quelques avantages apportés par le système de gestion des entrepôts sur l'aspect écologique de notre planète :

Le système de gestion des entrepôts assure une gestion parfaite des emplacements, il attribue selon différents critères tels que les caractéristiques des articles, la fréquence de mouvement, il permet aussi de planifier les itinéraires les plus optimal ce qui permet non seulement d'éliminer les trajets inutiles, le temps de déplacement et la consommation du carburant mais aussi d'optimiser l'espace de stockage, il s'agit aussi de limiter les déplacements inutiles et la consommation d'énergies, à titre de comparaison l'étude de (Andiyappillai 2020), les tableaux de bord et rapports KPI automatisés permet une meilleure visibilité, grâce à un gain de temps de 38% dans la génération de ces rapports par rapport techniques manuelles, permettant d'identifier les sources d'inefficacité plus rapidement, facilitant aussi la prise de décision en faveur de solutions durables, en favorisant la stratégie de zéro papier, ce qui permet non seulement de communiquer les données avec les parties prenantes mais aussi à identifier les possibilités d'améliorations dans les domaines où elle est à la traîne.(Andiyappillai 2020),

La rotation des stocks, le système de gestion des entrepôts traite les articles selon la technique de FIFO, en s'assurant que les articles anciens seront traités en premier, ce qui minimise le risque de péremption ainsi que les déchets.

L'optimisation d'espace de stockage, cela permet de diminuer le besoin de construire de nouveaux bâtiments, et alors réduire l'empreinte carbone y associée et d'entretiens de ces nouveaux espaces.

Un bon système de gestion d'entrepôt favorise un entreposage plus respectueux de l'environnement en réduisant le gaspillage d'espace et le nombre de mouvements inutiles de matériaux, afin d'assurer un flux continu et rapide de matériaux et de maintenir les coûts de chauffage et de refroidissement à un niveau minimum(Minashkina, n.d.), l'optimisation est au cœur du WMS, ce qui confère à cette solution logicielle sa capacité à assurer la durabilité des entrepôts. Dans ce qui suit, nous présentons la littérature sur les fonctions déjà connues du WMS qui non seulement réduisent les coûts et le temps des opérations d'entreposage, mais optimisent également les activités d'entreposage, influençant positivement notre environnement en produisant moins d'émissions de CO₂. Le WMS est mentionné dans les principes intrinsèques de la numérisation de la chaîne d'approvisionnement comme celui qui peut garantir le contrôle des flux et de la visibilité en fournissant une transparence et une vélocité en temps réel.(Handfield 2016),

Digitalisation des opérations logistiques grâce à l'utilisation d'un WMS permet de favoriser le concept de zéro papier. En effet, la limitation de l'usage du papier permet de réduire les déchets, sachant que statistiquement parlant, environ 100 kg de terre sont gaspillés pour chaque tonne de papier utilisée, cette stratégie vise alors à répondre à cet enjeu.(Minashkina, n.d.)

Limites

Cette recherche représente une limite principale liée au fait que la littérature qui traite l'aspect écologique des systèmes de gestion des entrepôts est assez restreinte en terme de disponibilité. Malgré cette limites, nous considérons que ce travail est prometteur, combinant différents concepts, WMS, Lean six sigma et la durabilité, offrant une analyse concrète d'un cas réel, servant à une meilleure compréhension de la littérature existante pour combler les lacunes de la recherche.

Conclusion et suggestions d'études futures

L'intégration de concept des technologies avancées issues de L'Industrie 4.0 offre des opportunités pour diffusées les connaissances, Cela permet aux entreprises d'assurer une inter connectivité ainsi que la durabilité. En plus, les solutions numériques permettent des modèles commerciaux durables grâce à une optimisation automatisés des ressources et flux de matières. Les technologies numériques, en particulier celles liées à la gestion ont été identifiés comme des catalyseurs importants des modèles commerciaux du développement durable car ils permettent aux entreprises de partager des données au sein de leurs chaînes d'approvisionnement et d'identifier et de suivre les produits et les matériaux, ce qui améliore leur capacité à conserver de la valeur, et avoir un gain compétitif.(Tranchant, n.d.).

Pour comprendre parfaitement le potentiel que représente le système de gestion des entrepôts (WMS), pour atteindre des objectifs de durabilité, il serait très utile de réaliser des études concernant les apports écologiques que représente le WMS, il est donc recommandé pour les professionnels de la logistique durable de mettre en place un système de gestion des entrepôts, et des indicateurs de performances qui sont durables, ainsi la formation des équipes est essentiel pour garantir leur efficacité. Le gouvernement peut aussi intervenir via des aides ou des dispositifs de labellisation, afin d'accélérer la transition vers une logistique responsable écologiquement.

BIBLIOGRAPHIE

- Andiyappillai, Natesan. 2020. “Digital Transformation in Warehouse Management Systems (WMS) Implementations.” *International Journal of Computer Applications* 177 (45): 34–37. <https://doi.org/10.5120/ijca2020919957>.
- Arif-Uz-Zaman, Kazi, and A M M Nazmul Ahsan. 2014. “Lean Supply Chain Performance Measurement.” *International Journal of Productivity and Performance Management* 63 (5): 588–612.
- Azreen Mustafa, Shaliza, Rosmaini Ahmad, Tan Chan Sin, NN Mansor, Sa Mustafa, R Ahmad, Mac Doi, TC Sin, and MS Jusoh. n.d. “DMAIC Steps Application to Improve Ergonomics Problem: A Case Study in Cofee Manufacturing Industry DMAIC Steps Application to Improve Ergonomics Problem: A Case Study in Coffee Manufacturing Industry.” *Malaysian Journal of Ergonomics* 2022. Vol. 4. <https://www.researchgate.net/publication/363170842>.
- Bartholdi III, John J, and Steven Todd Hackman. 2008. *Warehouse and Distribution Science*. Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems ...
- Chiarini, Andrea, Claudio Baccarani, and Vittorio Mascherpa. 2018. “Lean Production, Toyota Production System and Kaizen Philosophy: A Conceptual Analysis from the Perspective of Zen Buddhism.” *The TQM Journal* 30 (4): 425–38.
- Dies, Agnès, and Thierry Vèrilhac. 2010. *La Démarche Lean*. Afnor éd.
- Dunand, Jean-philippe, Pascal Mahon, Adrian Bangerter, and Laurenz L Meier. 2019. “La Révolution 4 . 0 Au Travail - Collection CERT Avant-Propos,” no. January.
- Faber, Nynke, and Steef L Van de Velde. 2002. “Linking Warehouse Complexity to Warehouse Planning and Control Structure: An Exploratory Study of the Use of Warehouse Management Information Systems.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 32 (5): 381–95.
- Forslund, Helena. 2007. “Towards a Holistic Approach to Logistics Quality Deficiencies.” *International Journal of Quality & Reliability Management* 24 (9): 944–57.
- Ghiani, Gianpaolo, Gilbert Laporte, and Roberto Musmanno. 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley & Sons.
- Gong, Yeming, and Rene De Koster. 2008. “A Polling-Based Dynamic Order Picking System for Online Retailers.” *IIE Transactions* 40 (11): 1070–82.
- Handfield, Rob. 2016. “Preparing for the Era of the Digitally Transparent Supply Chain: A Call to Research in a New Kind of Journal.” *Logistics*. MDPI.
- Julien, Nathalie • Martin, Éric. 2020. *Le Jumeau Numérique, de l'intelligence Artificielle à l'industrie Agile*. Edited by DUNOD.

- Kumar Phanden, Rakesh, Aaryan Sheokand, Kapil Kumar Goyal, Pardeep Gahlot, and Halil Ibrahim Demir. 2022. “8Ds Method of Problem Solving within Automotive Industry: Tools Used and Comparison with DMAIC.” In *Materials Today: Proceedings*, 65:3266–72. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.383>.
- Latouche, Serge. 2003. “L’imposture Du Développement Durable Ou Les Habits Neufs Du Développement.” *Mondes En Développement* 121 (1): 23–30.
- Minashkina, Daria. n.d. *HOW TO USE WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM SUSTAINABLY*.
- Monday, Lea M. 2022. “Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC) Methodology as a Roadmap in Quality Improvement.” *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare* 5 (2): 44–46. <https://doi.org/10.36401/jqsh-22-x2>.
- Moulim, Hamza • Klotz, Frédéric • Lombardo, Laura. 2016. *Réussir Sa Transformation Digitale. RH, Marketing, Data, Logistique*. Edited by Eyrolles. 1st ed. Vol. 343. 978-2-212-56520-1.
- “Qu’est-Ce Que Le Développement Durable ? 1.” n.d.
- Review, Industrial Economics. 2022. “Ecole Supérieure de Management (Algérie),” 02:88–110.
- Sachan, Amit, and Subhash Datta. 2005. “Review of Supply Chain Management and Logistics Research.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 35 (9): 664–705.
- Tranchant, Par Carole. n.d. “L ’ Écologie Industrielle : Une Approche Écosystémique Pour Le Développement Durable,” 203–10.
- Wen, Jinming, Li He, and Fumin Zhu. 2018. “Swarm Robotics Control and Communications: Imminent Challenges for next Generation Smart Logistics.” *IEEE Communications Magazine* 56 (7): 102–7.
- Zhang, Abraham, Wen Luo, Yangyan Shi, Song Ting Chia, and Zhi Hao Xavier Sim. 2016. “Lean and Six Sigma in Logistics: A Pilot Survey Study in Singapore.” *International Journal of Operations & Production Management* 36 (11): 1625–43.
- Zhen, Lu, and Haolin Li. 2022. “A Literature Review of Smart Warehouse Operations Management.” *Frontiers of Engineering Management*. Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0178-9>.
- Andiyappillai, Natesan. 2020. “Digital Transformation in Warehouse Management Systems (WMS) Implementations.” *International Journal of Computer Applications* 177 (45): 34–37. <https://doi.org/10.5120/ijca2020919957>.
- Arif-Uz-Zaman, Kazi, and A M M Nazmul Ahsan. 2014. “Lean Supply Chain Performance Measurement.” *International Journal of Productivity and Performance Management* 63 (5): 588–612.

- Azreen Mustafa, Shaliza, Rosmaini Ahmad, Tan Chan Sin, NN Mansor, Sa Mustafa, R Ahmad, Mac Doi, TC Sin, and MS Jusoh. n.d. "DMAIC Steps Application to Improve Ergonomics Problem: A Case Study in Cofee Manufacturing Industry DMAIC Steps Application to Improve Ergonomics Problem: A Case Study in Coffee Manufacturing Industry." *Malaysian Journal of Ergonomics* 2022. Vol. 4. <https://www.researchgate.net/publication/363170842>.
- Bartholdi III, John J, and Steven Todd Hackman. 2008. *Warehouse and Distribution Science*. Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems
- Chiarini, Andrea, Claudio Baccarani, and Vittorio Mascherpa. 2018. "Lean Production, Toyota Production System and Kaizen Philosophy: A Conceptual Analysis from the Perspective of Zen Buddhism." *The TQM Journal* 30 (4): 425–38.
- Dies, Agnès, and Thierry Vèrilhac. 2010. *La Démarche Lean*. Afnor éd.
- Dunand, Jean-philippe, Pascal Mahon, Adrian Bangerter, and Laurenz L Meier. 2019. "La Révolution 4 . 0 Au Travail - Collection CERT Avant-Propos," no. January.
- Faber, Nynke, and Steef L Van de Velde. 2002. "Linking Warehouse Complexity to Warehouse Planning and Control Structure: An Exploratory Study of the Use of Warehouse Management Information Systems." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 32 (5): 381–95.
- Forslund, Helena. 2007. "Towards a Holistic Approach to Logistics Quality Deficiencies." *International Journal of Quality & Reliability Management* 24 (9): 944–57.
- Ghiani, Gianpaolo, Gilbert Laporte, and Roberto Musmanno. 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley & Sons.
- Gong, Yeming, and Rene De Koster. 2008. "A Polling-Based Dynamic Order Picking System for Online Retailers." *IIE Transactions* 40 (11): 1070–82.
- Handfield, Rob. 2016. "Preparing for the Era of the Digitally Transparent Supply Chain: A Call to Research in a New Kind of Journal." *Logistics*. MDPI.
- Julien, Nathalie • Martin, Éric. 2020. *Le Jumeau Numérique, de l'intelligence Artificielle à l'industrie Agile*. Edited by DUNOD.
- Kumar Phanden, Rakesh, Aaryan Sheokand, Kapil Kumar Goyal, Pardeep Gahlot, and Halil Ibrahim Demir. 2022. "8Ds Method of Problem Solving within Automotive Industry: Tools Used and Comparison with DMAIC." In *Materials Today: Proceedings*, 65:3266–72. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.383>.
- Latouche, Serge. 2003. "L'imposture Du Développement Durable Ou Les Habits Neufs Du Développement." *Mondes En Développement* 121 (1): 23–30.
- Minashkina, Daria. n.d. *HOW TO USE WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM SUSTAINABLY*.

- Monday, Lea M. 2022. “Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC) Methodology as a Roadmap in Quality Improvement.” *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare* 5 (2): 44–46. <https://doi.org/10.36401/jqsh-22-x2>.
- Moulim, Hamza • Klotz, Frédéric • Lombardo, Laura. 2016. *Réussir Sa Transformation Digitale. RH, Marketing, Data, Logistique*. Edited by Eyrolles. 1st ed. Vol. 343. 978-2-212-56520-1.
- “Qu’est-Ce Que Le Développement Durable ? 1.” n.d.
- Review, Industrial Economics. 2022. “Ecole Supérieure de Management (Algérie),” 02:88–110.
- Sachan, Amit, and Subhash Datta. 2005. “Review of Supply Chain Management and Logistics Research.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 35 (9): 664–705.
- Tranchant, Par Carole. n.d. “L ’ Écologie Industrielle : Une Approche Écosystémique Pour Le Développement Durable,” 203–10.
- Wen, Jinming, Li He, and Fumin Zhu. 2018. “Swarm Robotics Control and Communications: Imminent Challenges for next Generation Smart Logistics.” *IEEE Communications Magazine* 56 (7): 102–7.
- Zhang, Abraham, Wen Luo, Yangyan Shi, Song Ting Chia, and Zhi Hao Xavier Sim. 2016. “Lean and Six Sigma in Logistics: A Pilot Survey Study in Singapore.” *International Journal of Operations & Production Management* 36 (11): 1625–43.
- Zhen, Lu, and Haolin Li. 2022. “A Literature Review of Smart Warehouse Operations Management.” *Frontiers of Engineering Management*. Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0178-9>.