

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL  
Spécialité : Management de l'innovation

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
d'ingénieur d'état en Management de l'innovation

**Contribution à l'amélioration de la chaîne logistique par  
l'optimisation de l'entrepôt  
Cas d'application : Pandrol Algérie.**

Présenté par Fatma Zohra MEKIRI

Sous la direction de M. ZOUAGHI Iskander

Présenté et soutenu le (07/07/2020)

Composition du Jury :

Président Mr Wassim BENHASSINE

Promoteur Mr Iskander ZOUAGHI

Examinatrice Mme Nadjwa NOUAL



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL  
Spécialité : Management de l'innovation

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
d'ingénieur d'état en Management de l'innovation

**Contribution à l'amélioration de la chaîne logistique par  
l'optimisation de l'entrepôt  
Cas d'application : Pandrol Algérie.**

Présenté par Fatma Zohra MEKIRI

Sous la direction de M. ZOUAGHI Iskander

Présenté et soutenu le (07/07/2020)

Composition du Jury :

Président Mr Wassim BENHASSINE

Promoteur Mr Iskander ZOUAGHI

Examinatrice Mme Nadjwa NOUAL

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma mère, qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui  
prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur*

*Mon père, pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses  
prières tout au long de mes études.*

*Mes chères sœurs pour leur appui, leur encouragement et leur soutien moral*

*Mes deux frères Adel et Abdel Ghani, mes deux conseillers, et mes amis  
fidèles, qui m'ont assisté dans les moments difficiles.*

*À la mémoire de ma grand-mère, Fatima, j'aurais tant aimé qu'elle soit  
présente. Que Dieu ait son âme dans sa sainte miséricorde.*

*À mes chers neveux et nièces*

*À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, et à  
tous ceux que je n'ai pas cités*

# *Remerciements*

*En tout premier première lieu, je remercie le Bon Dieu, le Tout-Puissant de m'avoir guidé vers le chemin du savoir et de m'avoir donné le courage, la patience et la force.*

*Ma plus grande gratitude va à mon encadreur Monsieur Iskander ZOUAGHI, pour la confiance qu'il m'a accordé, pour son soutien, ses conseils, son orientation.*

*Un grand merci à Monsieur Issam Eddine SEBAI et l'ensemble du personnel de PANDROL Algérie, pour leurs conseils très riches et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux.*

*Enfin, je n'oserais oublier de remercier tout le corps professoral du département Génie Industriel, pour le travail énorme qu'ils effectuent pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.*

# Tables des matières :

Liste des tableaux .....	
Liste des figures .....	
Liste des annexes .....	
Liste des abréviations .....	
INTRODUCTION GENERALE.....	13
Chapitre I : État de l'art.....	15
1 La définition de la Supply Chain.....	16
2 La définition d'entrepôt et de plateforme .....	17
2.1 La disposition de l'espace dans l'entrepôt.....	17
2.1.1 Configuration Flow-through.....	18
2.1.2 Configuration en U .....	18
2.1.3 Configuration hybride.....	19
3 Les systèmes de stockage .....	19
3.1 Système de stockage pour palettes.....	20
3.2 Classification des rayonnages ou racks .....	20
3.3 Systèmes à accès direct aux palettes.....	21
3.4 Le rayonnage statique .....	21
3.5 Les rayonnages mobiles.....	22
3.6 Systèmes par accumulation.....	22
3.7 Systèmes automatiques .....	22
3.8 Le rayonnage dynamique .....	22
4 Palettes et Conteneurs .....	23
4.1 Les palettes .....	23
4.2 Le code international pour distinguer les différents types de carton .....	23
4.3 Le carton ondulé :.....	24
5 La simulation .....	25
6 La gestion de l'entrepôt .....	25
7 Les méthodes de stockage .....	26
8 Analyse de la valeur .....	26
Chapitre II : État des lieux et diagnostique.....	13
Section 01 : Présentation de l'entreprise et état des lieux.....	13
1 Présentation de groupe DELACHAUX .....	30
2 PANDROL.....	32
3 Présentation PANDROL ALGERIE .....	32
3.1 Domaine d'Activité .....	32
3.2 Localisation de l'usine PANDROL ALGÉRIE.....	33

4	État des lieux .....	33
4.1	Bâtiment .....	33
4.2	La zone de stockage de matière première.....	34
4.3	La zone de stockage de produit fini .....	35
4.4	Le produit stocké.....	35
4.5	Les moyens de manutentions .....	36
4.6	Personnelle.....	37
4.7	Processus d'approvisionnement.....	37
4.8	Processus d'achat de la matière première.....	37
4.9	Le déchargement de matières premières .....	38
4.10	Processus de stockage de produit fini.....	38
4.11	Processus de livraison de commande.....	39
4.12	Le processus de planification.....	39
	Section 02 : Diagnostic du fonctionnement de l'entrepôt.....	41
1	La partie statique de l'entrepôt .....	42
1.1	L'unité de charge .....	42
1.2	Le moyen de manutention.....	44
1.3	Le quai.....	44
1.4	L'état de bâtiment et l'arrangement des zones .....	45
2	Dysfonctionnement.....	45
3	Partie dynamique.....	46
3.1	Analyse de l'évolution des stocks par rapport à la capacité de stockage d'entrepôt.....	47
3.2	Évolution de la production de gaine et de butée par pièces .....	48
3.3	Évolution de la production par rapport la capacité de production théorique.....	50
3.3.1	Comparaison entre la production de gaines et de butées .....	50
3.3.2	La production théorique de butée et de gaine .....	51
3.4	Analyse de la contrainte clientèle.....	52
3.4.1	Le contrat entre le client et l'entreprise .....	53
3.4.2	La relation entreprise-client .....	53
	Chapitre III: L'amélioration d'emballage et des configurations .....	42
	Section 01 : Concevoir une solution d'emballage .....	42
1	La solution d'emballage proposée.....	59
3	Les fonctions canoniques d'emballage.....	59
3.1	La première fonction : contenir le produit .....	59
3.2	La deuxième fonction : protéger et assurer la sécurité .....	61
3.3	La troisième fonction : véhiculer un message.....	62
3.4	La quatrième fonction : participer au produit.....	62
4	Les solutions de caisse proposées .....	63

4.1	La première solution : Une caisse à rabat 0202 .....	63
4.2	La deuxième solution : une caisse à rabat 0202 avec séparateur .....	65
4.3	La troisième solution : Une caisse 0411.....	67
5	La relation entre le niveau de rack et l'unité de charge .....	69
5.1	Le choix du conteneur pour les livraisons.....	73
5.2	L'anayse des resultate de l' EasyCargo .....	73
	Section 02 : les configurations de l'entrepôt.....	79
1	Simulation par FlexSim .....	80
1.1	Les objectifs de simulations .....	80
1.2	Collecte des données de base du système .....	81
1.3	Construire le premier modèle de simulation.....	81
2	Les configurations de l'entrepôt .....	83
2.1	Groupe 1 : Rayonnage à double profondeur .....	84
2.1.1	Rayonnage à double profondeur disposé par largeur.....	85
2.1.2	Rayonnage à double profondeur disposé par longueur.....	87
2.2	Groupe 2 : Rayonnage simple .....	88
2.2.1	Rayonnage simple disposé par largeur .....	89
2.2.2	Rayonnage simple disposé par longueur .....	90
2.3	Groupe 3 : Rayonnage par accumulation .....	91
2.3.1	Rayonnage par accumulation disposé par largeur .....	92
2.3.2	Rayonnage par accumulation disposé par longueur .....	93
2.4	Groupe 4 : Rayonnage dynamique .....	94
2.4.1	Rayonnage dynamique avec un chariot élévateur .....	95
2.4.2	Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu.....	96
2.4.3	Rayonnage dynamique avec un convoyeur.....	97
2.4.4	Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable.....	98
3	Le choix de système de stockage .....	100
	Conclusion Générale .....	102
	Bibliographie .....	104
	Annexes .....	106

# Liste des tableaux :

TABLEAU 1 : LES CINQ TYPES DE CANNELURES .....	24
TABLEAU 2 : LES OUTILS DE L'ANALYSE DE LA VALEUR .....	27
TABLEAU 3 : LA LISTE DES ACQUISITIONS.....	30
TABLEAU 4 : LES CARACTERISTIQUES DE L'UNITE DE CHARGE ET L'UNITE DE COMMANDE UTILISEES DANS L'ENTREPRISE .....	42
TABLEAU 5 : LES DYSFONCTIONNEMENTS DE LA PARTIE STATIQUE .....	46
TABLEAU 6 : COMPARAISON ENTRE PRODUCTION DE GAINÉ ET PRODUCTION DE BUTÉE .....	51
TABLEAU 7 : LA PRODUCTION DANS L'USINE .....	51
TABLEAU 8 : LES CAPACITES THEORIQUES DE PRODUCTION DE GAINÉ ET DE BUTÉE .....	51
TABLEAU 9 : LES CARACTERISTIQUES DE GAINÉ ET DE BUTÉE.....	60
TABLEAU 10 : LA PREMIERE SOLUTION, LA CAISSE A RABAT 0202.....	63
TABLEAU 11 : LA DEUXIEME SOLUTION, LA CAISSE A RABAT 0202 AVEC SEPARATEUR .....	66
TABLEAU 12 : LA TROISIEME SOLUTION, LA CAISSE DE 0411 .....	68
TABLEAU 13 : LES MARGES A PREVOIR DANS LES ALLEES (3).....	70
TABLEAU 14 : LES CALCULS DES CAPACITES DES NIVEAUX .....	70
TABLEAU 15 : LA QUANTITE DES PIECES DANS LE LOT AVANT ET APRES L'OPTIMISATION .....	73
TABLEAU 16 : LES RESULTATS DE EASYCARGO .....	76
TABLEAU 17 : LES ELEMENTS COMMUNS DANS TOUS LES MODELES.....	82
TABLEAU 18 : LES ELEMENTS DE SIMULATION POUR LE MODELE AVEC STOCKAGE AU SOL.....	82
TABLEAU 19 : LES CARACTERISTIQUES CONCERNENT LE GROUPE 1 DE CONFIGURATION.....	85
TABLEAU 20 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LARGEUR .....	86
TABLEAU 21 : RAYONNAGES A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LARGEUR .....	86
TABLEAU 22 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LONGUEUR .....	87
TABLEAU 23 : RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LONGUEUR.....	87
TABLEAU 24 : LES CARACTERISTIQUES CONCERNENT LE GROUPE 2 DE CONFIGURATION.....	89
TABLEAU 25 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE SIMPLE POSITIONNE PAR LARGEUR .....	89
TABLEAU 26 : RAYONNAGE SIMPLE POSITIONNE PAR LARGEUR .....	90
TABLEAU 27 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE SIMPLE POSITIONNE PAR LONGUEUR.....	90
TABLEAU 28 : RAYONNAGE SIMPLE POSITIONNE PAR LONGUEUR .....	91
TABLEAU 29 : LES CARACTERISTIQUES CONCERNENT LE GROUPE 3 DE CONFIGURATION.....	92
TABLEAU 30 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LARGEUR.....	92
TABLEAU 31 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LARGEUR .....	92
TABLEAU 32 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LONGUEUR .....	93
TABLEAU 33 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LONGUEUR.....	93
TABLEAU 34 : LES CARACTERISTIQUES CONCERNENT LE GROUPE 4 DE CONFIGURATION.....	95
TABLEAU 35 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGES DYNAMIQUES AVEC UN CHARIOT ELEVATEUR.....	95
TABLEAU 36 : RAYONNAGES DYNAMIQUES AVEC UN CHARIOT ELEVATEUR .....	95
TABLEAU 37 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN TRANSSTOCKEUR AU MILIEU .....	96
TABLEAU 38 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN TRANSSTOCKEUR AU MILIEU.....	96
TABLEAU 39 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CONVOYEUR.....	98
TABLEAU 40 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CONVOYEUR .....	98
TABLEAU 41 : COMPARAISON ENTRE LES CONFIGURATIONS D'ENTREPOT.....	101

# Liste des figures :

FIGURE 1 : CONFIGURATION FLOW-THROUGH.....	18
FIGURE 2 : CONFIGURATION EN U.....	19
FIGURE 3 : CONFIGURATION HYBRIDE.....	19
FIGURE 4 : LES ELEMENTS D'UN RACK (7).....	20
FIGURE 5 : LA CLASSIFICATION DES RACKS (6 P. 7).....	21
FIGURE 6 : LES QUATRE MODELES DE LA PALETTE EN BOIS.....	23
FIGURE 7 : LES QUATRE TYPES DE CARTON ONDULE.....	24
FIGURE 8 : L'EXISTENCE DE GROUPE DELACHAUX DANS LE MONDE.....	31
FIGURE 9 : LE SYSTEME D'ATTACHE NABLA.....	33
FIGURE 10 : LE PLAN DE MASSE DE L'USINE PANDROL ALGERIE (SOURCE PANDROL).....	34
FIGURE 11 : LA ZONE DE STOCKAGE DE MATIERE PREMIERE.....	35
FIGURE 12 : LA ZONE DE STOCKAGE PRODUIT FINI.....	36
FIGURE 13 : PROCESSUS DE STOCKAGE DE PRODUIT FINI.....	39
FIGURE 14 : LE PROCESSUS DE PLANIFICATION.....	40
FIGURE 15 : UNE PALETTE CHARGEE.....	43
FIGURE 16 : UN FOURGON MASTER 3.35 M.....	44
FIGURE 17 : L'EVOLUTION DE STOCK PAR RAPPORT LA CAPACITE DE STOCKAGE D'ENTREPOT.....	47
FIGURE 18 : COMPARAISON ENTRE LE SUR-STOCKAGE ET LA CAPACITE DE STOCKAGE.....	48
FIGURE 19 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE GAINÉ PAR PIÉCES.....	49
FIGURE 20 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE BUTÉE.....	49
FIGURE 21 : COMPARAISON ENTRE LA PRODUCTION DE GAINÉ ET DE BUTÉES.....	50
FIGURE 22 : ÉVOLUTION DE PRODUCTION DE LA GAINÉ.....	52
FIGURE 23 : LA VARIATION DES PRIX D'UN APPEL D'OFFRE.....	53
FIGURE 24 : LES DISTRIBUTIONS DES LIVRAISONS DE GAINÉ.....	54
FIGURE 25 : LES DISTRIBUTIONS DES LIVRAISONS DE BUTÉES.....	54
FIGURE 26 : LE PLAN DE DISPOSITION DES CAISSES A RABAT 0202.....	65
FIGURE 27 : UN DESSIN D'UN SEPARATEUR EN 3D PAR FLEXSIM.....	65
FIGURE 28 : LE PLAN DE DISPOSITION DES CAISSES UNE CAISSE A RABAT 0202 AVEC SEPARATEUR.....	67
FIGURE 29 : LA CAISSE 0411 AVEC LE DESIGN DE POINT D'OUVERTURE.....	67
FIGURE 30 : LE PLAN DE DISPOSITION DES CAISSES DE 0411 SUR LA PALETTE.....	69
FIGURE 31 : LES JEUX DE MANŒUVRES.....	70
FIGURE 32 : LE PROCESSUS A MODELISER.....	82
FIGURE 33: MODELE STOCKAGE AU SOL PAR FLEXSIM.....	83
FIGURE 34 : LE PLAN DE L'USINE QUI EXPRIME LA LOCALISATION DES ZONE.....	84
FIGURE 35 : RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LARGEUR.....	86
FIGURE 36 : RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LONGUEUR.....	88
FIGURE 37 : RAYONNAGE SIMPLE POSITIONNE PAR LARGEUR.....	90
FIGURE 38 : RAYONNAGE SIMPLÉS POSITIONNE PAR LONGUEUR.....	91
FIGURE 39 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LARGEUR.....	93
FIGURE 40 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LONGUEUR.....	94
FIGURE 41 : RAYONNAGES DYNAMIQUE AVEC UN CHARIOT ELEVATEUR.....	96
FIGURE 42: RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN TRANSSTOCKEUR AU MILIEU.....	97
FIGURE 43 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CONVOYEUR.....	98
FIGURE 44 : LA CAPACITE DE CONFIGURATION, RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CHARIOT A MAT INCLINABLE.....	99
FIGURE 45 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CHARIOT A MAT INCLINABLE.....	99
FIGURE 46 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CHARIOT A MAT INCLINABLE.....	99

## Liste des annexes :

ANNEXE 1 : PROCESSUS D'ACHAT DE MATIERE PREMIERE.....	106
ANNEXE 2 : PROCESSUS D'ACHAT DE DECHARGEMENT DE MATIERES PREMIERES .....	107
ANNEXE 3 : LES ELEMENTS DE SIMULATION POUR TOUS LES MODELES .....	108
ANNEXE 4 : RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LARGEUR .....	110
ANNEXE 5 : RAYONNAGE A DOUBLE PROFONDEUR POSITIONNE PAR LONGUEUR .....	110
ANNEXE 6 : RAYONNAGE SIMPLES POSITIONNE PAR LONGUEUR .....	111
ANNEXE 7 : RAYONNAGE SIMPLES POSITIONNE PAR LARGEUR.....	111
ANNEXE 8 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LARGEUR .....	112
ANNEXE 9 : RAYONNAGE PAR ACCUMULATION DISPOSE PAR LONGUEUR .....	112
ANNEXE 10 : RAYONNAGES DYNAMIQUES AVEC UN CHARIOT ELEVATEURS .....	113
ANNEXE 11 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN TRANSSTOCKEUR AU MILIEU.....	113
ANNEXE 12 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CONVOYEUR .....	114
ANNEXE 13 : RAYONNAGE DYNAMIQUE AVEC UN CHARIOT A MAT INCLINABLE .....	114

## Liste des abréviations :

PDR : pièces de rechange

CA : chiffre d'affaires

SAS : société par action simplifiées

FEFCO : le code international pour distinguer les différents types de carton

LIFO : dernier arriver première sortie

FIFO : première entre première sortie

AF : L'analyse fonctionnelle

CDCF : Cahier des charges fonctionnel

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تحسين أداء سلسلة الخدمات اللوجستية PANDROL الجزائر من خلال تحسين العمليات في مستودع المنتجات النهائية. يبدأ العمل بتشخيص حالة الشركة مع تحديد حالة مستودع للمنتجات النهائية ، وذلك لإلقاء الضوء على المشكلة ، وبالتالي تحديد الاختلالات المتعلقة بسلسلة التوريد. ثم توصلنا إلى حل للمشكلة الأولية ، أي عن طريق تحسين سلسلة التوريد النهائية ، حيث قسمناها إلى مرحلتين:

- يتناول الجزء الأول تحسين طريقة تغليف وتعليب المنتجات النهائية.
  - الجزء الثاني يتناول نظام التخزين المعتمد. في هذا الجزء ، اقترحنا العديد من التكوينات ، من أجل اختيار أفضلها ، لذلك استخدمنا FlexSime لنمذجة التكوينات بتقنية ثلاثية الأبعاد.
- الكلمات الرئيسية: سلسلة التوريد ، المستودع ، التحسين ، التعبئة والتغليف ، الرفوف.

## Abstract

The objective of this work is to contribute in the improvement of PANDROL Algeria supply chain performance, by optimizing the finished product warehouse processes . The study and work begins with a full diagnosis on the state of the company and more specifically on the finished product warehouses, with the aim of summarizing the problematic, as well as identifying the dysfunctions of the supply chain process.

Afterwards, we approved a solution to the problem by optimizing the supply chain on downstreaming. The process is divided into two parts, namely:

- The first part concerns packaging and conditioning, by improving packing.
- The second part concerns the adopted storage system, in this part, we will introduce several configurations, in order to select the best one, consequently FlexSime used for modeling the configurations in 3D.

**Key words :** supply chain, warehouse, optimization, packaging, racks.

## Résumé

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la performance de la chaîne logistique de PANDROL Algérie, par l'optimisation des processus dans l'entrepôt de produit fini. Le travail commence par un diagnostic sur l'état de l'entreprise et plus particulièrement sur l'état de son entrepôt de produit fini, dans le but de faire ressortir la problématique, ainsi d'identifier les dysfonctionnements liés à la chaîne logistique.

Par la suite, on a proposé une solution à la problématique initiale par une solution sur l'optimisation la chaîne logistique en aval. Cette solution est divisée en deux parties à savoir :

- La première partie traite le problème du conditionnement, par l'amélioration de l'emballage
- La deuxième partie élargie la solution au système de stockage adopté. Dans cette partie, on a proposé plusieurs configurations, dans le but de choisir la meilleure, en conséquence on a utilisée FlexSime pour modéliser les configurations en 3D.

**Mots clés :** Chaîne logistique, entrepôt, optimisation, emballage, rayonnages.

# *Introduction Générale*

## INTRODUCTION GENERALE:

Les projets de tramway en Algérie ont vu une renaissance depuis 2011, avec le lancement de la première ligne de tramway à Alger. Plus tard, l'Algérie a lancé plus de 14 projets de tramway, mais seulement quatre sont terminés, à savoir le tramway de Constantine en 2013, le tramway d'Oran en 2013 et le tramway de Sidi Bel Abbès en 2017, ainsi que le tramway de Stif en 2018.

« Ces projets qui étaient sur le point d'être lancés après la désignation des sociétés de réalisation ont dû être gelés, en 2015, en raison de la conjoncture financière difficile que connaissait le pays suite à la dégringolade des cours de pétrole, a rappelé le ministre. Se voulant rassurant le ministre a précisé que « le gel desdits projets ne signifie pas leur annulation », affirmant que leur lancement se fera « par ordre de priorité » (1)

En revanche, les projets concernant la mobilité urbaine ne s'arrêtent pas, vue leur importance dans la facilitation des déplacements. Le tramway ayant un mode de consommation qui conserve l'énergie et diminue la pollution dans les villes, et étant un mode de déplacement pratique et adapté pour les personnes à mobilité réduite, il demeure le plus demandé par rapport à d'autres moyens de transport collectif.

De ce fait, un projet de tramway se déroule sur plusieurs étapes. Ce sont des étapes complexes qui n'admettent pas de faille, surtout concernant la réalisation de la plateforme de circulation du tramway. Dans ce contexte, PANDROL Algérie joue un rôle déterminant dans la mission de l'élaboration des projets de tramway, ainsi que la rénovation des rails. C'est la première entreprise en Algérie, qui offre à ses clients les systèmes de fixation élastique de Rail NABLA, pour les traverses en béton, qui permettent la construction des rails. Pour plusieurs années, PANDROL était la seule entreprise sur le marché algérien, chose qui n'est plus d'actualité, car des entreprises algériennes ont été créées offrant le même produit. Actuellement, le marché ne se présente pas comme un monopole, et une concurrence intense y est constatée. Dans ces conditions, PANDROL recherche à améliorer ses activités et ses produits, et optimise ses coûts pour les transformer en un avantage compétitif.

Lorsque l'entreprise cherche à accroître ses profits, elle s'oriente souvent vers des solutions d'optimisation de ses coûts, et principalement ses coûts logistiques. L'intérêt de l'amélioration de la performance de la chaîne logistique concerne principalement la partie en aval, ainsi que la partie en amont. Dans ce contexte, l'optimisation de l'entrepôt est une partie primordiale dans l'optimisation de la chaîne logistique. Par ailleurs, dans la stratégie de croissance de l'entreprise, l'entrepôt demeure un maillon clé, et son optimisation apporte des résultats tangibles en termes de rentabilité et d'efficacité des processus.

Vu l'importance de maîtrise des coûts logistiques, pour faire face au concurrent d'une part, et pour améliorer le service donné aux clients et répondre à leurs exigences d'autre part, PANDROL est impliqué dans un projet d'optimisation de la chaîne logistique et plus précisément dans l'amélioration de la performance de son entrepôt.

Bien qu'un entrepôt présente un espace de stockage, il réalise plusieurs fonctions logistiques, qui peuvent faire la différence dans le coût de stockage, la qualité de produit stocké et même

le prix de produit. La configuration actuelle de l'entrepôt de PANDROL représente un goulot d'étranglement, car elle ne permet pas d'assurer la synchronisation entre les flux en amont et en aval. En revanche, ce problème est le résultat d'un déséquilibre entre la production et l'espace dédié au stockage de produits finis. D'ailleurs un constat visuel permet de constater que des quantités importantes de produits finis sont stockées en dehors de l'entrepôt.

Par conséquent, plusieurs systèmes de stockage permettent d'augmenter la capacité de l'entrepôt et remédier ainsi à ce problème. L'utilisation de différent type des rayonnages et des moyens de manutention, ainsi que les moyens de transport et les systèmes de stockage, mais également, la combinaison entre ces différents éléments permettent-ils d'assurer une meilleure performance du stockage, et donc de la chaîne logistique ?

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études et se décline en plusieurs sous-questions : d'abord (1) quel est l'emballage le plus conforme et le plus adapté aux types de produits de l'entreprise ? (2) quelle est la configuration de l'entrepôt la plus adéquate, et qui permet de maximiser la capacité de stockage ? (3) quels sont les moyens de transport et de manutention les plus à même d'apporter des améliorations dans le mouvement des marchandises et dans la réalisation des tâches ?

Notre travail s'inscrit avec le cadre théorique intégrant la définition de la chaîne logistique, l'évaluation des coûts de manutention et de stockage, le choix et la configuration de l'entrepôt. Ainsi, afin de répondre aux questions précédentes, le travail est structuré en trois chapitres, répartis comme suit :

Chapitre I : Ce chapitre aborde les aspects théoriques de notre travail. Ce dernier est amorcé par la présentation de l'état de l'art, dans le but de structurer une base théorique à notre problématique. Nous commencerons dans un premier temps par présenter la notion de supply chain afin de spécifier la portée des décisions initiées. Nous aborderons par la suite la notion d'entrepôt et de plateforme, comme étant un maillon stratégique de la supply chain. Ceci ne nous amènera pas la suite de spécifier les configurations et les systèmes de stockage qui permettent d'améliorer la performance globale. Nous terminerons enfin par présenter les unités de charges adaptées, en l'occurrence les palettes et les conteneurs. L'état de l'art permettra ainsi d'identifier le cadre d'analyse et les problématiques potentielles relatives à la performance de l'entrepôt.

Chapitre II : Ce chapitre concerne l'état des lieux et le diagnostic de l'entreprise étudiée, à savoir Pandrol. Il est réparti en deux sections, la section état des lieux qui permet de présenter l'entreprise et son secteur d'activité, ainsi que l'état de sa structure physique et de ces processus en place. La deuxième section concerne le diagnostic statique, dans le but d'envisager les éléments invariants de l'entrepôt. Par la suite, le travail sera orienté vers le diagnostic dynamique afin d'anticiper sur les flux qui circulent, et les éléments contrôlables dans l'entreprise.

Chapitre III : Dans ce troisième et dernier chapitre, on propose une solution à la problématique. La résolution est ainsi fragmentée en deux sections. La première vise à trouver une solution pour l'emballage, et la deuxième traite les configurations développées pour l'entrepôt.

# *Chapitre I : État de l'art*

## Introduction

Dans le but de cerner la problématique et d'amorcer la réflexion sur la solution, ce chapitre aborde l'état de l'art concernant les concepts théoriques relatifs à la supply chain, aux entrepôts, et plus spécifiquement à la disposition des espaces et aux types des systèmes de stockage, ainsi que les types des racks ou palettiers et la gestion d'entrepôts. Nous terminerons avec la présentation des unités de charge, ainsi que les conteneurs.

### 1 La définition de la Supply Chain

La Supply Chain rassemble toutes les activités, les processus et les pratiques de gestion de flux qui assurent la livraison d'une commande. Elle touche toute la chaîne de valeurs dès la conception des produits et services jusqu'au consommateur final. Cela est confirmé par plusieurs auteurs : « *La Chaîne Logistique regroupe toutes les activités associées aussi bien au flux physique par transformation de bien depuis l'étape de matière première jusqu'au client final, qu'au flux informationnel.* » (2)

Ainsi la Supply Chain touche tous les réseaux et les acteurs actifs avec l'entreprise comme les prestataires et les fournisseurs. D'ailleurs Le Moigne (2017, p.10) l'a définie comme : « *Un réseau d'organisations (fournisseurs, usines, distributeurs, clients, prestataires logistiques) qui participent à la fabrication, la livraison et la vente d'un produit à un client.* ».

Les activités menées dans la supply chain, notamment à travers la fabrication de produit, ou la distribution, forment des flux. Ces flux peuvent être structurés en fonction de la nature des activités en trois types :

- Le flux physique : il concerne le mouvement de marchandise, depuis la matière premiers jusqu'aux produits finis. Ainsi, le mouvement allant du site de production vers un entrepôt, pour ensuite être transféré vers un point de vente ou un client final.
- Le flux d'information : il est présent à tous les niveaux de l'entreprise, dans le but de garder une visibilité entre toutes les activités et assurer le bon fonctionnement de la chaîne. Ainsi, il garantit un échange entre tous les partenaires internes et externes de l'entreprise et permet la coordination des opérations aux flux de matières.
- Le flux financier : il constitue les flux monétaires générés à travers les processus et les activités de la supply chain. Il peut aussi être considéré comme une information sur tous les mouvements d'argent vers les partenaires, à savoir les fournisseurs, les clients, les sous-traitants, ainsi qu'au sein de l'entreprise.

La marchandise passe par plusieurs processus et maillons dans la chaîne logistique, avant que le client ne la réceptionne. L'entrepôt est considéré comme un maillon principal qui joue plusieurs rôles, en l'occurrence le stockage des produits et des marchandises, la satisfaction de la commande client, avec les quantités désirées et les délais déterminés. Ainsi, on peut dire qu'il joue le rôle de régulateur des flux.

## 2 La définition d'entrepôt et de plateforme

L'entrepôt est un bâtiment disposant d'une accessibilité poids lourds, dont la mission principale est d'abriter une activité de stockage, de distribution, ou d'expédition de marchandises. Il est dimensionné et équipé en fonction du volume de travail et de la nature des marchandises gérées dans le stock. Si le rôle primordial d'un entrepôt est le rangement et le stockage des produits, il toutefois est impossible de se suffire à cette unique mission. En effet, un entrepôt central bien conçu doit être capable de remplir plusieurs fonctions dès l'arrivée de chargement à l'expédition des commandes (3).

- 1) La bonne réception de tous les produits ; compris dans l'activité industrielle de l'entreprise propriétaire de l'entrepôt.
- 2) La vérification de qualité de marchandise arrivée.
- 3) L'identification de produit stocké.
- 4) Le stockage approprié des marchandises.
- 5) La préparation des commandes destinées aux entrepôts régionaux et aux clients
- 6) L'expédition rapide des commandes

On appelle plateforme un immeuble dans lequel les marchandises sont stockées sur une durée de temps limitées, dans le cadre d'une opération de groupage. La plateforme est un lieu où est réalisé le Cross-docking. Il désigne donc l'endroit où la marchandise est réceptionnée pour la réexpédier dans un délai très court. Le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer française distingue l'entrepôt et la plate-forme par cette définition « *On appelle entrepôt un bâtiment dans lequel les marchandises sont stockées plus de 24 heures. Ces entrepôts sont souvent munis d'étagères (racks) pour le rangement des palettes ou des colis. On appelle plate-forme un bâtiment dans lequel les marchandises sont stockées sur une durée de temps très limitée (moins de 24 h), dans le cadre d'une opération de dégroupage et de groupage. Une plate-forme n'est pas équipée d'étagères, les marchandises restant sur le quai dans l'attente de leur prise en charge.* » (4 p. 19)

Ces deux notions qui sont au cœur de la supply chain globale, influent sur la performance de l'entreprise, notamment les délais, les coûts et la qualité du service. Par conséquent, la maîtrise de ces entités de stockage représenterait une clé de succès des industries.

### 2.1 La disposition de l'espace dans l'entrepôt

L'arrangement de l'espace dans l'entrepôt est très important. Représentant une question simple en apparence, elle peut néanmoins s'avérer très complexe dans la pratique. En général, pour maîtriser les flux physiques dans l'entrepôt, il vaut mieux comprendre le fonctionnement de ces flux. Ainsi, l'entrepôt est divisé en trois zones, selon la nature de l'activité et des opérations (5)

- Zone de réception : elle représente l'endroit d'accueil et de contrôle qualitatif et quantitatif de la marchandise.
- Zone de stockage : cette zone uniquement destinée au stockage de la marchandise.
- Zone d'expédition : cette zone est destinée à l'accumulation des marchandises destinée à l'expédition, en attendant le chargement sur les véhicules de livraison ou de distribution.

Quelle que soit la situation, la répartition générale d'une installation et l'arrangement de ces trois zones, l'entrepôt doit aller de pair avec un bon système de stockage, une structure qui couvre plusieurs besoins. D'ailleurs, Mecalux (2011) stipule qu'un meilleur arrangement est celui qui répondra plus aux besoins de l'entrepôt à savoir :

- L'exploitation optimale de l'espace ;
- La réduction au minimum de la manipulation de la marchandise ;
- La facilitation de l'accès au produit stocké ;
- Le meilleur taux de rotation ;
- La flexibilité maximale de mise en place du produit ;
- La simplification du contrôle des quantités stockées ;

### 2.1.1 Configuration Flow-through

Cette combinaison (cf. Figure 1) s'appelle l'arrangement par flux continu, avec un aménagement des espaces dans l'entrepôt sous forme de I. Toutes les zones sont placées dans la même ligne et la zone de réception et d'expédition sont disposées aux extrémités opposées de l'entrepôt. La constitution en flux continu convient aux espaces longs et étroits à travers lesquels transitent un grand nombre de colis. Généralement, on trouve ce type de configuration dans les entrepôts qui demandent le même processus d'emballage et de stockage ou ils ont plusieurs tâches en communs (5).



Figure 1 : Configuration Flow-through

### 2.1.2 Configuration en U

Il a récemment été proposé par Gerking (2009), mais également par Harald Gerking (2011) pour les entrepôts d'articles à mouvement lent. La configuration en U (cf. Figure 2) se compose de deux allées verticales : la zone de réception et la zone d'expédition, qui sont reliées par la zone de stockage. Il est plus flexible dans l'utilisation de l'espace tel que la même zone d'expédition puisse être exploitée pour la réception ou pour d'autres activités. Généralement, on trouve ce genre de configuration dans les entrepôts où l'ensemble des produits réceptionnés ont besoin des mêmes opérations d'emballage, de stockage et de manutention (5).

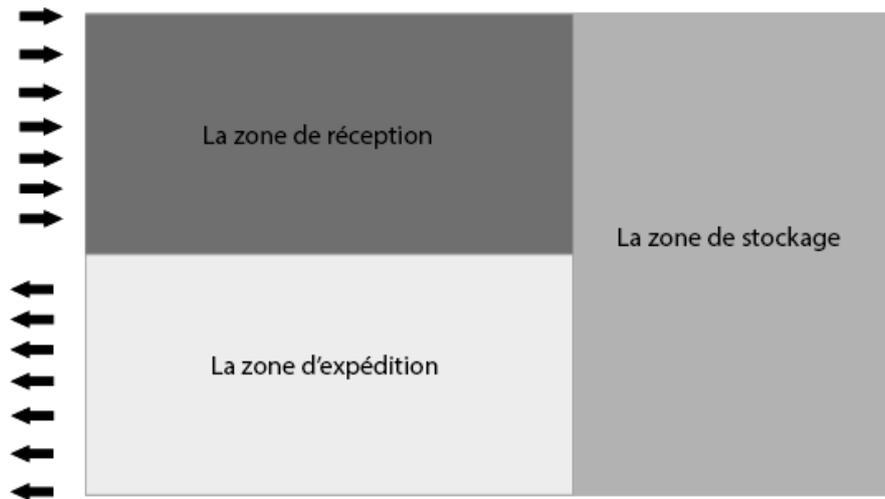


Figure 2 : Configuration en U

### 2.1.3 Configuration hybride

Les zones dans cet arrangement sont ni alignées et reliées par la zone de stockage comme la configuration Flow-through, et ni rangées sous forme de U comme la configuration en U. Dans cette configuration, les zones de réception et d'expédition n'ont pas une place bien précise au niveau de l'entrepôt. Ce type de configuration est utilisé pour simplifier les flux des matières et des marchandises lourdes. Ainsi, on le trouve dans les entrepôts qui ont des activités et des processus qui varient en fonction de produits stockés.

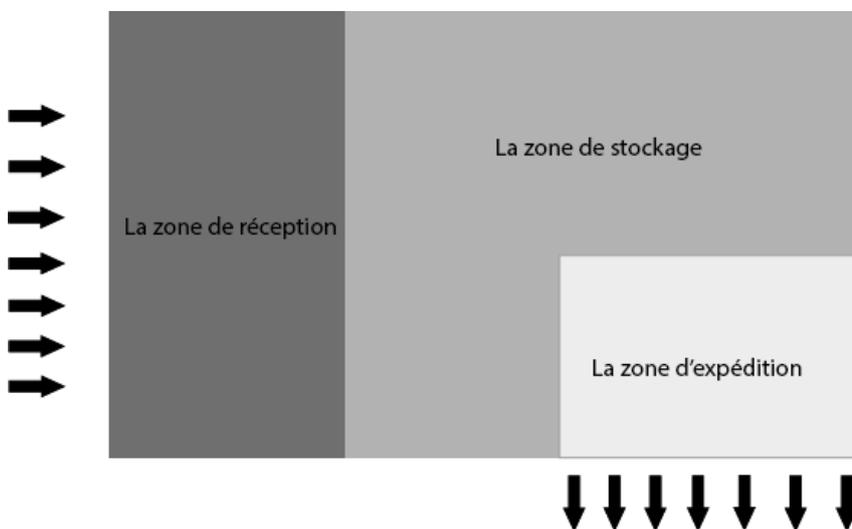


Figure 3 : Configuration hybride

## 3 Les systèmes de stockage

Selon le manuel des techniques de stockage de Mecalux (2011), il existe plusieurs systèmes de stockage. Cela dépend des produits constitués en unités de charge ou du produit constitué en unités de vente. Les systèmes de stockage peuvent être regroupés en quatre groupes (3):

- La palettisation.

- Le stockage de caisses individuelles et de produits isolés.
- Les systèmes mixtes.
- Les systèmes spécifiques.

### 3.1 Système de stockage pour palettes

Il s'agit de systèmes dans lesquels les palettes de marchandise sont déposées sur des rayonnages à l'aide de chariots ou d'engins de levage. Dans cette modalité, trois éléments sont indispensables : les rayonnages, les palettes et le chariot ou l'engin de manutention. Le choix de chacun d'eux dépend du produit à manipuler, des besoins en matière de stockage, des systèmes de travail et de mise en place, ainsi que la gestion appliquée à l'installation (3).

### 3.2 Classification des rayonnages ou racks

Selon Oktar et Mohamed (2013), avec la même composant de base, à savoir les échelles et les lisses, on peut former plusieurs configurations de rayonnage. Ainsi, avec ces différentes combinaisons on peut désigner plusieurs types de racks (cf. Figure 4). Les rayonnages (palettiers) sont classés en deux groupes (6) ; les racks statiques et les racks dynamiques.

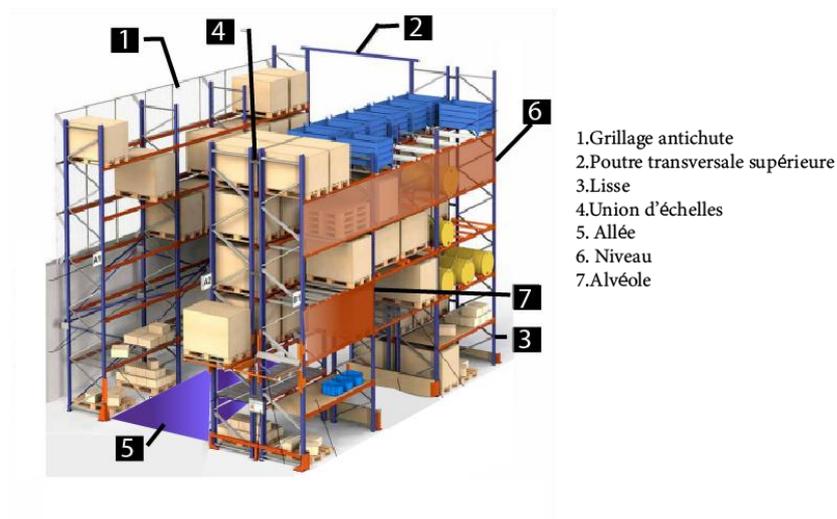


Figure 4 : Les éléments d'un rack (7)

On distingue dans la première famille deux types des racks : les racks frontaux et les racks à accumulation. Pour racks frontaux, on distingue les racks à simple profondeur, les racks à double profondeur et les racks à crémaillères. Pour les racks à accumulation statique, ils peuvent être ouverts sur une face ou ouverts sur deux faces. Pour les racks dynamiques, on distingue aussi deux modèles : le rack mobile et le rack à gravité. Ce dernier peut être à accumulation dynamique ou à gravité inversée.

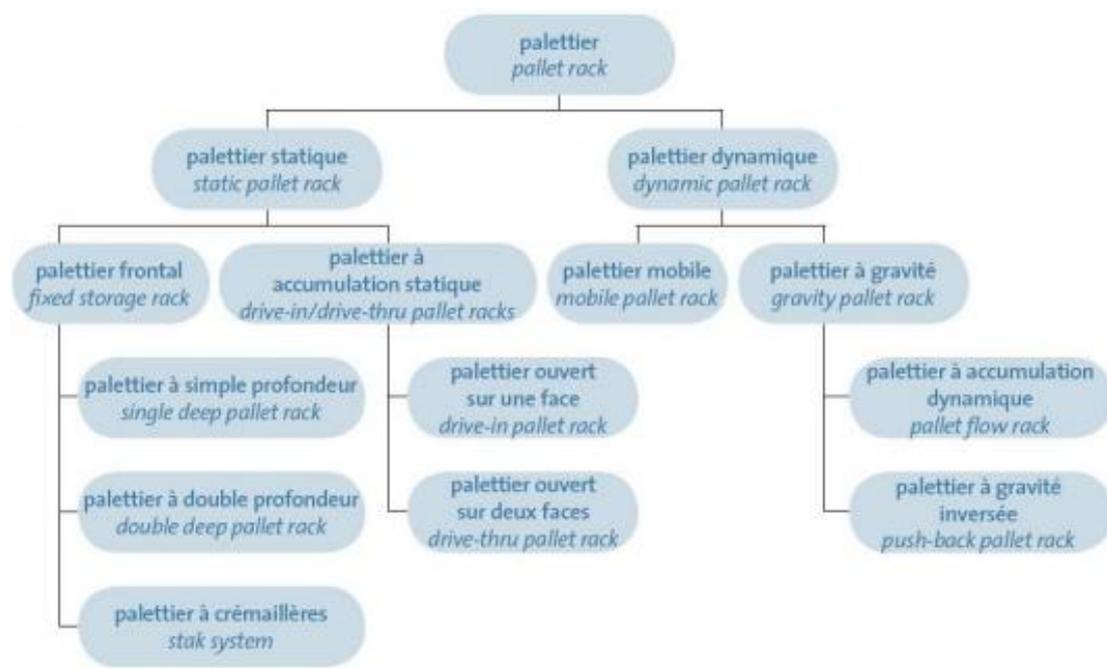


Figure 5 : La classification des racks (6 p. 7)

### 3.3 Systèmes à accès direct aux palettes

Les rayonnages à accès direct se caractérisent par le fait que les produits se trouvent dans l'allée de travail. Ainsi, les palettes sont manipulées facilement, et ceci permet d'occuper l'ensemble des emplacements au détriment d'une meilleure exploitation de la surface. Pour cette raison, la capacité de stockage est inférieure à celle d'autres systèmes. L'accès direct est recommandé lorsque l'on dispose de nombreuses références et de peu de palettes pour chacune d'entre elles (3). Seuls les rayonnages conventionnels permettent un accès direct à chacune des palettes stockées. Ils peuvent être statiques ou montés sur des bases mobiles au lieu d'être fixés sur la dalle de bâtiment.

### 3.4 Le rayonnage statique

Il s'agit d'un système polyvalent avec une capacité de stockage réduite. Ce système est installé pour les entrepôts multi-clients. Il donne une flexibilité permettant de stocker des palettes de différentes tailles, et il est particulièrement adapté aux entrepôts dans lesquels des opérations de picking doivent être directement réalisées sur les rayonnages.

### **3.5 Les rayonnages mobiles**

Cette installation, ou ce système de stockage de haute densité, est composée des rayonnages installés sur des embases mobiles guidées, permettant l'ouverture et la fermeture des allées. Les rayonnages statiques conventionnels nécessitent des allées fixes entre chaque rangée, ce qui a pour conséquence un espace inutilisé redondant. Ce système est équipé par des moteurs et les racks se laissent guider par des rails jusqu'à l'endroit où une allée de rayonnage est nécessaire. Grâce à ce principe de conduite, cette méthode présente un intérêt particulier, car il ne nécessite qu'une seule allée et il génère ainsi une capacité de stockage beaucoup plus élevée dans l'entrepôt. Par conséquent, elle peut augmenter jusqu'à 90 % par rapport à un système de rayonnage à palettes traditionnel selon Stow (2020).<sup>1</sup>

### **3.6 Systèmes par accumulation**

Selon Mecalux (2011) et Ar racking<sup>2</sup>, c'est l'option la plus simple et la plus économique de tous les systèmes d'accumulation. Elle est composée d'un ensemble de rayonnages qui forme des allées à l'intérieur desquelles sont disposés des rails de support. Tous les niveaux au sein de chaque allée doivent comporter la même référence. Cette solution est idéale pour les produits à faible rotation, ou lorsque la rotation n'est pas une priorité. Les engins de manutention utilisés avec ce type de rayonnages sont les chariots élévateurs. Le système employé pour introduire et extraire des palettes est en générale (8).

- Le stockage par accumulation LIFO, la première mise en place à chaque niveau dans chaque allée est la dernière à être extraite.
- Le stockage par accumulation FIFO, la première palette à entrer est la première à sortir, dans laquelle les palettes sont déposées d'un côté du rayonnage et retirées des côtés opposés.

### **3.7 Systèmes automatiques**

Les entrepôts de palettes automatiques jouent la carte de la puissance lorsqu'un grand nombre d'articles doit être stocké et transporté en exploitation sur plusieurs postes. Le système de rayonnage, les logiciels et tous les appareils utilisés doivent alors être coordonnés à la perfection. Les entrepôts automatiques sont construits pour des hauteurs supérieures à 8 mètres et peuvent atteindre les 40 mètres (3). Dans les systèmes de stockage robotisés, les palettes entrent dans l'entrepôt depuis la zone de réception et sont transportées par des convoyeurs automatiques jusqu'à la tête de chaque allée.

### **3.8 Le rayonnage dynamique**

Comme tous les systèmes qui automatisent l'entrepôt, les rayonnages dynamiques multiplient la capacité d'entrepôt et diminuent le temps de chargement et de déchargement. Ainsi, ils

---

<sup>1</sup> Stow: parmi les leaders dans le domaine d'installation des systèmes de stockage par rayonnages.

<sup>2</sup> Ar racking : parmi les leaders dans le domaine d'installation des systèmes de stockage par rayonnages.

réduisent les risques de manutention. Son fonctionnement est très simple, dans chaque niveau de chaque allée, est stocké une seule référence. Il est équipé d'un canal à rouleaux légèrement incliné, les palettes sont introduites par l'un des côtés sur les pistes rouleaux, légèrement inclinés. Ce qui permet aux palettes de glisser jusqu'à l'extrémité opposée.

## 4 Palettes et Conteneurs

### 4.1 Les palettes

La palette est un élément qui peut être en bois, en métal ou plastique. Il est employé comme un support qui regroupe les articles ou les caisses. Il est utilisé pour simplifier la manutention des unités dans l'entrepôt ou ailleurs. Les palettes sont des éléments d'une très grande importance. Leurs caractéristiques incluent les dimensions, les types et les spécificités des racks. Selon Mecalux (2011): « *il est essentiel de prêter une attention particulière à ces éléments, car leur forme, leurs dimensions, leur résistance et les matériaux dans lesquels ils sont fabriqués ne sont pas toujours adaptés aux différents systèmes de stockage* » (3)

Les palettes en bois sont les plus fréquemment utilisées. Elles sont construites principalement selon les 4 modèles indiqués dans la (cf. Figure 6). Ainsi, chaque type peut varier entre plusieurs dimensions.

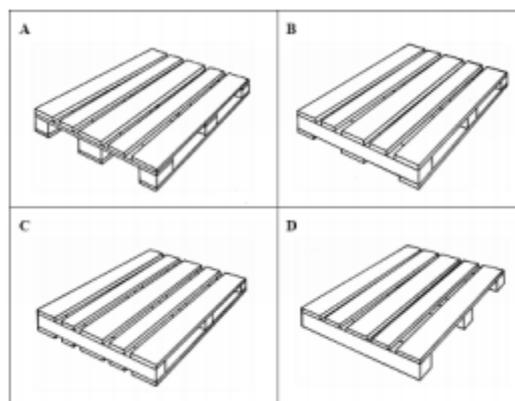


Figure 6 : Les quatre modèles de la palette en bois

### 4.2 Le code international pour distinguer les différents types de carton

Vu que l'emballage en carton ondulé est le plus utilisé, FEFCO a développé plusieurs conceptions, qui sont définies dans le code international pour distinguer les différents types de carton. Ils sont conçus pour être compréhensibles et être ainsi utilisés pour les transactions

commerciales. Chaque conception du système FEFCO se voit attribuer un numéro d'identification directement utilisable dans la commande (9).

- 02xx - boîtes pliantes en carton ondulé de conception simplifiée fabriquées d'une seule pièce, avec joint d'assemblage collé, agrafé ou à bande gommée.
- 03xx - Caisses télescopiques constituées par plus d'une pièce et caractérisées par un couvercle et/ou un fond séparé se glissant sur le corps de la caisse.

La fermeture de caisses correcte et efficace d'emballages est aussi importante que leur construction. Les méthodes de fermeture suivantes sont possibles, seules ou en combinaison :

- Collage à froid ou à chaud ;
- Bande gommée ou bande adhésive ;
- Encliquetage ;
- Agrafage ;
- Fermeture par bande ;
- Fermeture par agrafage ;

### 4.3 Le carton ondulé :

Le principe du carton ondulé repose sur la fabrication d'une ou plusieurs « entretoises » de forme ondulée appelées cannelures. Elles sont prises en sandwich entre deux couvertures. Le type de carton ondulé est déterminé en fonction de nombre des cannelures, et aussi le nombre de couvertures. On en trouve trois types (cf. Figure 7), à savoir le simple face, le double face, le double cannelure et le triple cannelure.

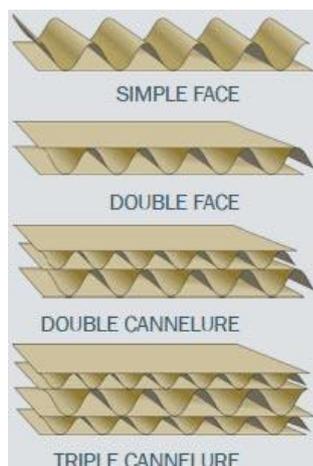


Figure 7 : Les quatre types de carton ondulé

Tableau 1 : Les cinq types de cannelures

Symbole	Type de cannelure	Epaisseur du carton ondulé (mm)
---------	-------------------	---------------------------------

–	très grande	>6
A	grande	=5
C	moyenne	=4
B	petite	= 3
E	micro	<2

## 5 La simulation

La simulation permet de faire ressortir les caractéristiques dynamiques d'un système existant et d'en prédire les comportements qui n'existent pas. Ainsi, on peut dire que la simulation est une méthode pour dimensionner et quantifier les futures évolutions et contrôler le présent.

La simulation est utilisée dans plusieurs domaines, comme par exemple :

- La simulation et la production ou la manufacture, la simulation est utilisée pour simuler les processus, de moyennes aux grandes séries. Il devient indispensable pour les problèmes de stockage et de planification et tout ce qui concerne les files d'attente ;
- La simulation et la Supply Chain, il concerne les flux internes et les flux externes : « *En interne, elle prend en charge les approvisionnements de composants. Ces dernières années par exemple, beaucoup d'investissements ont été réalisés sur le remplacement et la modernisation de l'outil de production* » (10 p. 6). Pour la simulation de la chaîne logistique externe, elle est concernée par les flux de transport entre les sites ;

### Les objectifs de simulations

Dans le but de répondre à différents objectifs, Jana Gagner de Techteam (10) stipulent que la simulation des flux peut être faite pour sept raisons :

- Aider à la prise de décision.
- Aider à la conception des futures unités de production.
- Émettre des solutions.
- Anticiper les démarrages.
- Faciliter la compréhension des projets.
- Gérer la complexité des données.
- Modéliser les schémas futurs.

## 6 La gestion de l'entrepôt

La gestion de l'entrepôt est un ensemble de pratiques et de mécanismes, qui servent à la gestion de stocks et des espaces de stockage. D'ailleurs, elle touche tout ce qui concerne la planification, l'affectation des réceptions, l'affectation des adresses de stockage, la réception des commandes et l'organisation des tournées de contrôle, mais aussi l'organisation des tournées de prélèvement, la gestion du conditionnement et des expéditions. Elle inclut également le contrôle et les inventaires, et elle prend en compte l'ordonnancement des tâches de magasiniers (11).

Selon Mecalux (2011, p.47), un bon fonctionnement des responsabilités, qui sont réalisées par la gestion de l'entrepôt bénéficie d'une gestion efficace de stock, du temps et de l'espace, ainsi une optimisation de la chaîne logistique : « *La bonne gestion de l'entrepôt permet, notamment, de disposer du stocke nécessaire, de proposer le meilleur service, de bénéficier d'un pourcentage élevé d'occupation de l'espace, réduire le temps consacré aux opérations internes telles que le transport ou le picking, de contrôler le stock, ainsi que d'optimiser les emplacements et les flux, entre autres* » (3)

## 7 Les méthodes de stockage

Avant d'aborder les trois méthodes de gestion de stock, on va expliquer d'abord deux notions sur la capacité de stockage, à savoir la capacité physique et la capacité effective.

La capacité physique représente le nombre d'emplacement acceptés par un entrepôt sans contrainte, alors que la capacité effective est la capacité de l'entrepôt en fonction de plusieurs contraintes, par exemple, l'utilisation d'une méthode spécifique de stockage, calculer par rapport la capacité physique. Elle peut être :

- Spécifique ou fixe : il s'agit de distribuer l'emplacement dans les racks par type de marchandise, dans le but de localiser les références et de simplifier les opérations qui nécessitent le recours à l'outil informatique.
- Stockage aléatoire : contrairement à la méthode de stockage fixe, dans cette méthode, l'unité de charge peut être stockée dans n'importe quelle alvéole, à l'aide d'un WMS, qui traite la fonction de gestion de stock, comme une procédure qui traite les données concernant les alvéoles disponibles, et les marchandises déjà en place. Ceci, afin de trouver le meilleur emplacement. Selon Mecalux (p.49), cette méthode peut augmenter la capacité effective de 92 %.
- Stockage mixte : C'est la combinaison entre la méthode de stockage spécifique ou fixe et la méthode de stockage aléatoire. La méthode utilisée pour les entrepôts qui stockent des produits de grande consommation et les produits de consommation moyenne.

## 8 Analyse de la valeur

L'analyse de la valeur était née à la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis, par un acheteur de General Electric, qui devait résoudre un problème de pénurie des matériaux nobles. Depuis cette première théorie, l'analyse de la valeur a beaucoup progressé et son objectif essentiel n'est pas perdu de vue (12).

L'analyse de la valeur est une méthode qui analyse les différentes composantes d'un produit dans le but d'appréhender leur impact sur la satisfaction du consommateur, et ainsi de pouvoir éventuellement réduire les coûts de production (13).

Pratiquement, cette méthode fonctionne à toutes les étapes de vie d'un produit, qu'il soit industriel commercial ou administratif. D'après l'ouvrage qui traite de l'analyse de la valeur du cabinet DEVINCI conseil, chaque phase de cycle de vie d'un produit est qualifiée par des méthodes ou des outils de l'analyse de la valeur (12).

Tableau 2: Les outils de l'analyse de la valeur

Phases de cycle de vie d'un produit	Outils
Recherche de besoin et étude de marche	L'analyse fonctionnelle (AF) Cahier des charges fonctionnel (CDCF)
Conception	L'analyse fonctionnelle Cahier des charges fonctionnel L'analyse de la valeur de conception
Industrialisation de produit	L'analyse de la valeur produit L'analyse de la valeur fabrication
Commercialisation et utilisation	L'analyse de la valeur produit
Évaluation du produit	La conception à cout objectif

## Conclusion

Dans le cadre de ce travail, on a traité la notion de supply chain afin de mettre en avant l'importance de l'entrepôt comme un maillon vital. On va par la suite survoler les systèmes de stockage, afin de mieux cerner les caractéristiques de chacun, et sélectionner ainsi la solution la plus adapté à notre contexte d'étude. Il a également été nécessaire d'ajouter le conteneur de produit et l'emballage, lorsque nous avons traité les unités de charge, parce qu'ils constituent des éléments importants dans la chaîne logistique. Ils influencent beaucoup sur le choix du mode stockage et la gestion de l'entrepôt. Ceci nous a amenés à simuler le système dans le but de l'utiliser dans la conception de la solution, vu leur importance dans l'optimisation des entrepôts. Par la suite, on a ajouté l'analyse de la valeur, étant donné que ces outils sont indispensables pour la conception de solution.

## *Chapitre II : État des lieux et diagnostique*

*Section 01 : Présentation de l'entreprise et  
état des lieux*

## Introduction

Dans ce chapitre, on commence d'abord par la présentation du groupe DELACHAUX et de sa filiale PANDROLE. Ensuite, on entame une étude de l'existence, dans le but de collecter les informations nécessaires, pour cerner l'état actuel de l'entrepôt et anticiper sur sa reconfiguration. Ceci étant, il est indispensable de bien connaître le système de stockage adaptés, et de même l'équipement disponible, l'unité de charge employée dans l'entreprise ainsi ses dimensions et son poids.

Par la suite, il est nécessaire de cerner la manière dont la manutention devrait être réalisée et la configuration potentielle de l'espace de l'entrepôt.

### 1 Présentation de groupe DELACHAUX

L'histoire de DELACHAUX a commencée en 1902 par Clarence-Léon DELACHAUX, comme une usine qui fournissait du matériel pour les lignes électriques aériennes en France. Aujourd'hui, après 118 ans, le groupe DELACHAUX devient un acteur mondial, qui emploie plus de 3200 personnes, dans trente-cinq pays et qui réalise plus de 923 millions d'euros de chiffre d'affaires (données de 2018). Le Groupe compte ainsi 90 sites.

Groupe DELACHAUX est un leader mondial des solutions organisées dans le cadre d'urbanisme et infrastructure et telles qui sont liées avec la mobilité alternative, écologique respectueuse de l'environnement.

Par conséquent, sa gamme de produits est divisée essentiellement par deux pôles à savoir :

- Infrastructures de rail, qui comporte les systèmes de fixations, le matériel de contrôle et d'équipement d'électrification<sup>3</sup>.
- Industries diversifiées, qui comporte les systèmes de gestion de l'énergie et des données et la production de chrome de métal.

Par la suite, chaque pôle représente une partie importante du chiffre d'affaires (CA). Le pôle d'infrastructures de rail avec 57 % du CA et le pôle d'activités industrielles diversifiées avec 43 % du CA (14) (données 2018).

De 1920 à 1973, le Groupe a subi plusieurs restructurations et développements, mais en cette période, il n'avait pas encore commencé son projet de mondialisation et d'acquisition. Exactement après que François DELACHAUX succède à son père à la direction du Groupe en 1973, les acquisitions des entreprises étrangères a été démarrée (cf. Tableau 3), on peut le voir sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : La liste des acquisitions

Année	Acquisitions
1975	Société américaine INSUL-8

<sup>3</sup> L'équipement d'électrification : L'ensemble des moyens mis en œuvre pour alimenter les trains par l'énergie électrique

1987	Société française EED CEFILAC
1987	Société française l'Aluminothermique
1994	Société américaine MATWED
1995	Société italienne COMES
1999	Société française STEDEF
2003	Groupe britannique PANDROL
2007	Société allemande WAMPFLER
2008	Société suédoise ROSENQVIST
2010	Société allemande PLOTZ
2011	Société espagnole KLK
2012	Société britannique INTERCAST
2014	Société allemande CDM TRACK
2015	Société indienne HARSHAD
2018	Société allemande LJU
2019	Société australienne FRAUSCHER
2019	Société française JAY ELECTRONIQUE

Six grandes filiales représentent DELACHAUX dans le monde entier, on peut voir la distribution des filiales dans la figure ci-dessous (cf. Figure 8). Ceci dit, les plus connus sont quatre :

- PANDROL est spécialisée dans le domaine d'infrastructure ferroviaire ;
- CONDUCTIX Wampfler est spécialisée dans la fabrication des systèmes de transmission d'énergie ;
- DCX CHROME est spécialisée dans la production de chrome métal ;
- FRAUSCHER propose des solutions personnalisées pour les marchés ferroviaires internationaux ;

La figure ci-dessous montre l'existence de groupe DELACHAUX dans le monde (site de groupe DELACHAUX, 2020).



Figure 8: l'existence de groupe DELACHAUX dans le monde

## **2 PANDROL**

Leader de l'équipement ferroviaire, PANDROL est une société multinationale, qui appartient au groupe DELACHAUX, dont son siège social se trouve à Paris. Cet acteur mondial emploie plus de 1 700 personnes dans 40 sites (15) (données 2020). Plus de 100 ans d'expérience dans le développement des produits et de savoir-faire en ingénierie d'acquisition. PANDROL a permis de donner les meilleurs produits et services dans le secteur d'équipement ferroviaire.

Les produits et les services de PANDROL s'étendent à la conception, la réalisation et la fabrication de matériel pour rendre la construction et l'entretien des chemins de fer plus efficace. Ces derniers sont catégorisés en dix types.

1. Soudure aluminothermique.
2. Maintenance Conditionnelle.
3. Systèmes d'électrification.
4. Systèmes de fixation.
5. Sécurité.
6. Signalisation.
7. Systèmes résilients et durables.
8. Trac Control Solutions.
9. Matériel de voie.
10. Équipement de soudure.

## **3 Présentation PANDROL ALGERIE**

PANDROL SAS (société par actions simplifiée), anciennement RAILTECH INTERNATIONAL, est une société multinationale, qui est spécialisée dans le domaine des infrastructures ferroviaires. Concepteur du système de fixation élastique de Rail NABLA pour les traverses en béton, PANDROL dispose d'une expérience de plus de 100 ans dans l'équipement des plus grands réseaux ferroviaires dans le monde. En 2008, PANDROL SAS crée sa première filiale de droit Algérien Sarl PANDROL ALGÉRIE.

PANDROL ALGERIE, nouvellement installée à Bordj EL Kiffan, produit et commercialise les composants majeurs des systèmes de fixation du rail sur les traverses en béton, à savoir la butée isolante trapézoïdale et l'insert d'ancrage (la gaine).

Avec plus de 10 millions d'unités vendues (entre Butée et Gaine) depuis sa création (données 2020), Sarl PANDROL ALGERIE a su gagner la confiance de l'ensemble d'importants acteurs ferroviaires nationaux et internationaux, installés en Algérie.

### **3.1 Domaine d'Activité**

La SARL PANDROL ALGÉRIE est spécialisée dans la fabrication de deux composants du système d'attache NABLA, en l'occurrence NABLA Évolution (cf. Figure 9). Il s'agit d'un système de fixation conçu pour faciliter les opérations de pose et de maintenance de voies ferrées. Le système a été largement déployé en application au tramway, posé sur voie ballastée

ou sur dalle avec traverses en béton. Il assure une parfaite isolation électrique et une résistance aux efforts latéraux par une butée latérale réalisée dans un matériau chargé en fibre de verre (PANDROL).

L'usine fabrique deux produits finis :

1. La butée isolante trapézoïdale en matière thermoplastique.
2. L'insert (la gaine) d'Ancrage femelle isolant.

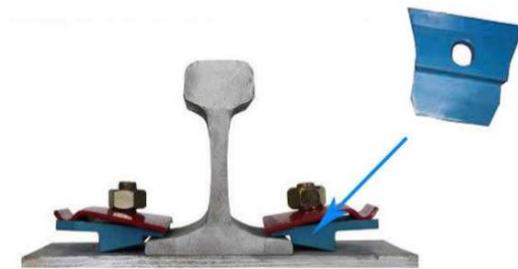


Figure 9 : Le système d'attache NABLA

### 3.2 Localisation de l'usine PANDROL ALGÉRIE

Depuis avril 2019, PANDROL Algérie est installée sur le site industriel de bordj El Kiffan, route nationale 24, Rassauta (cf. Figure 10). Le déménagement de son siège historique de Baba Ali rentrait dans le cadre de son projet global de développement industriel.

## 4 État des lieux

Dans le but de collecter les données nécessaires, sur l'espace, l'équipement, le personnel et la gestion et la politique de l'entrepôt, nous avons cerné trois principales questions :

- Quel est le type de l'infrastructure disponible ?
- Quels sont les moyens de manutention disponibles ?
- Quel est le personnel disponible ?

### 4.1 Bâtiment

Depuis avril 2019, PANDROL Algérie est installée sur le site industriel de bordj El Kiffan. L'usine PANDROL Algérie est installée sur une surface de 2200 m<sup>2</sup>. Le site (cf. Figure 11) est divisé en deux parties : la partie parking avec une surface de 1200 m<sup>2</sup>, on y trouve :

- Une zone pour le groupe électrogène ;
- Une zone de parking ;
- Une zone pour stocker le surplus des stocks ;

La partie usine couverte avec une surface de 1000 m<sup>2</sup> et une hauteur de 5 m, est constituée d'un ensemble des zones :

- Une zone dédiée au stockage de matière première :
- Une zone pour la production.
- Une zone dédiée au stockage des produits finis.
- L'atelier maintenance.
- Le laboratoire qualité.
- Magasin PDR.
- Une zone pour l'administration.
- Quai de déchargement.
- Quai de chargement.
- Une zone tampon (entre laboratoire qualité et quai de chargement).

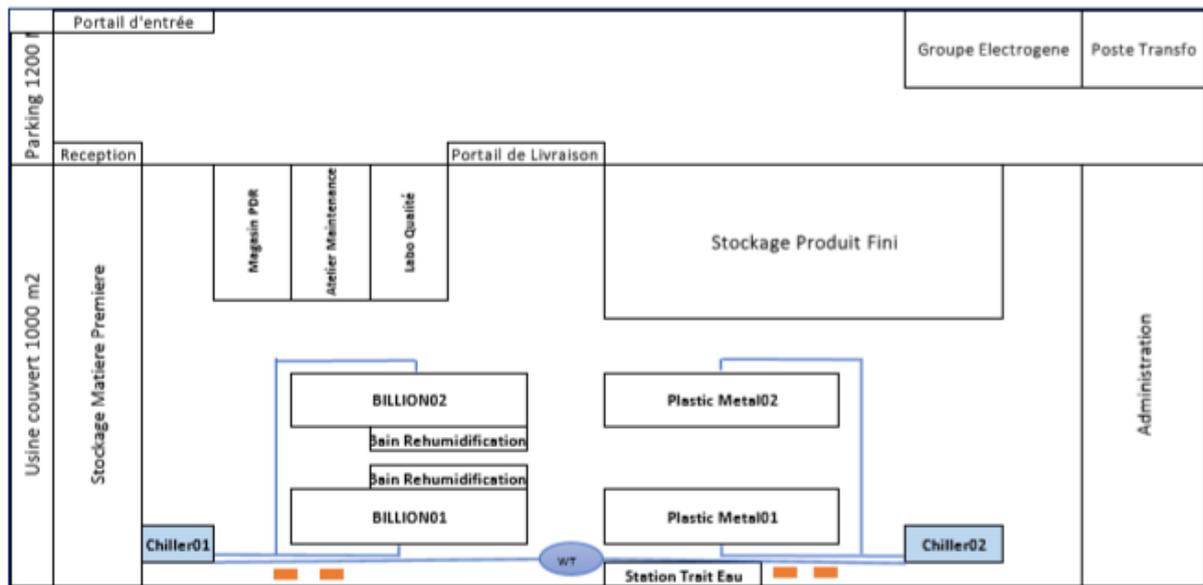


Figure 10 : le plan de Masse de l'usine PANDROL ALGERIE (Source PANDROL)

#### 4.2 La zone de stockage de matière première

Cette zone est conçue pour stocker la matière première, en l'occurrence le polyamide avec fibre de verre et le polyamide simple, ainsi que les emballages utilisés pour le conditionnement de produit fini. Cette zone est en face du quai de déchargement, et le mode de stockage déployé est le stockage au sol, et une capacité de stockage qui dépasse les 100 palettes. La zone possède une annexe en cas de surplus. L'annexe est un espace vide entre le magasin PDR et la zone de stockage de matière première. Actuellement, elle est utilisée pour stocker les déchets, elle a une capacité de deux tonnes.



Figure 11 : La zone de stockage de matière première

### 4.3 La zone de stockage de produit fini

La zone est déjà placée à l'endroit le plus proche du quai de chargement, elle présente une surface de 82 m<sup>2</sup>, l'entrepôt peut atteindre une capacité de 48 palettes si le mode de stockage privilégié est le stockage au sol. Et pour contenir tous les produits finis, l'usine utilise deux espaces annexes en cas de surplus :

- La première annexe : un espace vide entre la zone de stockage de produit fini et l'administration, avec une surface de 36 m<sup>2</sup>.
- La deuxième annexe : un espace dédié pour le stockage de produit fini localisé dans le parking, devant le groupe électrogène avec une surface de 100 m<sup>2</sup>.

L'espace de stockage de produits finis est divisé en 9 zones (cf. Figure 12). Chaque zone est réservée pour un lot de 5 palettes palettisées.

D'ailleurs, la production dans l'usine est gérée par la méthode de juste-à-temps ; produire par la demande. Donc, fabriquer puis livrer dans un temps très court. Et pour éviter la perte de temps dans le chargement des commandes, les produits finis sont stockés par lot, afin que chaque lot présente une commande d'un client.

Pour conclure, les stocks sont suivis à travers des fichiers Excel et les responsables s'intéressent aux informations relatives au numéro de lot, à la date de début et à la date de fin de fabrication du lot.

### 4.4 Le produit stocké

*« On appelle unité de charge l'ensemble des produits des petites dimensions qui doivent être regroupés pour faciliter la manutention dans le cadre le processus logistique » (16).*

*« L'unité de préparation de commande, autrement dit les unité minimale de produit à livrer à un client » (3)*

L'unité de préparation de commande employée dans l'entreprise est un sac en tissu, qui possède les dimensions suivantes : 1 m par longueur et 0,4 m par largeur, le poids du sac rempli varie par rapport au type de produit stocké.

- Pour la butée : le sac pèse 22,8 kg, avec une capacité de 150 pièces.
- Pour la gaine : le sac pèse 18,6 kg, avec une capacité de 400 pièces.

L'unité de charge ou le support de regroupement des articles stockés est une palette EPAL 2 de dimensions 1×1,2 m, sa palettisation est conçue par 6 couches et 30 sacs remplis par conséquent sa hauteur atteint 1,8 m.

Ce type des palettes est créé pour supporter les charges très lourdes, elles ne sont pas appropriées pour la manutention par gerbeur et elles ont un problème avec le type des rayonnages par gravité et le push-back à rouleaux, par ailleurs elles ne conviennent pas non plus pour les convoyeurs automatiques à rouleaux. (3)

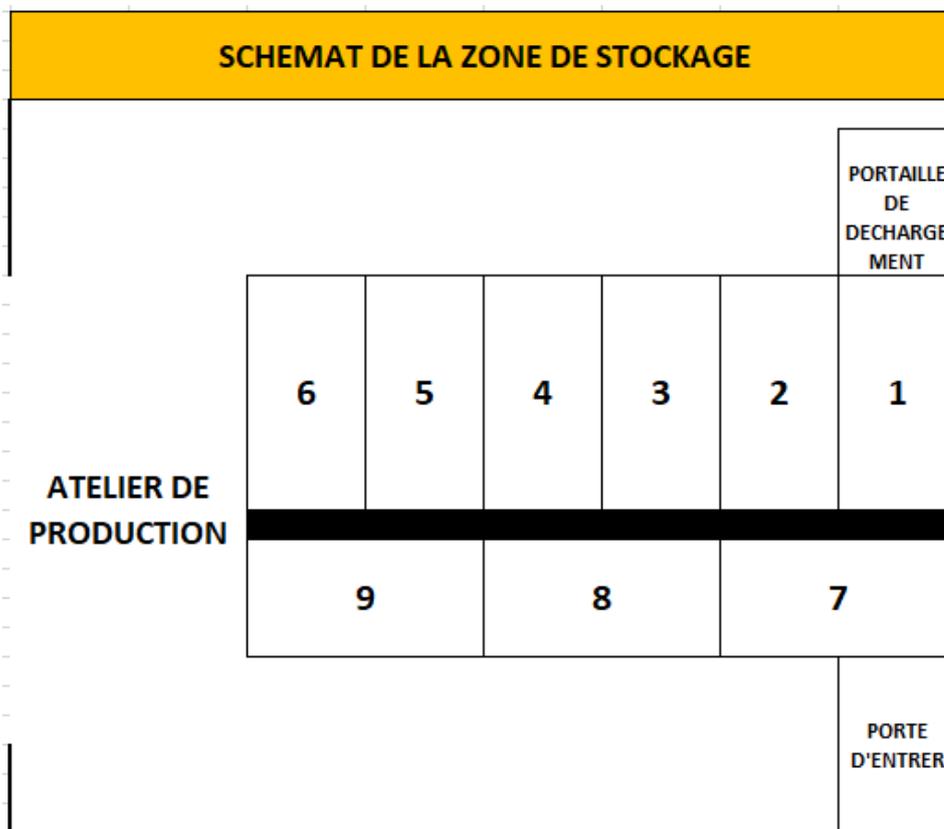


Figure 12 : La zone de stockage produit fini

#### 4.5 Les moyens de manutentions

Le transpalette manuel est le seul moyen de manutention utilisé dans l'entrepôt. Il s'agit d'un chariot hydraulique manuel à une faible hauteur. Il est simple et pratique et est employé pour réaliser plusieurs tâches dans l'usine, en l'occurrence la manutention des sacs chargés de produits finis depuis la zone de production à la zone tampon, et de la zone tampon vers la zone de stockage.

## 4.6 Personnelle

Afin d'assurer un fonctionnement continu sur 24 h, l'entreprise applique le système trois-huit (3×8). C'est un système d'organisation des horaires de travail qui consiste à faire tourner par roulement d'heures consécutives, trois équipes sur un même poste. Par conséquent, chaque semaine, les trois équipes changent leur tranche horaire. On trouve donc chaque jour trois équipes qui couvrent les trois shifts, et une équipe en repos. Par la suite, les shifts sont organisés comme suit : 6 h-14 h, 14 h-22 h, 22 h-6 h. Ceci dit, si le volume de commande n'est pas important, l'entreprise diminue le rythme de travail par l'utilisation de système de deux-huit (2×8) et les équipes travaillent sur le shift suivant 6 h-14 h, 14 h-22 h.

Chaque équipe est constituée d'un chef d'équipe et de deux opérateurs. Le chef d'équipe supervise la production, il organise l'équipe de travail et le travail par rapport la planification. Il affecte le personnel, et accomplit ainsi des formations au personnel. Par conséquent, il a d'autres tâches comme le traitement des anomalies et la collecte d'informations.

L'opérateur conduit et surveille les machines. Il est chargé de démarrer et d'arrêter les installations et d'assurer l'alimentation et l'évacuation des produits de la ligne de production. Il assure aussi la tâche de conditionnement de produit fini et la surveillance les paramètres de fabrication, afin de pouvoir les réguler. Par la suite il contrôle la conformité des produits aux spécifications techniques prévues, pour détecter les anomalies, afin d'effectuer la maintenance de première urgence.

## 4.7 Processus d'approvisionnement

L'approvisionnement est un élément clé qui déclenche le processus d'achat. Le but de l'approvisionnement est de répondre aux besoins de l'entreprise en matière de produits et de services nécessaires à son fonctionnement. Il consiste à acheter au bon moment avec le bon prix. Il comporte un élément d'achat, un élément de gestion de stock et de planification. L'approvisionnement chez PANDROL est géré sous forme de date variable et de quantité fixe. Il est connu sous le nom de la méthode du point de commande. Pour éviter la rupture de stock et pour optimiser les frais d'approche et le fret maritime<sup>4</sup>.

## 4.8 Processus d'achat de la matière première

Les phases de processus d'achat de matière première sont comme suit :

1. Commenant par la vérification de l'état de réapprovisionnement (cf. Annexe n°1) à travers les données collectées sur la matière à commander.
2. Quand le stock de l'usine atteint le point de commande, la commande est lancée. Par conséquent, ce point tient compte du délai de livraison qui dépasse deux mois, avec la procédure douanière qui prend dix jours ou plus. Lors du lancement de la commande, un bon de commande<sup>5</sup> va être saisi, afin de valider les modalités de prestation. Le bon de commande définit les informations suivantes : le prix unitaire, la quantité et le délai. À la fin, le bon de commande est édité en double et envoyé par e-mail.

---

<sup>4</sup> Le fret maritime : le frais de transport de la matière première de toute la longue distance de la voie maritime.

<sup>5</sup> Un bon de commande : Le bon de commande est le document commercial de base, il est manuscrit ou numérique.

3. Comme toute entreprise, qui achète ou vend des marchandises au niveau international, PANDROL doit définir avec son partenaire les incoterms adaptés.

Les incoterms représentent ainsi des règles qui normalisent les droits, les devoirs et les responsabilités de l'importateur et l'exportateur, en matière de chargement, les types de transport, la repartitions des frais et des risques, et définissent aussi les lieux et le moment de transfert.

#### **4.9 Le déchargement de matières premières**

1. Le temps que la matière première soit conservée dans le port (cf. Annexe n°2), pour une semaine ou plus pour des affaires douanières, l'entreprise attend une réception d'une confirmation de livraison par le prestataire,

2. Lorsque le prestataire envoie à l'entreprise la confirmation par mail, le responsable accepte la réception de marchandises, et le processus de déchargement de matière première commence.

3. Le responsable commence ainsi la planification de la réception, par l'organisation de la zone de stockage de matière première et le travail d'équipe.

4. En parallèle, une planification est engagée avec le prestataire qui loue les engins, pour sous-traiter le chariot-élévateur le jour de la réception des matières premières.

5. Le jour de réception, lorsque le camion arrive, il stationne sur le quai de déchargement.

6. Avant le déchargement de la matière première, le responsable logistique vérifie la quantité, le type de marchandise et la qualité. Le déchargement de matière première prend une heure de temps par utilisation du chariot-élévateur sous-traité. Les palettes de matière première sont stockées avec un mode de stockage au sol, par superposition de deux étages au maximum.

7. Pour conclure, à la fin du déchargement, le responsable enregistre les informations, qui rapportent la réception.

#### **4.10 Processus de stockage de produit fini**

Dès que la quantité de pièces fabriquée atteint les 150 pièces de butée ou 400 pièces de gaine (cf. figure 13), l'opérateur effectue un contrôle qualité visuel et il remplit manuellement les pièces dans les sacs de tissu, et les met dans une palette.

Au début de chaque jour J (n), le superviseur QHSE contrôle la production de J (n-1) par échantillon, ainsi il pèse les sacs pour vérifier la quantité des pièces, par suite deux opérateurs déplacent les sacs remplis aux zones de stockage de produit fini.

Dans tous les magasins et les entrepôts, il est indispensable de vérifier certaines conditions de stockage pour vérifier la pérennité et la qualité de produits stockés. Ceci dit, les produits finis ne sont pas sensibles et incompatibles, et leurs caractéristiques physiques et chimiques sont améliorées pour résister aux chocs d'une part et aux changements climatiques d'autre part. Pour cela, il n'est pas exigé de stocker les produits finis sous des conditions de stockage particulières.

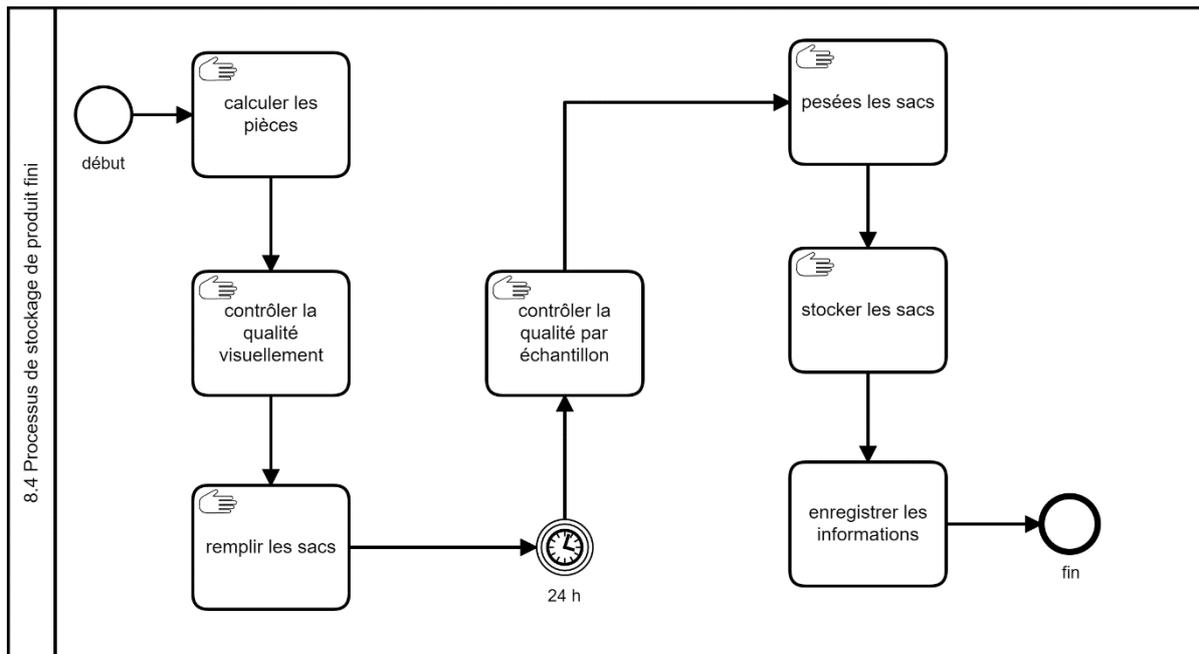


Figure 13 : Processus de stockage de produit fini

#### 4.11 Processus de livraison de commande

Le responsable logistique confirme la livraison par un appel téléphonique ou par un mail, pour planifier, avec le client, le jour de livraison. Après cela, l'entreprise demande un camion du son prestataire pour transporter la commande au client. En parallèle, le responsable va organiser l'équipe de travail qui possède un chef d'équipe, un agent polyvalent et un opérateur.

Le jour de livraison, lorsque le camion arrive, il stationne devant le quai de chargement, le responsable logistique vérifie le bon de route de chauffeur, puis deux opérateurs charge le conteneur du camion. Par conséquent le chargement de commande prend plus d'une heure, s'ils utilisent le transpalette manuel pour manutentionner les palettes. À la fin du chargement, le responsable enregistre les informations, qui concernent la livraison.

#### 4.12 Le processus de planification

Après le lancement d'un appel d'offres d'un nouveau client ou une demande directe d'un client fidèle, l'entreprise traite la commande et étudie sa faisabilité par rapport aux conditions actuelles d'une part, et la politique environnementale et économique d'autre part. Si l'affaire est rentable, l'entreprise négocie avec le client les conditions et le coût de vente. Si les deux sont d'accord, l'entreprise lance la production sinon la commande va être annulée.

Après l'acceptation de la commande, le responsable logistique planifie cette commande pour les mois à venir. La planification ne s'arrête pas ici, chaque semaine la production est planifiée, et chaque jour elle l'est après une réunion en début de journée.

La planification dépend de plusieurs contraintes, à savoir l'espace de stockage, la date de livraison, la disponibilité de la matière première, la capacité et les shifts de travail, ainsi que les événements actuels.

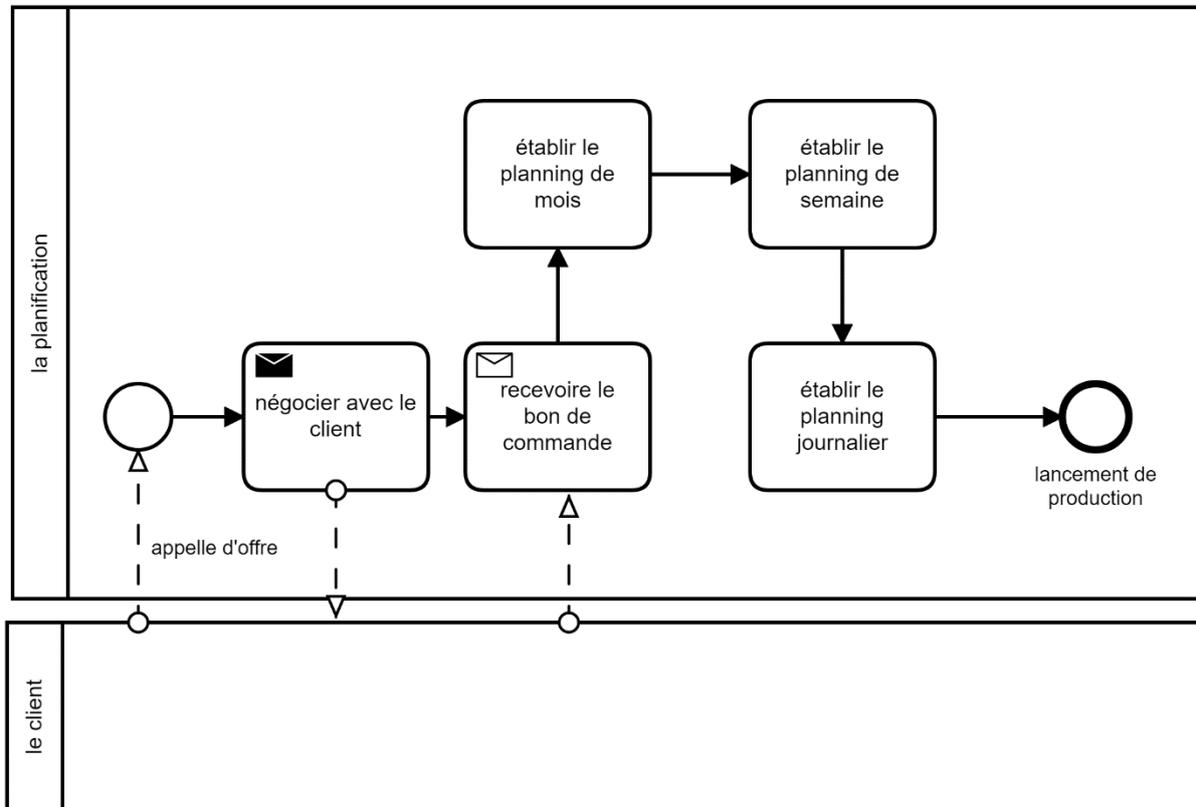


Figure 14 : Le processus de planification

## Conclusion

La première partie a principalement permis de cerner la présentation de l'entreprise et la description des processus dans le but d'avoir une vision plus claire sur l'entreprise en générale et sur l'entrepôt en particulière. On a défini les processus opérés par l'entreprise, l'espace, et les moyens de manutention disponibles, ainsi que le personnel et les shifts de travail.

Pour conclure, on a commencé à comprendre et en savoir plus sur l'entreprise, par la collecte d'informations, des données, sur le besoin de projet de reconfiguration d'entrepôt, l'espace et les moyens dont il dispose, notre but est de préparer le terrain pour la prochaine partie.

*Section 02 : Diagnostic du  
fonctionnement de l'entrepôt*

## Introduction

Le diagnostic a comme but de faire ressortir la problématique qui préoccupe l'entreprise et d'avoir une connaissance approfondie. Ce diagnostic touche plusieurs notions et éléments qui mettent au point les données collectées déjà et qui nous aident à élaborer le projet prochainement. Dans le but de cadrer le travail, on a divisé cette section en deux parties ;

- La partie statique : qui touche tout ce qui est statique dans l'entrepôt.
- La partie dynamique : qui a comme objectif de traiter l'aspect des flux, la capacité de stockage ainsi la production.

### 1 La partie statique de l'entrepôt

Cette partie réplique les questions qui traitent des facteurs et des éléments statiques qui ont une influence sur la définition de l'entrepôt à savoir ; l'unité de charge, l'unité de commande, les moyennes de manutention, ainsi le bâtiment.

#### 1.1 L'unité de charge

L'un des éléments essentiels dans les chaînes logistiques est l'unité de charge, elle représente un élément important pour le fonctionnement de l'entreprise. Puisque, une unité de charge aide à charger et stocker le produit fini.

De plus, elle facilite la manutention de la marchandise dans l'entrepôt et les produits finis dans l'usine. Par ailleurs, elle permet de définir le mode de picking (de prélèvement) et le mode de stockage. Ainsi, elle influence grandement les configurations des entrepôts.

L'unité de charge utilisée dans l'usine ne comporte qu'une seule fonction, elle n'assure que la contenance du produit, sachant que les autres fonctions sont négligées. L'unité de charge chez PANDROL a provoqué plusieurs dysfonctionnements qui touchent à la chaîne logistique, et qui augmentent les pertes.

- L'entreprise utilise des sacs pour contenir le produit fini (cf. Tableau 4) et l'unité de préparation de commande peut atteindre un poids maximal de 22,8 kg pour la butée et 16,6 kg pour la gaine.
- Pour l'unité de charge ; une palette européenne de dimension de 120\*100 cm, la palettisation peut atteindre une hauteur de 180 cm, pour les deux produits finis, et un poids de 684 kg pour la butée et 558 kg pour la gaine.

Tableau 4 : les caractéristiques de l'unité de charge et l'unité de commande utilisées dans l'entreprise

	l'unité de commande		l'unité de charge		
butée	Le poids	La quantité des pièces	Le poids	La quantité des sacs	La hauteur de palettisation
	22,8 kg	150 pièces	684 kg	30 sacs	180 cm
gaine	Le poids	La quantité des pièces	Le poids	La quantité des sacs	La hauteur palettisation
	18,6 kg	400 pièces	558 kg	30 sacs	180 cm

Dans le processus de livraison de la commande et dans le processus de conditionnement, les opérateurs lèvent et déplacent les sacs manuellement. Pourtant, il est recommandé que la charge ne doive pas dépasser la hauteur moyenne des épaules de l'opérateur, et le poids de l'unité de charge ne doit pas dépasser les 25 kg.

*« Le travail des mains au-dessus du plan des épaules entraîne une extension du tronc vers l'arrière, qui provoque une compression des articulations vertébrales postérieures. Cette position favorise l'apparition de dommages non seulement au niveau du bas du dos, mais aussi au niveau de l'épaule. Elle augmente la dépense énergétique et accélère la fréquence cardiaque. En outre, elle rend les gestes moins précis. »*  
(17)



Figure 15 : une palette chargée

Parmi les accessoires qui permettent de protéger et de stabiliser la palettisation, on trouve le film de protection, qui permet de rassembler et d'équilibrer les éléments qui structurent la palette.

Lorsque la palette n'est pas filmée, le risque que les sacs tombent durant la manutention est trop élevé, sachant que trois palettes sur 25 tombent, donc 12 % des palettes ne tiennent pas l'équilibre pendant leur déplacement.

Cela revient à plusieurs facteurs, dont principalement le fait que la forme des sacs chargés n'est pas uniforme (cf. Figure 15). Il peut être impacté aussi par la méthode de manutention et du chargement des sacs. En effet, la tâche commence par le déplacement des palettes chargées, dont leur poids peut dépasser les 600 kg/palette, de la zone de stockage au quai de chargement par deux opérateurs. Après, ces deux opérateurs manipulent et chargent le camion sac par sac manuellement.

## 1.2 Le moyen de manutention

« Environ 25 % des coûts de fabrication sont liés à la manutention des matériaux. La manutention et le stockage des marchandises sont considérés comme des activités importantes dans les activités logistiques. » (18)

Le type de moyens de manutention influence sur le mode de circulation des flux, le mode de stockage, ainsi que les coûts logistiques. Le moyen de manutention est un élément qui peut impacter le nombre d'opérateurs. La trajectoire de circulation influence également la méthode de picking et le mode d'organisations des unités de charge sur la palette.

L'usine utilise uniquement un transpalette manuel hydraulique. Ce moyen de manutention nécessite deux opérateurs pour déplacer une unité de charge et il convient de souligner que ces deux opérateurs ont d'autres tâches à effectuer que celle-ci. En plus, assurer la manutention en utilisant ce transpalette manuel prend beaucoup de temps, ce qui influence sur le coût de manutention, qui augmente d'une manière conséquente.

Ce moyen de manutention touche aussi le processus de livraison, une livraison continue de 5 unités de charge transportées par le transpalette. Ceci dit, pendant le chargement, les sacs sont chargés manuellement, un par un dans l'espace de chargement. Par conséquent, cette tâche provoque une perte de temps importante.

De plus, à cause de la vitesse et des caractéristiques du transpalette, l'entreprise demande à son prestataire un fourgon master 3,35 m (cf. Figure 16) pour assurer les livraisons, au lieu de commander un moyen de transport plus grand qui peut réduire le coût logistique.



Figure 16 : un fourgon master 3.35 m

Cependant, le moyen de manutention utilisé pour décharger la matière première est un chariot élévateur, qui est sous-traité par l'entreprise pour terminer la tâche, malgré que le prix de location d'un moyen de manutention augmente relativement les coûts.

## 1.3 Le quai

« Les quais encastrés dans l'entrepôt permettent aux camions d'accoster directement contre le mur du bâtiment. » (3)

Le quai de chargement existe pour valider la fonction qui permet de concéder le camion et le bâtiment. Ainsi, il est conçu pour éviter les modifications de température interne et facilite le chargement.

L'opération de chargement est réalisée manuellement, les sacs sont chargés sur le fourgon, à travers le quai. Par conséquent, la hauteur de quai de chargement peut atteindre les 80 cm, d'autant plus que ce dernier n'est pas équipé par une niveleuse pour corriger la différence entre la hauteur du fourgon utilisé pour la livraison et le bâtiment.

Pour conclure, le quai ne joue pas efficacement son rôle, et représente de ce fait plusieurs défaillances. D'ailleurs, il agit sur la qualité de la tâche de chargement d'une part et il augmente le risque d'avoir des accidents d'autre part. Ainsi, il impacte négativement le coût de transport, parce qu'il influence le choix de conteneur pour les livraisons.

#### **1.4 L'état de bâtiment et l'arrangement des zones**

La zone de stockage de produit fini est placée devant le quai de chargement. Elle facilite ainsi la manutention et les déplacements des palettes pour les charger dans le fourgon. Par observation, on a remarqué un surplus de stocks de produits finis, ce qui fait que les palettes sont placées en dehors de la zone de stockage de produits finis. En plus, le mode stockage appliqué n'est pas convenable. En termes plus précis, le stockage au sol limite la quantité des palettes stockées.

Le système de zonage : La zone d'entrepôt est organisée en plusieurs petites zones dans le but de stocker le produit par lot. L'objectif de ce système est d'assurer la traçabilité des produits, car ces derniers sont préparés par lot, pour que le client puisse faire des réclamations par lot s'il trouve des pièces défectueuses.

L'arrangement des zones dans l'usine est structuré sous forme de U. À l'entrée des flux on trouve la zone de stockage de la matière première, de l'autre côté de l'usine on situe la zone de stockage de produit fini et le quai de chargement et entre ces deux quais se situe la zone de production qui relie les deux zones de stockages.

## **2 Dysfonctionnement**

On peut résumer les dysfonctionnements de la partie statique par le tableau n° 4 (cf. Tableau 4). Ces dysfonctionnements touchent la zone de stockage, les moyens de manutention, ainsi que l'unité de charge et le mode de stockage. Et dans le but de cadre ces résultats, on a regroupé ces dernières par zone. Par conséquent, dans chaque zone on trouve des éléments qui ne sont pas adéquats.

Premièrement, dans la zone de stockage des produits finis, on trouve plusieurs anomalies qui touchent le fonctionnement du processus de stockage et de livraison, commençant par l'unité de commande, le sac utilisé dans l'entrepôt n'est pas conforme aux normes de stockage par palettes. D'ailleurs, il définit la source de problème. Ensuite, l'unité de charge utilisée dans l'entrepôt n'est pas la plus adéquate. D'ailleurs, elle ne peut pas garder son équilibre durant la manutention par le transpalette, ou par un autre moyen de manutention. En plus, le mode de

stockage adapté n'est pas convenable, il provoque un encombrement des palettes dans la zone tampon. Par conséquent, ça justifie aussi le manque d'espace dans la zone de stockage.

Deuxièmement, dans zone de stockage de la matière première, on constate le manque des moyens de manutentions. D'ailleurs, l'entreprise sous-traite un chariot élévateur à chaque réception de matière première.

Troisièmement, la zone de préparation de commande existe (les commandes sont préparées devant le quai avant l'expédition), mais elle n'est pas définie ni par un système de zonage ni dans le plan de masse de l'usine. En outre, le quai n'est pas équipé par une niveleuse pour corriger la différence entre la hauteur du fourgon et la hauteur du quai.

Tableau 5 : les dysfonctionnements de la partie statique

La zone ou le processus	L'élément	Dysfonctionnement et remarque
La zone de stockage produit fini	L'unité de charge	Elle n'est pas adéquate
	L'unité de commande	Elle n'est pas adéquate
	L'espace	Le manque d'espace, d'ailleurs on trouve un surplus de stock
	Mode de stockage	Il limite la quantité des palettes stockées
	Moyen de manutention	Le manque des moyens de manutention
La zone de stockage de la matière première	Moyen de manutention	Le manque des moyens de manutention
La zone de préparation de commande	La zone de préparation de commande	Elle n'est pas définie, ni par un système de zonage ni dans le plans de masse de l'usine.
	Le quai	Un déséquilibre entre le niveau de quai et le fourgon

### 3 Partie dynamique

Cette partie permet d'analyser d'abord l'évolution de production par rapport à la capacité du stockage de l'entrepôt, dans le but de faire ressortir le fait que l'entrepôt représente un goulot d'étranglement. Pour cela, on va faire une comparaison entre la production actuelle et la production théorique, on va présenter le comportement de ses clients d'une part et l'influence de ces derniers sur l'entreprise d'autre part.

### 3.1 Analyse de l'évolution des stocks par rapport à la capacité de stockage d'entrepôt

On a vu dans la partie statique qu'il y'avait des surplus de stockage et que l'entrepôt ou la zone de stockage de produit fini nécessite une réorganisation et éventuellement une optimisation. Dans le but de justifier le fait que la capacité de la zone de stockage de produit fini est insuffisante par rapport à la production, on analyse la courbe de la Figure n°17 (cf. Figure 17) qui permet de voir l'évolution du stock par rapport à la capacité de stockage de l'entrepôt.

La courbe traduit l'évolution des stocks des deux articles (butée et gaine) de l'année 2019 exprimée en nombre de palettes. On constate que l'évolution des stocks pour l'année 2019 est plus importante que la capacité de l'entrepôt. En plus, entre septembre et octobre de l'année 2019, les stocks des deux articles (butée et gaine) dépassent le double de la capacité maximale du stockage de l'entrepôt.

Pour conclure, on a justifié que l'entrepôt des produits finis dégage une problématique, qui touche à sa performance. Dans les prochaines analyses, on va comparer le sur-stockage et la capacité de stockage de l'entrepôt pour exprimer la criticité du problème.

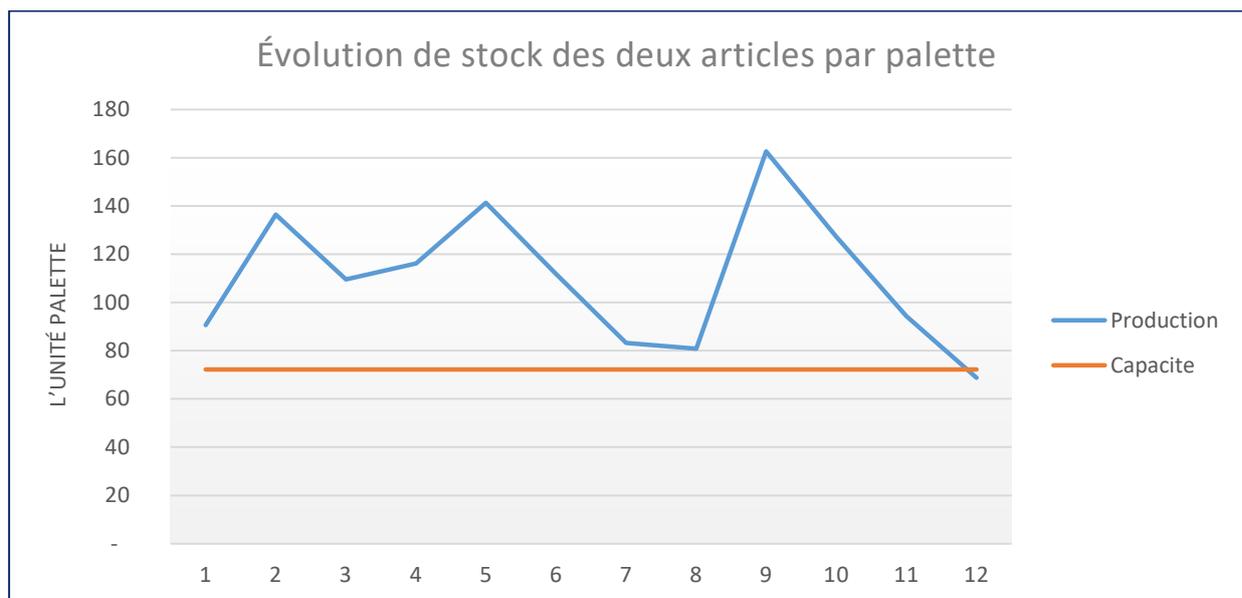


Figure 17 : l'évolution de stock par rapport la capacité de stockage d'entrepôt

Et pour bien comprendre ces propos, l'histogramme (cf. Figure 18) montre la différence entre le sur-stockage et la capacité de stockage des deux articles par palette pour la même année.

En revanche, l'histogramme montre que l'espace de stockage ne suffit pas dans la majorité des cas et que l'écart qui représente le sur-stockage est très élevé, et dépasse parfois le double de la capacité maximale, comme par exemple le constat fait pour le mois 9 (aout).

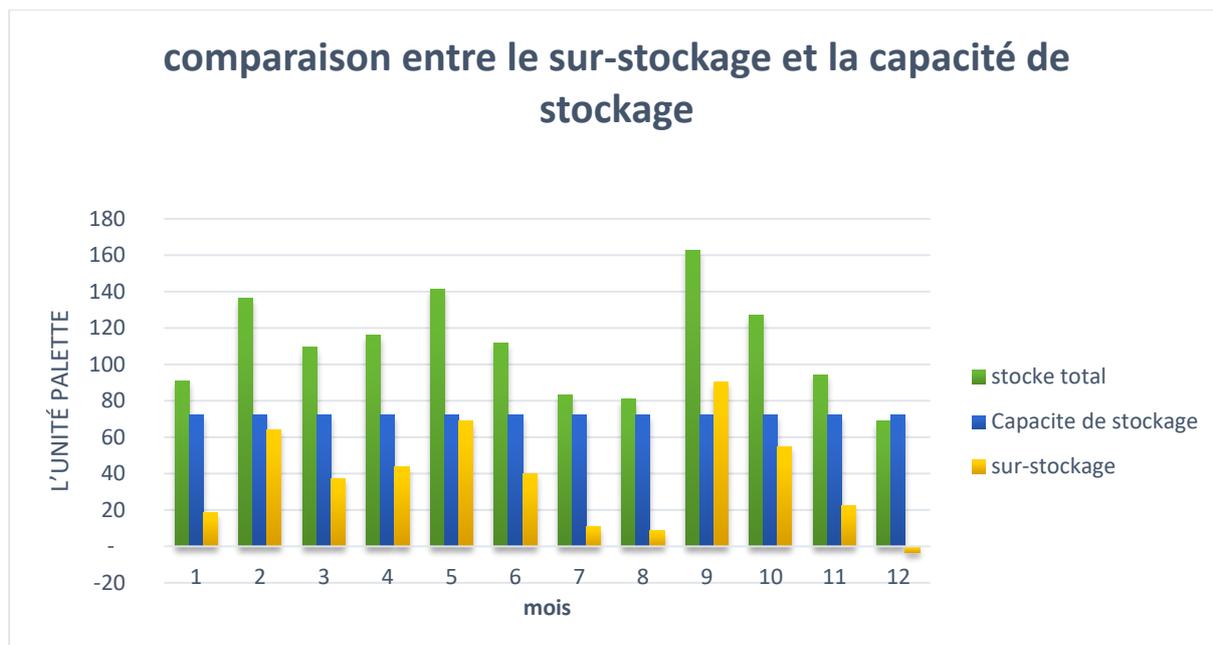


Figure 18 : comparaison entre le sur-stockage et la capacité de stockage

Cette quantité de sur-stockage montre que l'entrepôt joue un rôle d'un goulot d'étranglement, puisque sa capacité de stockage ne répond pas à la production. D'ailleurs, tous ces écarts de stock sont stockés à l'extérieur de l'usine, dans la zone annexe, qui se situe dans le parking ou dans la zone annexe devant l'administration. On remarque aussi que ce sur-stockage provoque plusieurs dysfonctionnements.

Le fait que les produits stockés d'une manière aléatoire dans les annexes ou dans le parking, le système de stockage par lot n'a aucun intérêt, parce que la moitié de ces lots est stocké sans contrôle. Ensuite, la qualité et l'état des produits stockés dans l'annexe de parking vont se dégrader par rapport à ceux stockés dans l'entrepôt.

Mais encore, ce problème peut provoquer l'arrêt de la production. Ainsi, on va voir ultérieurement que la différence entre la production sous cette contrainte et la production théorique dans le but de savoir comment l'entrepôt influence sur la production.

Pour conclure, on a analysé la production des deux produits (gaine et butée) et on a trouvé un problème d'optimisation de la capacité de l'entrepôt. Par la suite, on va analyser l'évolution de la production de gaines et celle des butées.

### 3.2 Évolution de la production de gaine et de butée par pièces

Concernant l'évolution de la production de gaine par pièces, on constate que la courbe de la Figure 19 représente l'évolution de la production de gaines (unité : pièce) durant tous les mois de l'année 2019. On peut remarquer que l'espace alloué est toujours inférieur à la quantité des produites à stocker, sauf pour certaines semaines, et ce exactement au mois de mars. Ceci, parce que la demande baisse à ce moment, et donc la production est arrêtée pour un certain nombre de semaines. Cet écart entre la production et la capacité de stockage représente toujours un sur-stockage.

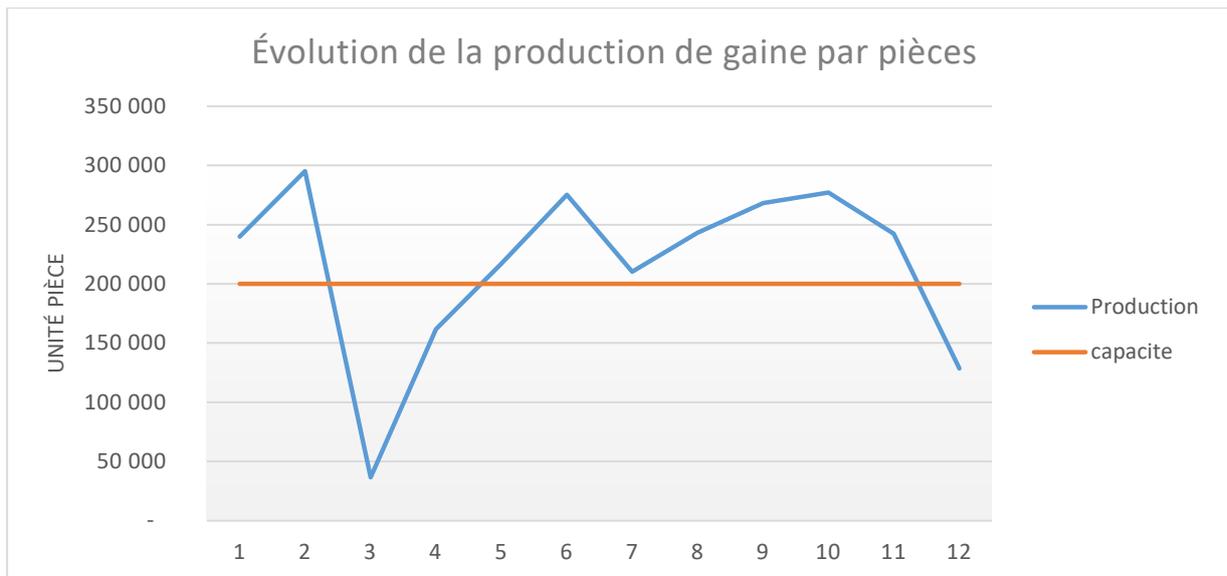


Figure 19 : Évolution de la production de gaine par pièces

Concernant l'évolution de la production de Butée par pièces, on constate à travers la courbe de la Figure 20, que l'espace alloué est toujours supérieur à la quantité stockée, sauf pour certaines semaines. Cet écart représente la perte d'espaces, mais cette perte ne suffit pas pour remplacer et compenser le manque d'espace dans le stockage de gaines.

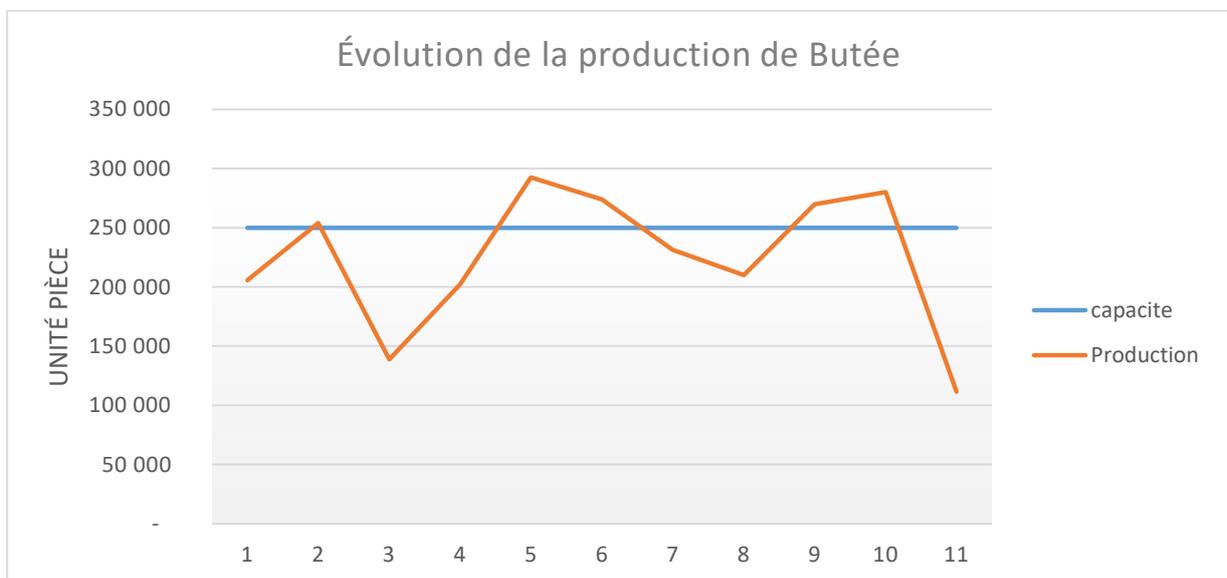


Figure 20 : Évolution de la production de Butée

La production de deux produits est généralement bloquée par la capacité de stockage, qui est limitée à cause de plusieurs raisons. L'espace destiné pour stocker le produit fini est toujours insuffisant. Alors, à partir de l'analyse précédente, on a remarqué que la production de butées et la production de gaines sont presque égales, donc le problème se pose pour les deux produits.

Dans le but de savoir, si l'entreprise peut fabriquer plus, mais limite sa production pour plusieurs contraintes d'une part, et n'arrive pas à optimiser son entrepôt d'autre part, nous amène à comparer la production de 2019 avec la capacité de production théorique.

### 3.3 Évolution de la production par rapport la capacité de production théorique

C'est clair que la capacité de stockage est toujours inférieure au stockage total, et pour savoir comment la capacité de stockage influence la production, on compare la capacité de production théorique et la production effective de l'année 2019. Ceci dans le but de faire ressortir les pertes de l'entreprise, quand elle limite sa production. Le but étant également de spécifier que le maillon de l'entrepôt représente un goulot d'étranglement qui limite la production et la performance de l'ensemble de la chaîne logistique.

Il convient en premier lieu de montrer que l'entreprise fabrique la même quantité de butées et de gaines, avec un petit écart entre les deux. Le but de cette comparaison permet de comprendre comment la production était planifiée durant l'année 2019, et de savoir comment on va calculer la production théorique de chaque pièce. Finalement, après avoir calculé la capacité théorique de chaque pièce, une comparaison va être faite entre la production réelle de l'année 2019 et sa production théorique.

#### 3.3.1 Comparaison entre la production de gaines et de butées

Dans la Figure 21, on compare la production de butée et la production de gaine pour l'année 2019 unité par pièces, on remarque que même qu'il y'a un écart entre la quantité fabriquée de gaines et la quantité fabriquée de butées pour l'année 2019, elles en demeurent presque les mêmes.

D'ailleurs la tableau 6, montre que la production moyenne de butée pour l'année 2019 est de 212 488 pièces, et la production moyenne de gaine est de 216 254 pièces, l'écart de production entre les pièces étant de 3767 pièces.

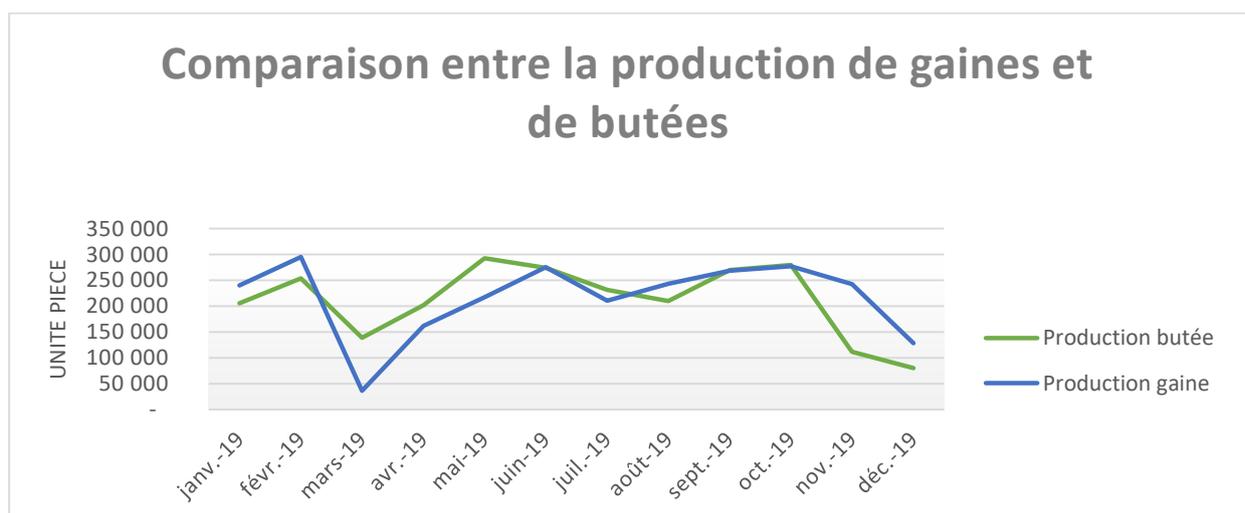


Figure 21 : Comparaison entre la production de gaines et de butées

Tableau 6 : Comparaison entre production de gaine et production de butée

Comparaison entre production gaine et production butée	
La production moyenne butée	212488 pièces
La production moyenne gainée	216254 pièces
L'écart	3767 pièces

La production dans l'usine est basée sur quatre machines qui travaillent par le système de moulage. Deux machines sont destinées à la production de gaines et deux autres à la production de butées, après que la machine produit la pièce, il faut attendre que la température des pièces baisse, pour contrôler la qualité visuellement pièce par pièce. Les machines ont la même cadence, mais les opérations qui viennent après influence le temps de cycle, en augmentant le temps de cycle de butée.

### 3.3.2 La production théorique de butée et de gaine

D'abord, il faut savoir que l'entreprise dispose de quatre machines. Les quatre pouvant produire les deux articles. Cela reste relatif au moule remplacé, avec une même cadence de 4 pièces par min, et l'organisation de travail soit divisée par deux shift soit 4\*8 heures, soit 2\* 8 heures.

Tableau 7 : la production dans l'usine

Nombre de machine	4 machines
Cadence de la machine	4 pièces /min
Shift de travail	4* 8 heures ou 2* 8 heures

Vues que les données qu'on a sont organisées par mois, on va calculer la capacité théorique par mois, en utilisant le shift 4\*8 heures. Trois équipes travaillent pour 24 heures et une équipe prend le repos, par la suite deux machines pour chaque produit, avec la cadence de 4 pièces/min pour la machine.

On trouve après les calculs, que la production maximale théorique de butée est 345 600 pièces/mois, ainsi, la production maximale théorique de gaine est égale à 345 600 pièces/mois.

Tableau 8 : les capacités théoriques de production de gaine et de butée

In put	
Les machines utiles pour fabriquer la butée	2 machines
Les machines utiles pour fabriquer la gaine	2 machines
Shift de travail	4/8 heures
Out put	
La production maximale théorique de la butée par jours	11520 pièces/jours
La production maximale théorique de la gaine par jours	11520 pièces/jours
La production maximale théorique de la butée par mois	345 600 pièces/mois
La production maximale théorique de la gaine par mois	345 600 pièces/mois

Vu que la production de deux articles est presque la même et la production théorique est la même, ainsi, ils ont le même comportement en termes de production et de demande. D'ailleurs, les deux articles sont complémentaires. On va donc analyser seulement les résultats de la gaine.

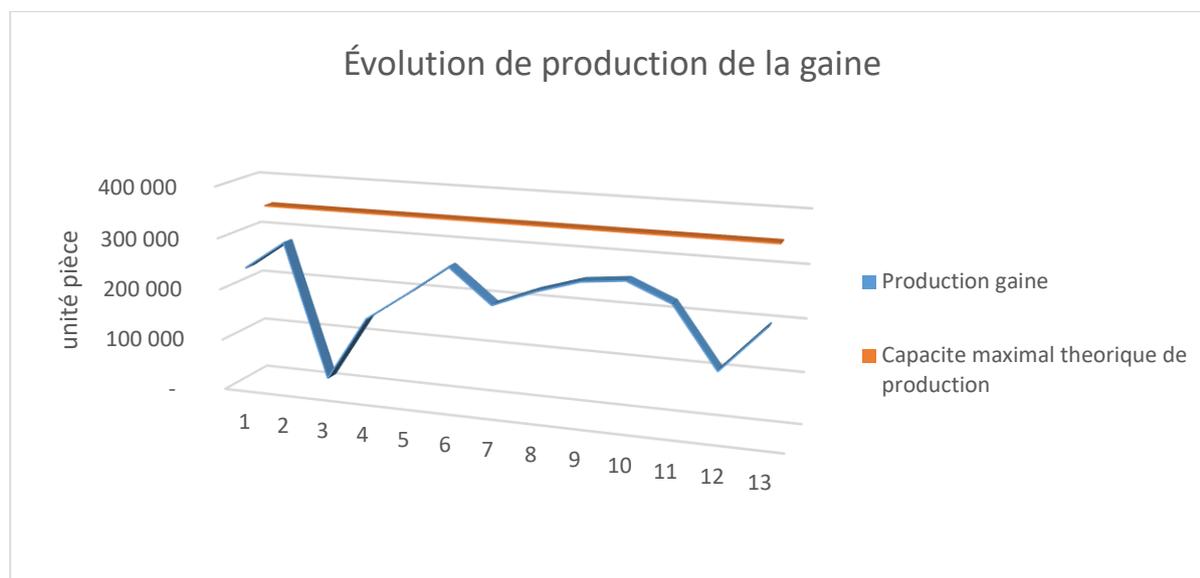


Figure 22 : Évolution de production de la gaine

La Figure 22 représente l'évolution de la production de gaines (unité : pièce) par rapport à la production théorique, on voit clairement que la production théorique est importante par rapport à la production réelle. On constate un important écart entre la production de l'année 2019 et la capacité théorique, on peut dire que l'entreprise a beaucoup de pertes.

Vu les analyses précédentes, l'entreprise peut augmenter sa productivité, mais à cause de la contrainte d'entrepôt, l'entreprise limite sa production. Si l'entreprise s'engage dans l'optimisation d'entrepôt, elle peut améliorer plusieurs aspects, à savoir la méthode de production, les mécanismes de commercialisations du produit, la diminution du coût logistique et du prix du produit.

### 3.4 Analyse de la contrainte clientèle

On recommande cette partie dans le but de représenter les facteurs extérieurs que subit l'entreprise, et qui peuvent influencer le cadre de son action, et par conséquent sa performance économique, et d'identifier ainsi les opportunités et les menaces du marché.

Le pouvoir de négociation des clients représente la capacité de l'acheteur à négocier le prix et les conditions de vente. Il faut savoir que trois ans en arrière, PANDROL était le seul acteur dans le marché. Actuellement, le marché abrite plusieurs entreprises qui offrent les mêmes produits avec des prix différents.

Commençant notre analyse par un histogramme qui représente la différence des prix, dans un appel d'offres en 2019. On peut constater qu'entre les trois candidatures, le prix le moins cher est celui de PANDROL, ce qui représente un avantage et une clé pour remporter les appels d'offres.

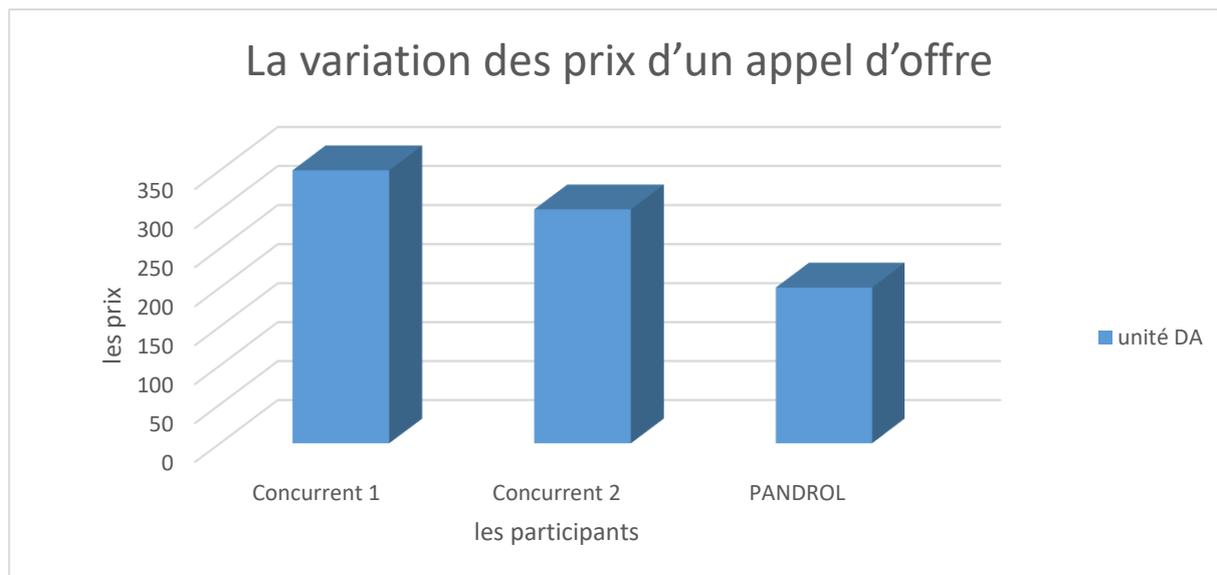


Figure 23 : La variation des prix d'un appel d'offre

### 3.4.1 Le contrat entre le client et l'entreprise

Avec la réalisation de contrat, le client impose toujours ses conditions, qui sont élaborées au début de l'appel d'offres, et qui ne sont pas négociables.

Parmi ces conditions, on trouve le fait que c'est le client qui décide de la date de livraison. Cela veut dire que même si l'entreprise a terminé la production d'un lot pour une livraison, si le client n'accepte pas la réception de livraison, le lot reste dans l'entrepôt, en attendant éventuellement qu'un autre client accepte la livraison.

### 3.4.2 La relation entreprise-client

Dans la liste des clients, on trouve qu'il y a des clients qui demandent seulement un seul type de produit, les autres demandent les deux produits. Certaines clients ont un grand pouvoir de négociation et les autres moins. La question serait donc de savoir qui sont ces clients et comment influencent-ils sur la méthode ou les termes de livraison.

En analysant l'histogramme suivant (cf. Figure 24), qui compare les distributions des livraisons de gaines durant les mois de l'année 2019, nous pouvons constater que la distribution n'est définie ni par le délai ni par la quantité. Elle n'est donc pas stable. On remarque qu'avant février, cette dernière a été impactée par des contraintes climatiques et politiques, qui ont touché les clients, et s'est manifestée à travers une baisse de la demande.

Concernant le Client 1, on remarque que les deux livraisons des deux premiers mois sont presque égales, et celles entre le mois de février et le mois de mai a été arrêtées définitivement. Et comme le client 1 est a le plus de pouvoir, il est clair qu'après cet arrêt, il va tenter de récupérer tous ces retards, et cela explique la multiplication des livraisons après.

Concernant les Clients 2 et 7, on constate une réduction de distribution entre le mois d'avril et le mois de juin, au même temps où les livraisons du client 1 augmentent. Du mois d'aout au mois de septembre, ils recommencent ses réceptions de livraisons, qui vont dépasser la livraison moyenne du client 1.

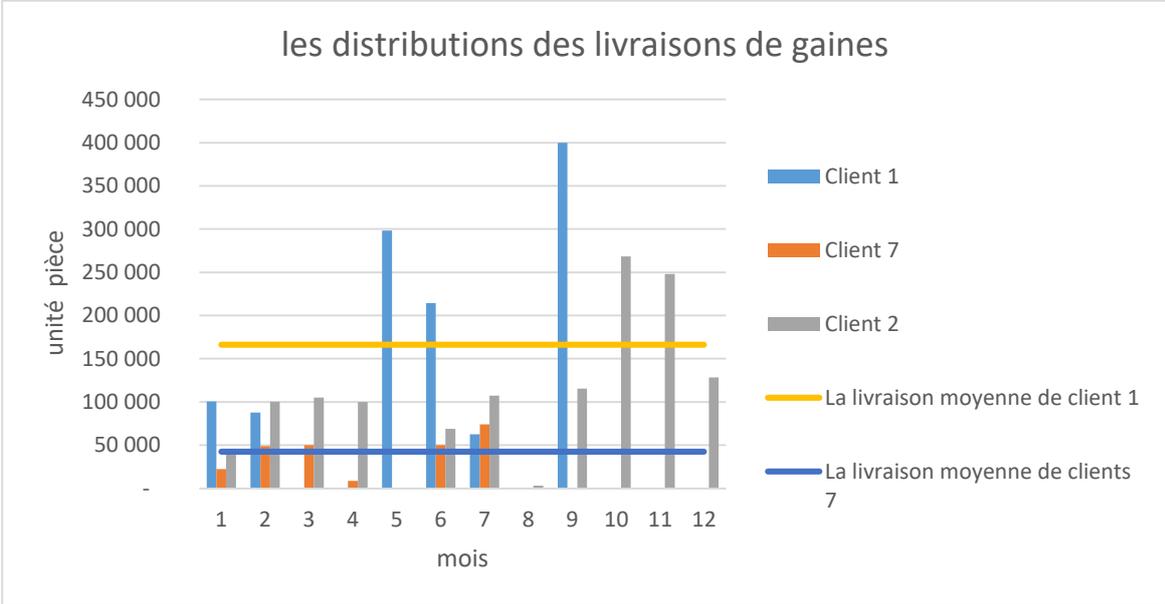


Figure 24 : les distributions des livraisons de gaines

L'histogramme (cf. Figure 25) compare la distribution de livraison de butée durant tous les mois de l'année 2019, où on voit que la production n'est pas stable, presque la même manière que la distribution de la butée.

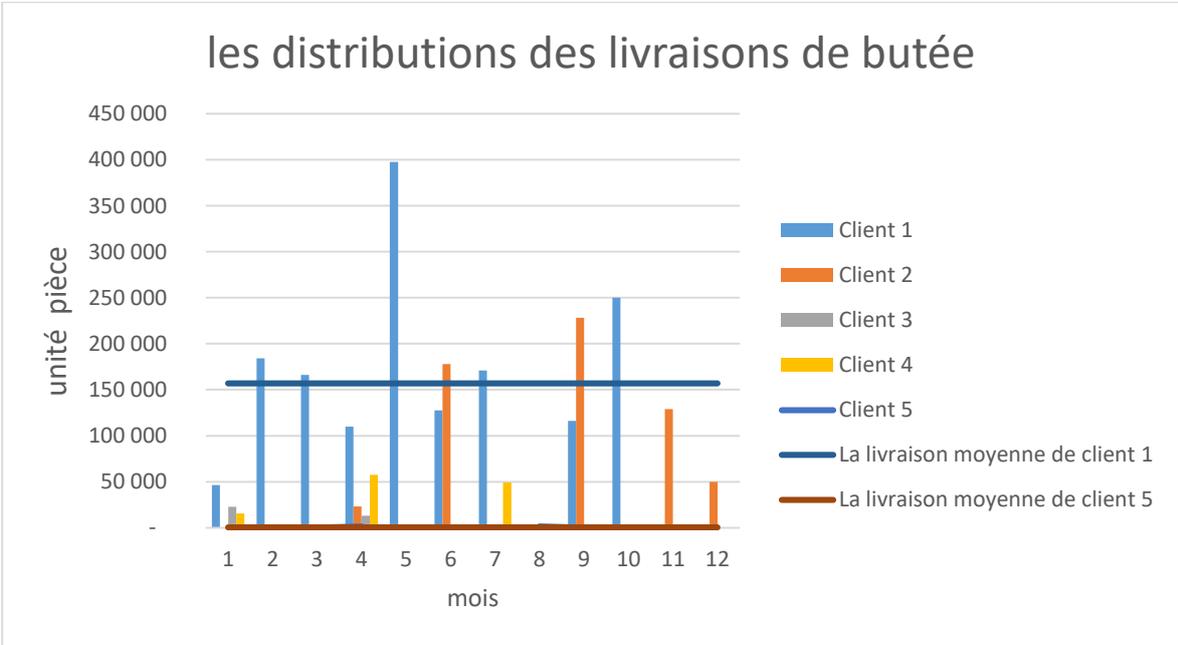


Figure 25 : les distributions des livraisons de butées

Concernant le Client1, on remarque que durant les premiers sept mois, de janvier à juillet, les livraisons du client 1 sont les plus élevées. Elles sont principalement expliquées par les délais. En plus, une grande partie de la quantité adressée au client 1 en 2019 est envoyée durant les deux premiers trimestres.

Pour le Client 2, on voit que la majeure partie des quantités expédiées en 2019, est envoyée durant les deux derniers trimestres.

De février à mars, la demande clientèle baisse, et par conséquent, les stocks des produits finis ont dépassés la capacité de stockage et le rendement de production a de ce fait chuté. Mais après cette période, les clients augmentent leur demande pour rattraper le retard. Par conséquent, l'entreprise ne peut pas satisfaire tous les clients, parce qu'elle a une capacité de stockage limitée, justifiant de ce fait la poursuite d'une politique de priorité.

## **Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de définir le cadre de l'étude, et de mieux comprendre les dysfonctionnements de l'entreprise. En outre, on a montré que l'entrepôt ne peut pas réaliser toutes ses fonctions logistiques avec le niveau performance recherché et la configuration actuelle représente un goulot d'étranglement.

Par ailleurs, on a trouvé que les machines peuvent travailler avec un rendement plus important, si l'entreprise utilise les quatre machines à la fois, avec un shift de 4\*8 heures, mais que l'entrepôt bloque toujours cette production et réduit le rendement des machines.

Finalement, ce problème est un résultat de plusieurs dysfonctionnements, commencent par le manque des moyens de manutention, la non-conformité de l'unité de charge ainsi l'unité de commande et la mauvaise gestion de zone du stockage, qui peut également se traduire par un manque d'espace dans l'entrepôt.

*Chapitre III: L'amélioration d'emballage et  
des configurations*

*Section 01 : Concevoir une solution  
d'emballage*

## Introduction

D'après le diagnostic précédant effectué sur les produits finis, la capacité de stockage et la capacité de production, on a trouvé que l'entrepôt est un goulot d'étranglement qui limite la production, et par conséquent la performance de la supply chain. Ceci à travers les dysfonctionnements constatés dans le processus ainsi que l'espace de stockage.

D'abord, l'emballage par sac est utilisé pour conditionner le produit, alors qu'il ne vérifie pas les contraintes et les fonctions d'emballage. D'ailleurs, on a détecté plusieurs problèmes comme suit :

- On ne peut pas stocker les produits par masse parce que la forme de l'unité de charge n'aide pas à superposer une autre unité de charge (problème d'empilement ou de gerbage).
- L'utilisation des sacs pour l'emballage peut engendrer des accidents lors de la manutention.
- Le poids du sac peut provoquer des maladies professionnelles à long-terme.

Ainsi, le seul moyen de manutention qui existe au sein de l'entreprise est un transpalette manuel, qui est un moyen de manutention traditionnel qui demande deux opérateurs pour le manipuler. Aussi, ce dernier cause une perte de temps et de coût dans le processus de chargement et de stockage, sans oublier la perte d'espace dans la zone de stockage de produits finis. Aucune méthode de stockage n'était adaptée, d'où l'absence de traçabilité.

Ces problématiques concernent l'entrepôt, mais se prolongent vers une optimisation de la chaîne logistique. Dans notre cas, l'espace limité oblige l'entreprise à faire un investissement dans un nouveau système de stockage. Une solution alternative par l'utilisation des rayonnages pour augmenter la densité de stockage.

Dans le but de résoudre ce problème, on a divisé la solution en deux parties. Dans la première partie, l'objectif est de trouver une solution pour améliorer l'emballage, parce l'unité de charge n'est pas adaptée, ce qui rend difficile les améliorations potentielles concernant la chaîne logistique. Ensuite, on détermine le nombre et la hauteur des niveaux. Pour la deuxième partie, elle concerne la configuration de l'entrepôt et l'arrangement des racks.

## Section 01 : Concevoir une solution d'emballage

Le choix d'une solution d'emballage dépend de plusieurs contraintes et limites. Dans cette partie, on va voir étape par étape comment on conçoit une solution pour l'emballage et comment en choisir la plus pertinente.

## 1 La solution d'emballage proposée

D'après les analyses précédentes, on a remarqué que la chaîne logistique en aval peut être optimisée. Cette optimisation concerne, l'entrepôt, le système de stockage, la gestion de stocks ainsi l'unité de charge et l'unité de commande.

On a vu que l'entreprise utilise des sacs pour contenir le produit fini, mais ces sacs sont fragiles et ne sont pas adaptés lors de la manutention et le déplacement du produit. Le stockage et la traçabilité deviennent ainsi difficiles. En plus, les sacs ne prennent pas une forme stable dans la palette et cela provoque le risque de tomber pendant la manutention et l'expédition. De plus, il est très peu commode de travailler avec cette unité de commande dans des systèmes de rayonnage et de superposition.

Par ailleurs, les caractéristiques de système de stockage, à savoir le nombre et la hauteur de niveau, les allées, les matériaux utilisés, les dimensions des racks, sont tous dépendants des caractéristiques du produit à stocker et sa méthode de conditionnement.

Dans cette partie, on va prendre comme objectif de formaliser et systématiser une nouvelle conception d'emballage. Une solution qui simplifie les stockages et qui s'adapte avec l'espace et les palettes, non seulement pour des raisons logistiques mais aussi afin de rendre le produit plus attractif, et ainsi fidéliser les clients.

## 3 Les fonctions canoniques d'emballage

*« Les fonctions peuvent être analysées sous différents angles. L'analyse de la valeur à sa propre décomposition en fonction. Toutes les méthodes bien menées sont équivalentes quant au résultat. Chacun utilisera la présentation qu'il estime la plus pratique dans son contexte. » (13)*

Dans le but de cerner le besoin et de quantifier les fonctions qui dégagent la valeur d'emballage, on va étudier notre besoin par rapport aux quatre fonctions canoniques proposées par Éric Rocher (13). Pour satisfaire ces quatre fonctions opérationnelles, chaque fonction doit aussi répondre à des contraintes fonctionnelles.

Les contraintes fonctionnelles sont des exigences qu'il faut prendre en considération, dans la première partie d'une conception d'une solution d'emballage, avant la validation de la solution. Les contraintes sont regroupées selon la fonction traitée (13) à savoir :

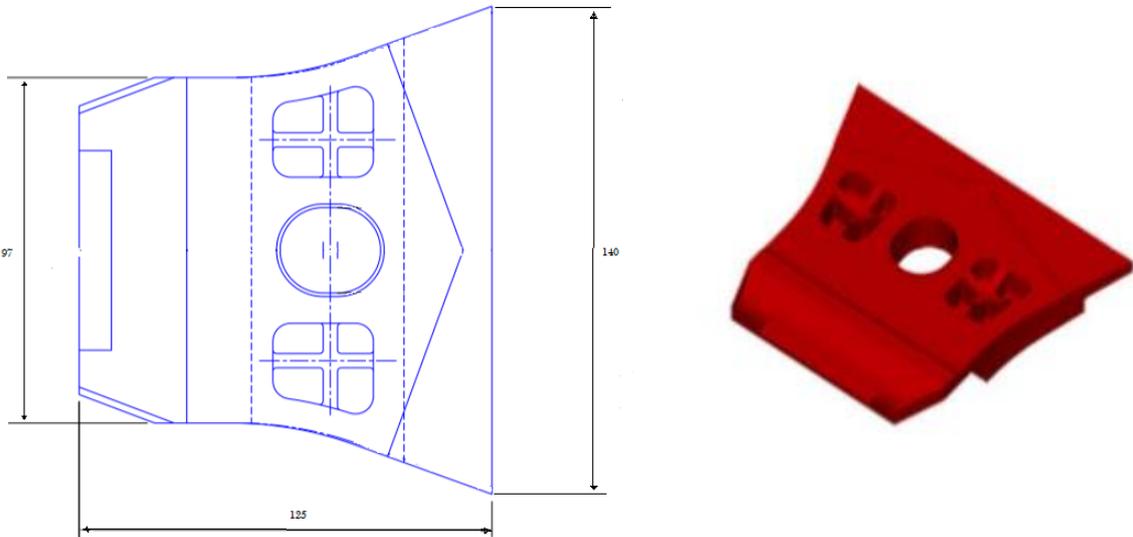
1. Les contraintes liées à la fonction « contenir le produit ».
1. Les contraintes liées à la fonction « protéger et assurer la sécurité ».
2. Les contraintes liées à la fonction « véhiculer un message ».
3. Les contraintes liées à la fonction « participer ».

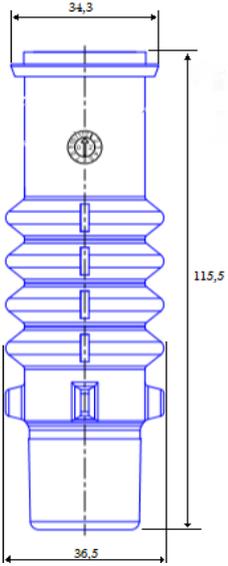
### 3.1 La première fonction : contenir le produit

La première fonction d'un emballage est d'être un contenant d'un produit, cette fonction exprime le rôle évident d'un emballage ou d'un packaging, elle est incontournable pour n'importe quel type de produit à emballer.

Il est indispensable de bien connaître le produit et les conditions requises pour son emballage. Le tableau 9 présente les caractéristiques des deux produits, à savoir la gaine et la butée. Ces deux produits ont des caractéristiques communes, en l'occurrence la nature du produit, les conditions de stockage et les caractéristiques physiques. Ceci dit, la forme et la matière première utilisée pour leurs productions sont différentes.

Tableau 9 : Les caractéristiques de gaine et de butée

La butée	
<b>La nature physique du produit</b>	Solide
<b>La matière de pièces</b>	Polyamide
Les caractéristiques fondamentales du produit	
<b>Les dimensions du produit en mm présentées par un vue de face</b>	La forme en 3D
	
<b>Le poids</b>	152 g
<b>La quantité à contenir</b>	400 pièces dans la caisse
La gaine	
<b>La nature physique du produit</b>	Solide
<b>La matière de pièces</b>	Polyamide avec fibre de verre
Les caractéristiques fondamentales du produit	
<b>Les dimensions du produit en mm présentées par un vue de face</b>	La forme en 3D

	
<b>Le poids</b>	46 g
<b>La quantité à contenir</b>	400 pièces dans la caisse
<b>Les caractéristiques communes</b>	
<b>Les conditions et durée de stockage</b>	Aucune
<b>Incompatibilité</b>	Aucune
<b>Densité</b>	Aucune
<b>Comment le produit sera-t-il manutentionné, transporté, stocké</b>	
<b>La dimension de la palette</b>	120 *100 cm
<b>Le mode de regroupement de produit</b>	en vrac
<b>Le moyen de remplissage des caisses de groupage</b>	manuel

Plusieurs contraintes peuvent être liées à cette fonction, à savoir des contraintes de compatibilité et des contraintes d'hygiène.

**La contrainte de compatibilité :** Vue les caractéristiques du produit à emballer (cf. Tableau 9), la contrainte de compatibilité est naturellement vérifiée. D'ailleurs, le produit fini n'est pas fragile. Aussi, le contact entre les butées et les gaines n'altère ni ne modifie le produit.

**L'hygiène :** Cette contrainte est importante pour d'autres produits, comme ceux du secteur pharmaceutique. Par exemple, certains produits doivent être conservés dans des milieux stériles ou des emballages qui seront introduits dans des salles blanches (13), mais pour la butée et la gaine la préservation n'est pas importante. Ainsi, certains emballages ont la fonction de réutilisation et cela nous amène à introduire dans nos trois solutions des caisses en carton qui permettent plusieurs utilisations. De plus, le carton n'est pas polluant et il demeure recyclable.

### 3.2 La deuxième fonction : protéger et assurer la sécurité

La fonction d'assurance de la sécurité permet de répondre à un seul objectif, à savoir éliminer radicalement tout risque par des protections. Certaines protections sont classiques ou contemporaines, visibles ou inobservables et d'autres sont environnementaux.

À partir des caractéristiques précédentes, ce produit n'est ni fragile, ni sensible au choc thermique et aux rayonnements ultraviolets. Donc, cette fonction n'est pas très importante. Mais, on exige de bon carton ondulé pour la caisse, qui supporte le point de la charge.

La contrainte principale liée à cette fonction est la pérennité. L'emballage doit être opérationnelle toute la durée de conservation. Pour plusieurs produits, les conditions de pérennité sont complexes et l'emballage demande des fonctions plus compliquées pour vérifier cette contrainte, comme les stocks de munitions par exemple. Mais dans notre cas, la confirmation de contrainte est plus simple, vu que la matière d'emballage choisie dans les solutions proposées est le carton ondulé qui peut durer longtemps, dans de bonnes conditions. Ceci dit, il se dégrade rapidement dans un milieu humide, donc on exige de bien plastifier la palette pour protéger les caisses de l'humidité.

### **3.3 La troisième fonction : véhiculer un message**

Cette fonction d'emballage est la plus prestigieuse, il est le support d'information et des messages véhiculés par le produit. Deux principales contraintes sont liées à cette fonction, à savoir une contrainte d'image et une contrainte de message.

**Contrainte d'image :** « *L'emballage c'est le premier contact avec le consommateur, c'est un relais majeur entre celui-ci et le produit* » (13). L'emballage est l'apparence physique du produit, il est aussi pour plusieurs consommateurs l'image de marque, parce qu'il est souvent bien mieux mémorisé que le logo. L'emballage est de fait pour plusieurs produits l'identité visuelle.

**Contrainte de message :** Le texte imprimé sur l'emballage doit être conforme et loyale, parce que ce texte est la seule affirmation sur la nature de produit, ces compositions, ces caractéristiques, ainsi son mode d'utilisation. Notre solution d'emballage proposée doit être un porteur d'énoncé légal, obligatoire, ainsi des mentions qui touche des objectifs marketing il faut qu'on trouve au moins le poids net et brut, le numéro de lot avec le jour, le mois et l'année, les indicateurs et les conditions de conservation, le nom et l'adresse du fabricant et le mode d'emploi.

### **3.4 La quatrième fonction : participer au produit**

La fonction ne vient pas spontanément à l'esprit, lors de l'étude d'un emballage, pourtant elle est présente dans la réalité de plusieurs façons. Par exemple, comme un outil de fabrication, pour faciliter la manutention et simplifier les conditions de stockage.

Cette fonction est liée à plusieurs contraintes de manutention, de conditions de stockage et d'aide à la vente du produit.

**Faciliter la manutention :** Le fait qu'on a choisi la caisse comme solution, représente une opportunité pour faciliter la manutention. D'ailleurs, on a amélioré la disposition des unités de charge dans la palette, ce qui a permis d'utiliser les différents moyens de manutention pour déplacer l'unité de charge et l'unité de commande.

**Faciliter les conditions de stockage :** La forme de l'unité de charge et de manutention compte beaucoup dans le choix du système de stockage. Ces améliorations dans l'emballage nous aident à proposer de nouvelles configurations et d'utiliser des racks dans l'entrepôt sans risque.

**Aider à la vente du produit :** Aider à la vente du produit veut dire qu'il peut avoir une action directe dans le processus d'utilisation comme le système de sécurité. Pour notre solution, on a réfléchi à utiliser la fonction « aider à la consommation unitaire », afin de permettre à l'utilisateur de prélever seulement la quantité nécessaire.

#### 4 Les solutions de caisse proposées

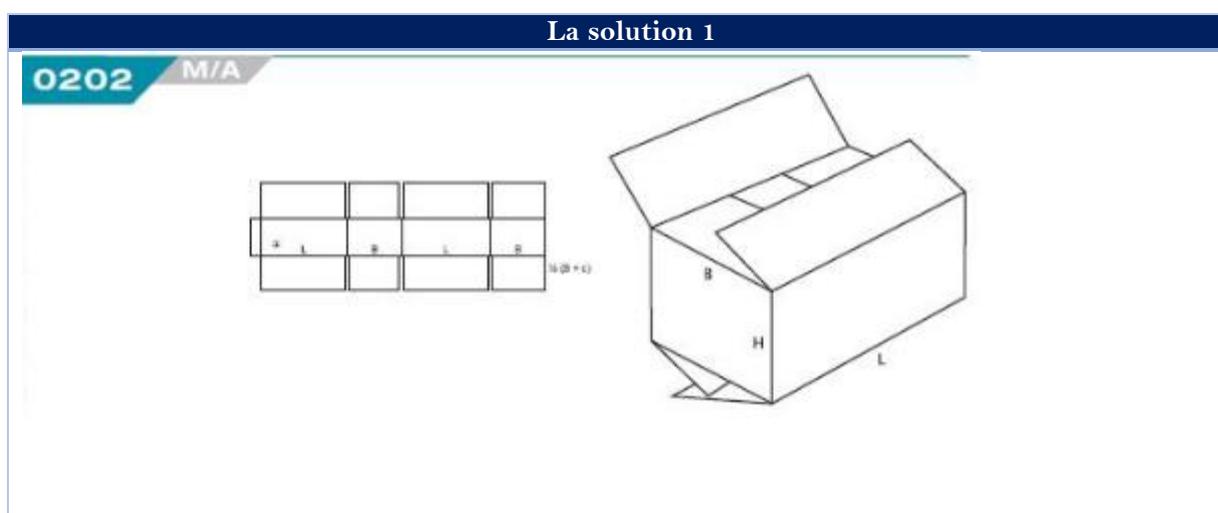
On a utilisé les contraintes et les fonctions précédentes afin de proposer des solutions pour l'emballage. Ceci à travers la déclinaison des trois possibilités d'emballages à savoir, la caisse à rabat 0202, la caisse 0202 avec séparateur, et la caisse 0411.

##### 4.1 La première solution : Une caisse à rabat 0202

La solution représente l'adoption d'une caisse à rabats 0202 selon le FEFCO (le code international pour distinguer les différents types de carton). Cette solution remplace directement le rôle du sac, tout en sachant que ce dernier peut contenir 150 pièces de butées. Pour assurer la sécurité, on a diminué la quantité des pièces à 109 pièces de butées dans une caisse. Concernant les gaines, la quantité par unité de charge sera déclinée de 400 pièces de gaine par sac à 290 pièces dans la caisse. Notre but est de diminuer le poids de la caisse chargée, pour simplifier la manutention manuelle des caisses.

On a mis en avant les dimensions de caisse proposées par LBH, selon le FEFCO. L étant la longueur, B la largeur, et H la hauteur. La largeur et la longueur de la caisse sont calculées par rapport aux dimensions de la palette, mais la hauteur est estimée par expérimentation. On a essayé plusieurs hauteurs, afin de choisir la hauteur de caisse qui peut accepter 109 pièces de butée et 290 pièces de gaine.

Tableau 10 : La première solution, la caisse à rabat 0202



les dimensions extérieures	L = 50 cm B = 39 cm H = 24cm	
Le type de carton	Carton ondulé marron	
Le mode de regroupement de produit	En vrac	
Le nombre de couleurs sur la maquette	Le bleu et le jaune	
Butée	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b>	109 pièces
	<b>Le poids maximum de charge</b>	17 kg
	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>	656 pièces
Gaine	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b>	290 pièces
	<b>Le poids maximum de charge</b>	11 kg
	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>	1740 pièces

La palettisation consiste à disposer les caisses sur une palette puis la filmer, pour assurer la stabilité et la solidarité de l'ensemble. Cette opération permet par la suite d'accélérer les opérations de manutention, d'entreposage et d'expédition. La palettisation permet aussi de réaliser un meilleur taux de remplissage des véhicules de transport. Pour éviter tous problèmes, mieux vaut respecter certaines règles qui préservent une bonne palettisation :

- Éviter le débordement : une palette en débordant peut parfois gêner le passage des engins de levage et la disposition d'autres palettes, pour cela, il faut assurer une adéquate disposition et de préférence le croisement des caisses.
- Respecter le centre de gravité : il faut préserver également une bonne répartition des charges sur la palette et de remplir la palette de manière à répartir le poids sur l'ensemble de sa structure.

Le plan qui convient la caisse 0202 est un plan de 6 caisses, qui sont positionnées comme suite :

- Par rapporte la longueur de la palette : la disposition à deux niveaux par rapport à la longueur de la palette. Les deux niveaux (cf. Figure 26) ont le même arrangement, trois caisses positionnées par largeur.
- Par rapporte la largeur de la palette : la disposition à trois niveaux par rapport à la largeur de la palette. Les trois niveaux (cf. Figure 26) ont aussi le même arrangement, deux caisses positionnées par longueurs.

La principale qualité de cette disposition est qu'elle assure un centre de gravité au milieu de la palette et une bonne organisation qui éliminer le débordement. Ceci dit, on retrouve parfois un manque de croisement des caisses, pour assurer une meilleure stabilité.



Figure 26 : Le plan de disposition des caisses à rabat 0202

#### 4.2 La deuxième solution : une caisse à rabat 0202 avec séparateur

Cette solution consiste en une caisse à rabats 0202 selon FEFCO le code international pour distinguer les différents types de carton, avec un séparateur qui divise la caisse par 8 parallélogrammes (cf. Figure 27).

On a principalement proposé cette solution avec un séparateur, dans le but de résoudre un problème de manque des pièces dans quelques sacs. Cette méthode élimine le désordre dans la caisse et augmente la certitude du nombre de pièce chargées.

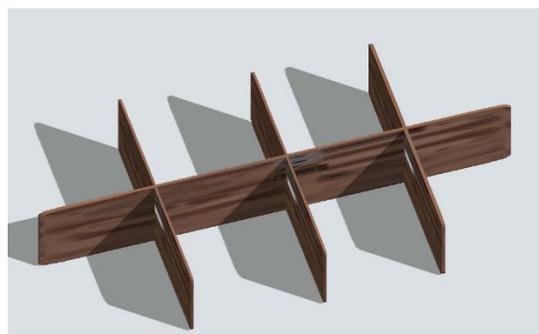
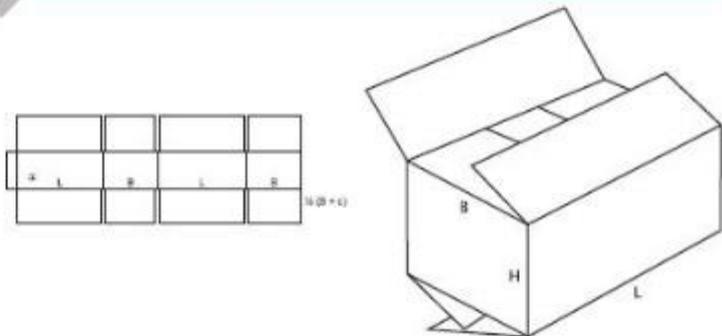


Figure 27 : un dessin d'un séparateur en 3D par FlexSim

La solution peut contenir 72 pièces de butées et la charge peut attendre un poids de 11 kg. Concernant la gaine, la quantité des pièces contenues dans la caisse peut atteindre les 100 pièces et avec un poids de la charge n'atteignant pas les 5 kg.

La largeur et la longueur de la caisse sont calculées par rapport aux dimensions de la palette, mais la hauteur l'est par expérimentation.

Tableau 11 : La deuxième solution, la caisse à rabat 0202 avec séparateur

Solution 2 :		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px 5px; display: inline-block;">0202</p> <p style="background-color: #808080; color: white; padding: 2px 5px; display: inline-block;">M/A</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
les dimensions extérieures	L = 56 cm B = 28 cm H = 24cm	
Le type de carton	Carton ondulé marron	
Le mode de regroupement de produit	En vrac	
Le nombre de couleurs sur la maquette	Le bleu et le jaune	
Butée	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b>	72 pièces
	<b>Le poids maximum de charge</b>	11 kg
	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>	432 pièces
Gaine	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b>	100 pièces
	<b>Le poids maximum de charge</b>	4,6 kg
	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de gaine dans l'étage</b>	600 pièces

Le plan qui convie à la caisse proposée est un plan de 6 caisses, qui sont positionnées comme suite :

- Par rapporte la longueur de la palette : la disposition à deux niveaux par rapport à la longueur de la palette, avec au niveau 1 (cf. Figure 28) deux caisses positionnées par longueurs, et le niveau 2 avec quatre caisses positionnées par largeur
- Par rapporte la longueur de la palette : la disposition à deux niveaux par rapport à la longueur de la palette, avec le même arrangement sur les deux niveaux (cf. Figure 28), à savoir une caisse positionnée par largeur et deux caisses positionnées par longueur.

La principale qualité de cette disposition est qu'elle assure une organisation convenable et un bon croisement des caisses, ce qui élimine le débordement. Ceci dit, le centre de gravité n'est pas au milieu de la palette.

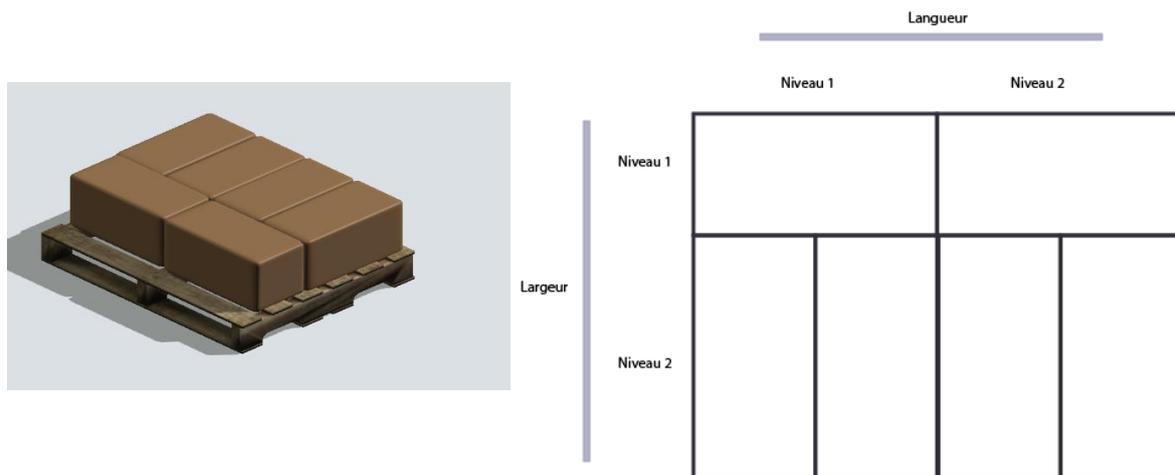


Figure 28 : Le plan de disposition des caisses une caisse à rabat 0202 avec séparateur

### 4.3 La troisième solution : Une caisse 0411

Une caisse 0411 selon FEFCO le code international pour distinguer les différents types de carton. Cette solution vérifie la fonction de consommation unitaire. Il s'agit de permettre de prélever seulement la quantité des pièces nécessaires. Sur l'emballage, un design est conçu de manière à orienter le client au point d'ouverture (cf. Figure 29).

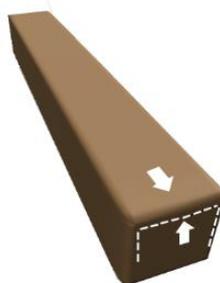
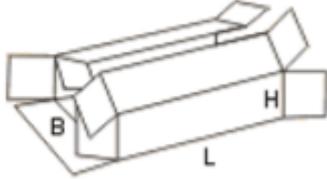


Figure 29 : la caisse 0411 avec le design de point d'ouverture

L'opérateur peut empiler et remplir la boîte manuellement sur une table spéciale. Cette solution peut contenir 37 pièces de butées avec un poids de charge de 5,6 kg et la quantité des pièces de gaines sera 38 pièces dans la caisse, avec un poids de charge de 2 kg.

Les dimensions de la caisse sont calculées par rapport aux dimensions de la palette, ainsi qu'aux dimensions des pièces de butée et de gaine.

Tableau 12 : La troisième solution, la caisse de 0411

Solution 3		
<b>0411</b>		
<b>les dimensions extérieures</b>		L = 100cm B = 13 cm H = 14 cm
<b>Le type de carton</b>		Carton ondulé marron
<b>Le mode de regroupement de produit</b>		En vrac
<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>		
<b>Le nombre de couleurs sur la maquette</b>		Le bleu et le jaune
<b>Butée</b>	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b> <b>Le poids maximum de charge</b> <b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>	37 pièces 5.6 kg 333 pièces
<b>Gaine</b>	<b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans une caisse</b> <b>Le poids maximum de charge</b> <b>Les quantités prévisionnelles des pièces de butée dans l'étage</b>	38 pièces 2 kg 342 pièces

Le plan qui convie la caisse proposée est un plan de 9 caisses, qui sont positionnées comme suite :

- Par rapporte à la longueur de la palette : la disposition a un seul niveau par rapport à la longueur de la palette. Ce niveau a neuf caisses positionnées par largeur (cf. Figure 30).
- Par rapporte à la largeur de la palette : la disposition a neuf niveaux par rapport à la longueur de la palette. Ces neuf niveaux ont seulement une caisse positionnée par longueur (cf. Figure 30).

La qualité de disposition est qu'elle assure un centre de gravité au milieu de la palette et une bonne organisation qui éliminer le débordement, mais le centre de gravité n'est pas au milieu de la palette.

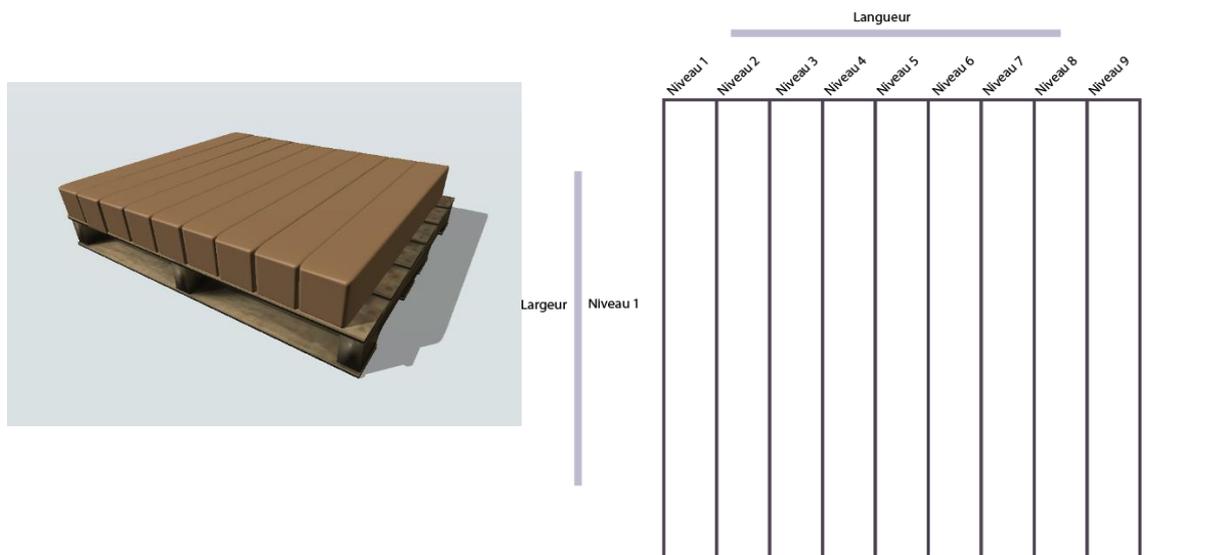


Figure 30 : Le plan de disposition des caisses de O411 sur la palette

## 5 La relation entre le niveau de rack et l'unité de charge

Généralement les éléments qui déterminent le coût de stockage sont directement liés au loyer de la surface et au volume occupés par les stocks. Ainsi ils se rattachent à la quantité des unités stockées et des équipements qui permettent d'assurer le bon rangement et manutention.

Pour cela, on s'est focalisé sur la relation entre le nombre de niveaux du rack et la capacité de la travée. Dans le tableau 13, on va comparer entre un rack de 3 niveaux et un rack de 2 niveaux par rapport à la capacité de la travée, et ce dans le but de spécifier la hauteur de niveau et la hauteur de la palette les plus avantageuses. En parallèle, on va comparer les capacités des travées avec les caisses proposées pour choisir la caisse la plus adéquate.

Dans cette partie, on va essayer de trouver le système qui peut nous permettre de maximiser les quantités stockées. On compare ainsi deux systèmes, un avec des racks de deux niveaux et l'autre de trois niveaux.

Le choix de la hauteur du niveau est lié à la hauteur de l'entrepôt, qui n'est pas très élevée, et qui peut atteindre les 500 cm. Ainsi la contrainte de sécurité conformément à la norme EN 15620<sup>6</sup> applicable à partir janvier 2009, qui définit les marges à prévoir dans les rayonnages conventionnels à palette dépendent du type de chariot.

Le tableau 13 montre que la manutention des unités de charge demande toujours des jeux de manœuvres, qui dépendent du type de moyen de manutention ainsi que de la hauteur du niveau. Dans notre cas, la hauteur est comprise entre 0 et 300 cm, à partir du tableau 13, on

<sup>6</sup> 15620, EN 15629 et EN 15635, qui servent de repères pour spécifier le système de stockage, les tolérances à respecter au cours du montage, ainsi le fonctionnement de sécurisé de l'installation.

peut déduire que pour n'importe quel moyen de manutention, on peut utiliser un jeu de manœuvre qui peut atteindre les 7,5 cm.

Tableau 13 : Les marges à prévoir dans les allées (3)

Le niveau compris	Machine					
	Classe 400		Classe 300A		Classe 300B	
	X	Y	X	Y	X	Y
0 et 300 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm
300 et 600cm	7,5 cm	10 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm	7,5 cm

Classe 400 : correspond aux chariots à contrepoids ou rétractable.

Classe 300A : correspond aux chariots tridimensionnels à conducteur porté.

Classe 300B : correspond aux chariots tridimensionnels avec un opérateur accompagnant.



Figure 31 : Les jeux de manœuvres

Tableau 14 : les calculs des capacités des niveaux

La caisse	Les caractéristiques	Butée		Gaine	
		Trois niveaux	Deux niveaux	Trois niveaux	Deux niveaux
Caisse 1	La hauteur de palettisation	120 cm	168 cm	120 cm	168 cm
	La hauteur de palette palettisée	134,4 cm	182,4 cm	134,4 cm	182,4 cm
	Nombre de caisses dans la charge	30 caisses	42 caisses	30 caisses	42 caisses
	Nombre de couches	5 couches	7 couches	5 couches	7 couches
	Les quantités prévisionnelles des pièces dans la charge	3 270 pièces	4 905 pièces	52 200 pièces	73 080 pièces
	Le poids de la charge	510 kg	714 kg	330 kg	462 kg
	Le poids de palette palettisée	512 kg	716 kg	332 kg	464 kg
Caisse 2	La hauteur de palettisation	120 cm	168 cm	120 cm	168 cm
	La hauteur de palette palettisée	134,4 cm	182,4 cm	134,4 cm	182,4 cm
	Nombre de caisses dans la charge	30 caisses	42 caisses	30 caisses	42 caisses
	Nombre de couches	5 couches	7 couches	5 couches	7 couches
	Les quantités prévisionnelles des pièces dans la charge	2160 pièces	3024 pièces	3000 pièces	4200 pièces

	Le poids de la charge	330 kg	556 kg	138 kg	207 kg
	Le poids de palette palettisée	332 kg	558 kg	140 kg	209 kg
	La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes	19440 pièces	18144 pièces	27 000 pièces	25 200 pièces
Caisse 3	La hauteur de palettisation	112 cm	168 cm	112 cm	168 cm
	La hauteur de palette palettisée	126,4 cm	182,4 cm	126,4 cm	182,4 cm
	Nombre de caisses dans la charge	72 caisses	108 caisses	72 caisses	108 caisses
	Nombre de couches	8 couches	12 couches	8 couches	12 couches
	Les quantités prévisionnelles des pièces dans la charge	2664 pièces	3996 pièces	2 736 pièces	4 104 pièces
	Le poids de la charge	405 kg	608 kg	144 kg	216 kg
	Le poids de palette palettisée	406 kg	610 kg	146 kg	218 kg
	La quantité des pièces des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes	23 976 pièces	23 976 pièces	24 624 pièces	24624 pièces

Remarque : On a pris la hauteur de palette égale 14,4 cm et son poids égale 2 kg

### Analyse les résultats

Le tableau 13 représente une comparaison entre les caractéristiques concernant les systèmes proposés. Les calculs sont faits en fonction du type de caisse et en fonction de la hauteur de niveaux. On a ainsi deux systèmes, un avec deux niveaux et l'autre avec trois niveaux et trois types de caisses, donc au total on a six dispositifs. On constate que la quantité des pièces stockées dépend de deux éléments, à savoir le type de caisse et la hauteur de niveau. Ce pourquoi on va comparer les résultats pour choisir la hauteur le plus convenable et la caisse la plus adéquate.

#### Par rapport le niveau

Principalement, on voit que la quantité des pièces stockées dans le système de trois niveaux est plus importante que la quantité stockée dans le système de deux niveaux. Et si on compare entre ces deux systèmes par rapport à la quantité des pièces stockées dans une travée de capacité de trois palettes par alvéole, on trouve que :

Pour la butée :

La caisse 1 : le système de trois niveaux a 0 pièces de plus que le système de deux niveaux.

La caisse 2 : le système de trois niveaux a 11296 pièces de plus que le système de deux niveaux.

La caisse 3 : le système de trois niveaux a 0 pièces par travée de plus que le système de deux niveaux.

Pour la gaine :

La caisse 1 : le système de trois niveaux a 31 320 pièces de plus que le système de deux niveaux.

La caisse 2 : le système de trois niveaux a 1800 pièces de plus que le système de deux niveaux.

La caisse 3 : le système de trois niveaux a 0 pièces par travée de plus que le système de deux niveaux

### **Par rapport au type de caisse :**

On constate que le type de caisse influence aussi sur la quantité stockée par alvéole, on remarque que la caisse 1 (la caisse de 0202) est la plus opportune, parce que la quantité stockée est constamment plus importante avec la caisse 1 en fonction des deux niveaux :

Pour trois niveaux :

La butée :

Avec la caisse 1 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 29 430 pièces

Avec la caisse 2 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 19 440 pièces

Avec la caisse 3 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 23 976 pièces

Souvent la quantité stockée dans une travée par la caisse 1 plus importante

La gaine :

Avec la caisse 1 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 469 800 pièces.

Avec la caisse 2 : la quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 27 000 pièces.

Avec la caisse 3 : la quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 24 624 pièces.

Souvent la quantité stockée dans une travée par la caisse 1 est plus importante.

Pour deux niveaux :

La butée :

Avec la caisse 1 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 469 800 pièces.

Avec la caisse 2 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 29 430 pièces.

Avec la caisse 3 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 23 976 pièces.

Souvent la quantité stockée dans une travée par la caisse 1 plus importante

La gaine :

Avec la caisse 1 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 438 480 pièces

Avec la caisse 2 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 25 200 pièces

Avec la caisse 3 : La quantité des pièces dans la travée d'une alvéole de capacité de trois palettes est de 24 624 pièces

Souvent la quantité stockée dans une travée par la caisse 1 plus importante.

## 5.1 Le choix du conteneur pour les livraisons

Le coût de transport d'une pièce dépend de plusieurs éléments qui peuvent le faire varier, d'un coût élevé à un coût bas. S'agissant de l'optimisation de la chaîne logistique, il est plus avantageux d'utiliser le transport qui porte de grandes quantités de marchandises pour un coût relativement peu élevé. Le conteneur ou l'espace de stockage influence beaucoup sur le coût de transport, par conséquent la méthode de livraison et les dimensions d'unité de charge ont aussi un rôle déterminant.

Dans cette partie, on va comparer la quantité des lots chargés dans des espaces de charges différents, avec l'utilisation de l'EasyCargo ; c'est un logiciel de gestion de chargement des camions et des conteneurs, il utilise le poids et les dimensions de l'espace et de l'unité de charge comme des contraintes. Ce dernier nous a permis de créer un plan de chargement rapide et fonctionnel par rapport au camion ou au conteneur choisi.

Le tableau 17 présente les résultats obtenus par le logiciel. On a choisi comme espace de stockage des conteneurs qui ont des volumes qui ne dépassent pas les 100 m<sup>3</sup>. En fonction de l'unité de charge et de l'espace de charge, le logiciel a déterminé la quantité des lots qu'on peut charger et transporter.

### Le choix du lot

Le lot adopté par l'entreprise avant l'optimisation est un lot de 5 palettes chargées avec 22500 pièces de butée. Dans le but de garder la même quantité des pièces dans le nouveau lot, on a utilisé la caisse 1 qu'on a montré qu'elle est la plus avantageuse, mais le choix de nombre de caisses dans une unité de charge et le nombre d'unités de charges dans un lot dépendent toujours de la hauteur de niveau. Pour cela, on a calculé le nombre d'unités de charge dans un lot en fonction de nombre de niveaux dans la palettier ou le rack, et on a trouvé que (cf. tableau 15) :

- Dans le but d'atteindre cette quantité de pièces par une unité de charge, destinée aux racks de 3 niveaux avec la caisse 1, on a besoin de 7 charges palettisées.
- Pour atteindre cette quantité de pièces par une unité de charge destinée aux racks de 2 niveaux avec la caisse 1, on a besoin de 5 charges palettisées.

Tableau 15 : la quantité des pièces dans le lot avant et après l'optimisation

L'unité de charge	La quantité des pièces	Le nombre d'unité de charge dans lot	La quantité de pièces dans lot
Palette chargée avant l'optimisation	4500	5	22500
Palette destine aux racks de trois niveaux	4575	5	22890
Palette destine aux racks de deux niveaux	3327	7	22890

## 5.2 L'analyse des resultate de l' EasyCargo

Les résultats de tableau 17 indiquent que pour les conteneurs de hauteur inférieure à 2700 mm, le Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge) et le Taux 2 (le

volume occupé par les palettes) sont plus importants, si on utilise une unité de charge destinée pour un rack de deux niveaux qu'une unité de charge destinée pour un rack de trois niveaux :

- Pour une remorque standard à 2 essieux (5 300 mm x 2 400 mm x 2 400 mm) :

Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge) :

Pour deux niveaux : 49 %

Pour trois niveaux : 61 %

Taux 2 (volume occupé par les palettes) :

Pour deux niveaux : 28 %

Pour trois niveaux : 38 %

- Pour un camion standard à 2 essieux (6 120 mm x 2 400 mm x 2 300 mm) :

Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge) :

Pour deux niveaux : 62 %

Pour trois niveaux : 31 %

Taux 2 (volume occupé par les palettes) :

Pour deux niveaux : 65 %

Pour trois niveaux : 34 %

La remorque standard à 2 essieux (5 300 mm x 2 400 mm x 2 400 mm) est plus adaptée par rapport à une palette destinée pour trois niveaux, parce que cet espace de stockage peut faire face à un problème de distribution des charges sur la surface de conteneur. Pour cela, le logiciel diminue une palette de lot pour équilibrer la charge (cf. tableau 17).

Mais si on ne s'intéresse pas par cette contrainte de poids, on constate que tous les conteneurs, qui ont une hauteur, qui ne dépasse pas le double de hauteur d'une unité de charge destinée pour trois niveaux ; ils optimisent mieux avec une unité de charge destinée pour deux niveaux.

D'autre part, les conteneurs les plus grands qui ont une hauteur plus de 2700 mm sont mieux optimisés, si on utilise les unités de charges destinées pour le rack de trois niveaux, et cela :

- Pour une semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm) :

Taux 1 (le poids de la charge par rapport à la capacité d'espace de charge) :

Pour deux niveaux : 73 %

Pour trois niveaux : 102 %

Taux 2 (volume occupé par les palettes) :

Pour deux niveaux : 60 %

Pour trois niveaux : 87 %

- Pour une semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm) :

Taux 1 (le poids de la charge par rapport à la capacité d'espace de charge) :

Pour deux niveaux : 53 %

Pour trois niveaux : 96 %  
Taux 2 (volume occupé par les palettes) :  
Pour deux niveaux : 66 %  
Pour trois niveaux : 80 %

La semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm) et la semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm) sont les conteneurs les plus opportuns parce qu'ils optimisent mieux l'espace et le volume avec un pourcentage très important. Ceci dit, cette optimisation est accompagnée par une condition à savoir, pour que l'unité de charge destinée aux racks de trois niveaux soit l'unité qui vérifie une meilleure optimisation, il faut au moins diminuer la hauteur de caisse 1 de 240 mm à 230 mm, dans le but d'assurer un jeu de manœuvre qui dépasse les 75 mm.

## **Conclusion**

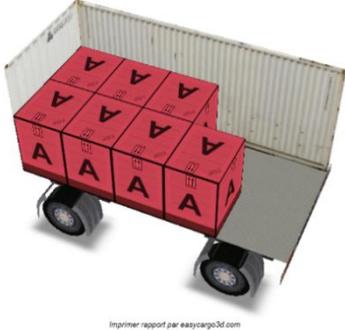
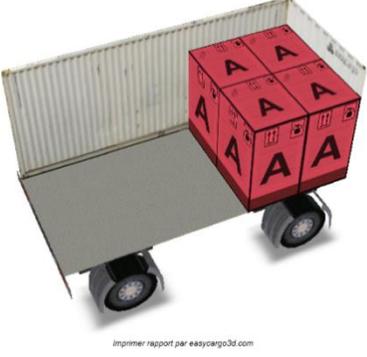
Les attributs de la nouvelle unité de charge sont reliés à plusieurs contraintes, qui peuvent cerner l'efficacité de nouveau système et améliorer sa performance. Par conséquent, on a lié l'optimisation de l'entrepôt par le choix de hauteur de l'unité de charge et donc le nombre des niveaux dans les racks.

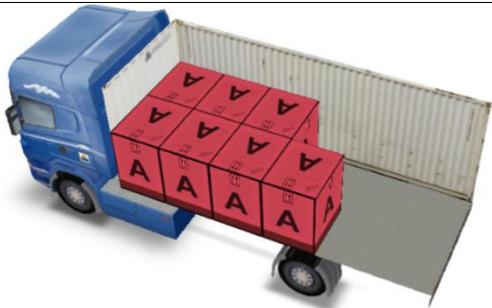
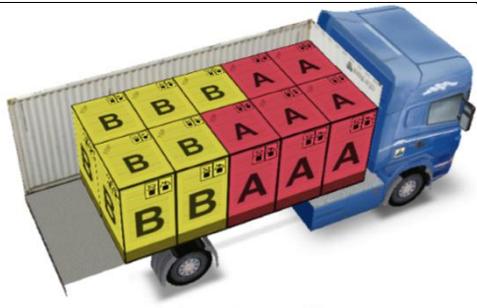
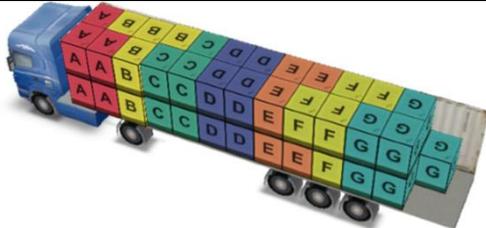
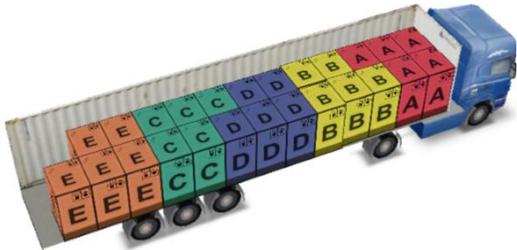
Par ailleurs, pour les mêmes conditions de stockages et les mêmes moyens de manutentions, on peut augmenter la quantité des unités stockées, ainsi, on peut optimiser au maximum la hauteur de l'entrepôt, par le choix des racks de trois niveaux.

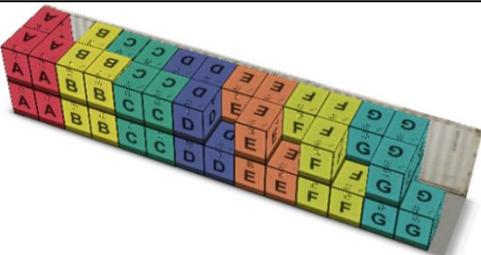
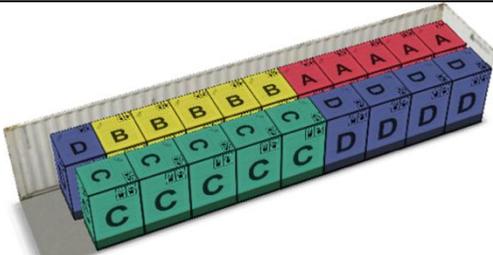
Par la suite, le coût de transport permet d'affirmer que le nombre des niveaux choisi en premier lieu est le plus opportun et adéquat pour l'optimisation de l'entrepôt. Avec les attributs de la nouvelle unité de charge, on peut optimiser le conteneur de 60 % de volume occupé à 87 %.

À la fin, on a affirmé que l'unité de charge destinée pour les racks de trois niveaux est la plus avantageuse qu'une unité de charge destinée aux racks de deux niveaux et la hauteur de niveau sera donc de 1500 mm, avec une hauteur d'unité de charge incluant le jeu de manœuvre peut attendre le 1350 mm.

Tableau 16 : Les résultats de EasyCargo

Espace de charge	La capacité physique	une palette destinée à trois niveaux	une palette destinée à deux niveaux
<b>Remorque standard à 2 essieux (5 300 mm x 2 400 mm x 2 400 mm)</b>	Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge)	61%	49%
	Taux 2 (volume occupé par les palettes)	38%	29%
	Nombre de lot	1 lot	1 lot
	vue de base de plan		
	condition	Aucune	Aucune
	Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge)	31%	62%
	Taux 2 (volume occupé par les palettes)	34%	65%
	Nombre de lot	1 lot	2 lots

Camion standard à 2 essieux (6 120 mm x 2 400 mm x 2 300 mm)	Vue de base de plan	 <small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small>	 <small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small>
	condition	Aucune	Aucune
Semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm)	Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge)	102%	73%
	Taux 2 (volume occupé par les palettes)	87%	60%
	Nombre de lot	7 lots	4 lots
	vue de base de plan	 <small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small>	 <small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small>
condition	Diminuer la hauteur de caisse 1 de 24 cm à 23 cm	Aucune	
	Taux 1 (le poids de la charge par rapport la capacité d'espace de charge)	96%	53%
	Taux 2 (volume occupée par les palettes)	80%	66%

Semi-remorque (13 620 mm x 2 480 mm x 2 710 mm)	Nombre de lot	7 lots	4 lots
	vue de base de plan	 <p><small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small></p>	 <p><small>Imprimer rapport par easycargo3d.com</small></p>
	condition	Diminuer la hauteur de caisse 1 de 24 cm au 23 cm	Aucune

## *Section 02 : les configurations de l'entrepôt*

## Introduction

Dans l'optique d'amélioration de la chaîne logistique, l'analyse des processus demeure nécessaire. Le diagnostic est mené sur les processus qui ont une relation avec la chaîne logistique, depuis les achats jusqu'au déroulement de la livraison. Ceci permet également de détecter le goulot d'étranglement. Il en convient que la performance de la chaîne logistique peut être améliorée, en permettant aux systèmes de production d'augmenter la quantité produite. Cependant, l'entrepôt comme maillon de la chaîne représente un goulot d'étranglement qui réduit le rendement. Par conséquent, plusieurs éléments statiques entravent l'optimisation de l'entrepôt à savoir, l'unité de charge qui n'est pas adéquate, et provoque plusieurs blocages. Aussi, le manque des moyens de manutentions, qui engendre une perte de temps et de coût.

On a déjà commencé notre démarche d'optimisation dans la première partie, par la proposition d'une solution d'emballage, qui vérifie plusieurs fonctions. Dès la fin de la partie, on a sélectionné une solution, par conséquent on a désigné la hauteur et le nombre de niveaux. Mais l'entrepôt joue encore le rôle d'un goulot d'étranglement et le mode de stockage (stockage au sol) n'est pas le meilleur mode pour un entrepôt qui a un problème d'espace. Pour cela, le choix d'utilisation des racks dans l'optimisation sera une convenable optimisation.

Pour une meilleure visibilité, les solutions seront regroupées en fonction du type de rack. Par conséquent, chaque groupe a plusieurs configurations. Ainsi, on va proposer pour chaque groupe les moyens de manutention qui conviennent à leur structuration. Les explications seront présentées en respectant les lois et les normes de composition des racks. Enfin, les configurations seront présentées et détaillées. Par la suite, on va utiliser un logiciel de simulation, FlexSim, dans le but de simuler les configurations proposées et de détecter les erreurs, en permettant l'optimisation des flux et le développement de la flexibilité de processus.

### 1 Simulation par FlexSim

Au début, on va utiliser FlexSim pour modéliser l'actuel entrepôt. Par la suite, on va l'exploiter pour simuler les propositions dans le but de dimensionner les dispositions des racks dans le nouvel arrangement au plus juste, pour ainsi détecter les erreurs et compléter les insuffisances.

#### 1.1 Les objectifs de simulations

Les objectifs des simulations peuvent être soulignés à travers les points suivants :

- Dimensionner l'installation au plus juste
- Éviter les erreurs et revoir le flux après les améliorations intégrées, en vérifiant l'efficacité des nouvelles configurations.
- Assurer la flexibilité du processus de dimensionnement des AIV (*Automated Intelligent Vehicle*), en visualisant les trajets utilisés par les moyennes de manutention, ainsi que les interactions entre la machine et l'homme (s'il y en a).

- Aider à la présentation du projet par l'animation de modèle en 3 D. le fait de présenter la future configuration d'entrepôt par un modèle en 3D nous aide à transmettre l'idée aux responsables et d'expliquer les améliorations.
- Optimiser les flux logistiques des usines et les flux de transports, et choisir la meilleure configuration.

## 1.2 Collecte des données de base du système

Tout d'abord, notre objectif de cette simulation est d'estimer le comportement de nouvelle configuration, de présenter le changement dans l'entrepôt, mais également d'expliquer la configuration d'une part et de démontrer l'impact du projet d'autre part.

Pour cela, on cadre le processus à simuler à partir de la palettisation des unités de charges à l'expédition des commandes. Alors, après la palettisation, les unités de charges sont déplacées à l'aide d'un moyen de manutention à la zone tampon, par la suite, elles sont déplacées aussi de la zone tampon à la zone de stockage par le même moyen pour enfin les stocker. À la fin, les unités de charge stockées sont déplacées de la zone de stockage de produit fini à la zone de préparation de commande pour l'expédier au client.

La zone de conditionnement : dans cette zone, l'opérateur vérifie manuellement la qualité des pièces (pièce par pièce), ensuite il remplit les caisses pour préparer l'unité de charge.

La zone tampon : elle est préparée pour vérifier la qualité des unités de charges avant leur transfert à la zone de stockage de produit fini. La zone tampon a une capacité de quatre palettes.

La zone de stockage : dans cette zone, on trouve les nouvelles configurations. Cette zone a une capacité physique variable, elle dépend du type d'arrangement des racks.

## 1.3 Construire le premier modèle de simulation

Le premier modèle présente le processus de stockage et de livraison de produit fini, avec l'utilisation du mode de stockage au sol. Au début, on a utilisé deux sources pour déclencher l'arrivée des unités de charges d'après la zone de conditionnement. Une source pour la gaine et une source pour la butée. Le réglage d'arrivée est assuré par agenda, pour les deux sources. L'unité de charge arrive à la zone tampon qui se présente à travers par le quai (cf. figure 32). Puis, le flux se déplace de la zone tampon à la zone de stockage, en sachant que la zone de stockage n'est pas fixe, elle varie en fonction de la configuration, par conséquent le moyen de transport varie aussi en fonction du type de rack utilisé et dans ce premier modèle on a utilisé le stockage au sol qui est présenté par FloorStorage (cf. tableaux 18) et deux opérateurs.

Après, le flux bouge au processus qui expose la préparation de commande et finalement les livraisons sont expédiées aux clients par le sink (cf. tableaux 17).



Figure 32 : le processus à modéliser

Tableau 17 : les éléments communs dans tous les modèles

L'élément	Type d'élément	Remarque
Source gaine	Source	La source de la palette charge de gaine, il livre par agenda
Source butée	Source	La source de la palette charge de gaine, il livre par agenda
Quai	Quai	C'est la zone tampon avec la capacité de 4 palettes
processus	processus	Le processus de préparation de commande
Sink	Sink	L'expédition de commande

Tableau 18: les éléments de simulation pour le modèle avec stockage au sol.

La configuration	Les éléments de modèles		
	L'élément	Type d'élément	remarque
<b>Stockage au sol</b>	FloorStorage1	FloorStorage	Avec une capacité de 35 palettes
	FloorStorage2	FloorStorage	Avec une capacité de 12 palettes
	Operatore1	Operatore	Pour transporter la palette de la zone tampon à la zone de stockage et de la zone de stockage aux processus
	Operatore2	Operatore	
	Dispatcher	Dispatcher	Pour diviser le travaille

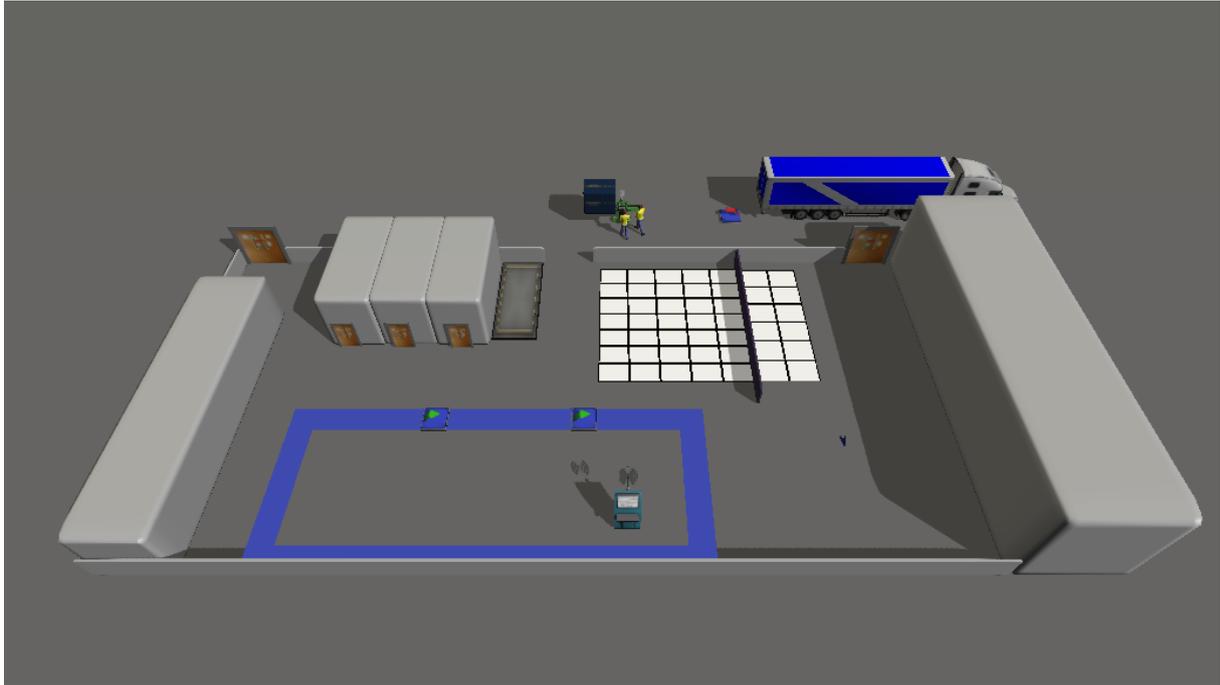


Figure 33: modèle stockage au sol par flexSim

## 2 Les configurations de l'entrepôt

Avec l'identification de plusieurs contraintes dans la première partie. On a ainsi montré que l'utilisation de trois niveaux pour les racks représente la solution la plus avantageuse, avec l'utilisation de la première solution des caisses, c'est-à-dire une caisse à rabat de dimensions 50\*39\*24 cm.

Donc, la hauteur de la charge sur les palettes peut atteindre les 123 cm d'une part, et d'autre part on a également pris en compte la marge à prévoir sur les rayonnages conventionnels à palette, en fonction du type de chariot, qui est décrit dans la norme EN 15 620 pour calculer la hauteur de niveau. Cela nous permet d'avoir au minimum une hauteur de niveaux de 150 cm.

**L'espace de travailler :** La localisation de cette zone est disposée entre la zone de stockage des produits finis et l'administration. On a donc fusionné (cf. Figure 34) l'actuelle zone de stockage des produits finis (100\*84) cm<sup>2</sup> et la zone annexe qui a une surface de (100\*50) cm<sup>2</sup>. Le plan ci-dessous exprime la configuration de l'entrepôt et la disposition des différentes zones.

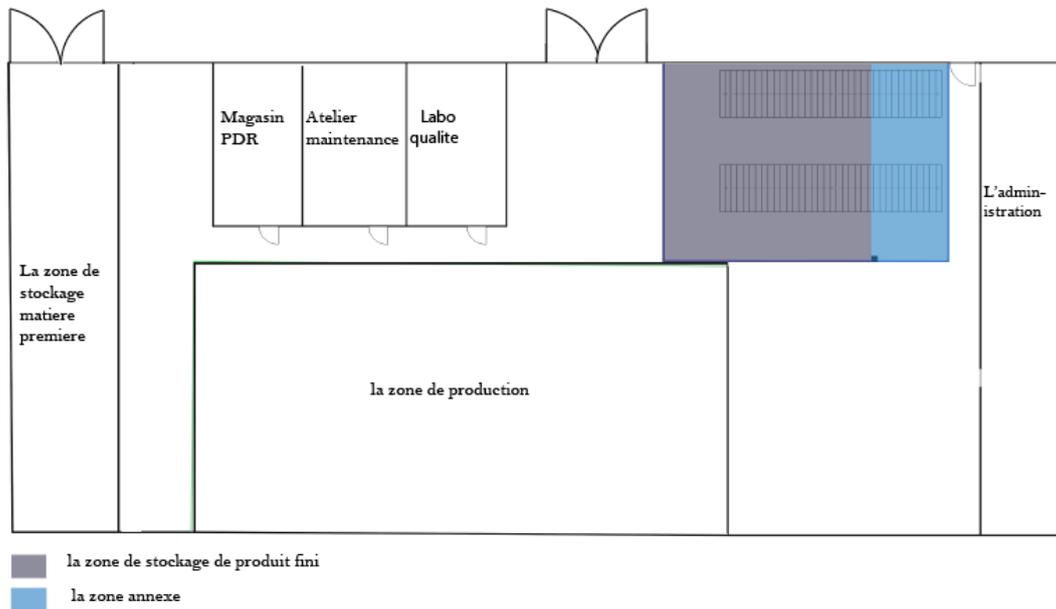


Figure 34 : Le plan de l'usine qui exprime la localisation des zone

## 2.1 Groupe 1 : Rayonnage à double profondeur

Dans ce premier groupe, on va s'intéresser au rack à double profondeur, et comme moyen de manutention, le chariot à mat pantographe. Par la suite, on va proposer deux configurations de rack ; un arrangement par longueur et l'autre par largeur.

**Le moyen de manutention** : La famille des chariots à mâts est parmi les moyens de manutentions les plus utilisés dans les entrepôts. Dans notre configuration, il sert principalement à transporter les produits finis, charger les palettes depuis la chaîne de fabrication vers le lieu de stockage, de placer les unités de charges dans les alvéoles et finalement de charger les produits finis dans le camion.

Le meilleur chariot qui peut assurer toutes ces tâches est le chariot à mât pantographe à double-profondeur, par rapport auquel le mât est fixe et les fourches s'étendent jusqu'à la position souhaitée. Ce modèle est muni d'une fourche, qui est aussi déplaçable, ce qui permet d'accéder à la palette située en double profondeur.

**Les racks à double profondeur** : le rayonnage à double profondeur est une solution qui optimise l'espace par volume dans les entrepôts. Il consiste à ajouter une seconde rangée de palettier à simple profondeur. L'accès aux stocks rangés à l'arrière est difficilement accessible. Dans ce cas, seule la palette placée devant est directement accessible et pour atteindre la seconde palette, il faut retirer la première.

**La dimension de l'alvéole** : Tout comme la hauteur de niveau, les dimensions d'alvéole dépendent du jeu de manœuvre, de la dimension de la palette et du nombre de palettes placées dans l'alvéole.

Dans ce cas, on a trois types d'alvéoles, celle qui supporte 3 palettes par largeur, avec une longueur de 330 cm, celle qui supporte 2 palettes avec une longueur qui peut atteindre les 223 cm, et celle qui supporte une palette par largeur avec une longueur de 115 cm

**La largeur de l'allée :** Grâce au chariot à mat choisi pour manutentionner les unités de charge, l'entrepôt peut accepter des allées de 270 cm, car il permet d'offrir un meilleur rendement (3)

Tableau 19 : Les caractéristiques concernent le groupe 1 de configuration

Les caractéristiques	
Moyen de manutention	Chariot à mat pantographe
Nombre de niveaux	3 niveaux
La hauteur de niveaux	150 cm
Longueur intérieure d'alvéole	330 cm
	223 cm
	115 cm
Nombre de travées dans la ligne	3 travées
La façade de la palette	Par largeur

### 2.1.1 Rayonnage à double profondeur disposé par largeur

Principalement, notre solution se base sur deux facteurs à savoir l'usage d'un chariot à mat pantographe et l'utilisation des rayonnages à double profondeur. Ainsi la disposition des racks se fait soit par largeurs ou par longueurs. Afin de déterminer la meilleure proposition, on va accomplir une comparaison entre une disposition des racks par largeurs et une disposition des racks par longueurs.

- La disposition (cf. Tableau 20) des racks par largeurs est assurée avec quatre simples rangées. Les deux premières du côté droit sont collées par le dos, dans le but d'avoir l'option de double profondeur. Elle a 3 travées identiques, chaque travée a trois alvéoles. Les alvéoles peuvent supporter 3 palettes chargées et placées en longueur. Dans l'autre côté de l'allée, on a quatre rangées, elles sont collées comme solution de rayonnage de double profondeur. Ces rangées sont identiques et chaque rangée a 3 travées. Les deux premières travées ont des alvéoles qui supportent 3 palettes chargées, placées par longueur. Pour la dernière travée, elle a des alvéoles pour une seule palette placée par longueur.

- Cette solution (cf. Figure 35) a donc 18 niveaux, à savoir six niveaux dans les deux premières rangées à côté de l'administration, acceptant 9 palettes par niveau, et 12 niveaux dans le côté gauche de l'allée avec une capacité de 7 palettes par niveau. En moyenne, ce système accepte 8 palettes par niveaux d'un rack.

Et pour la capacité de l'entrepôt par palettes, il accepte 138 palettes. Le rayonnage occupe une surface de 610 m<sup>2</sup>, donc les palettes occupent 43% de surface de l'entrepôt et 39% de volume d'entrepôt. Autrement dit le CUS<sup>7</sup> est le rapport numérique entre la surface brute du plancher utile et la surface constructible de terrain est 129%.

<sup>7</sup> CUS : le rapport numérique entre la surface brute du plancher utile et la surface constructible

Tableau 20 : la capacité de configuration, rayonnage à double profondeur positionné par largeur

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	138 palettes
Surface pour palette	610 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	43%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	39%
CUS	129%

Coefficient d'Utilisation de Sol (CUS) : CUS est un rapport numérique qui aide à déduire l'importance de la surface de sol occupée par des bâtiments sans prendre en compte leur hauteur.  $CUS = SBPu/STd$ .

- SBPu : Surface brute de plancher utile, il se compose de la somme de toutes les surfaces d'étages
- STD : Surface de terrain déterminante, elle représente la valeur de référence pour toutes les mesures d'utilisation du sol.

Tableau 21 : Rayonnages à double profondeur positionné par largeur

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par largeur	La longueur de rack	990cm 775 cm
	La largeur de rack	240 cm
	Nombre d'allées de travail	2
	Largeur d'allée	Au minimum 270 cm

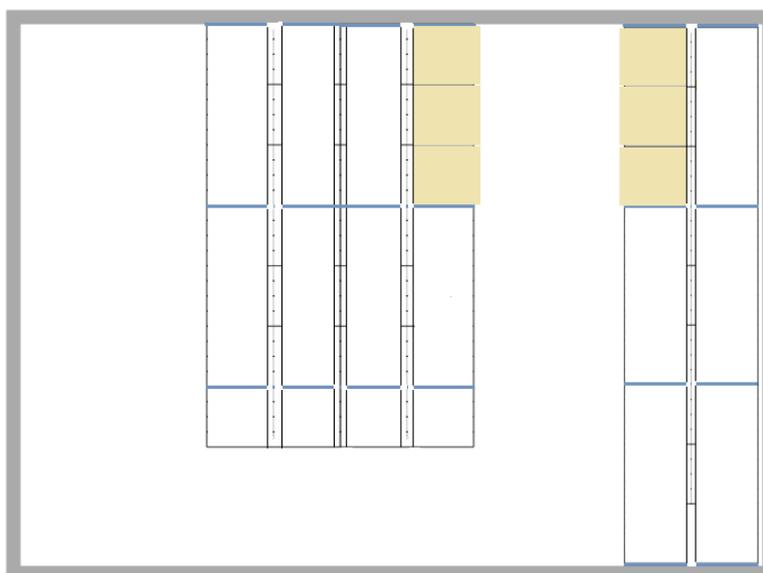


Figure 35 : Rayonnage à double profondeur positionné par largeur

### 2.1.2 Rayonnage à double profondeur disposé par longueur

Cette solution propose deux rangées identiques à double-profondeur. Ces rangées ont 4 travées, les trois premières à droite sont identiques. Chaque travée de ces premières a trois alvéoles qui supportent 3 palettes chargées et placées par longueur. Pour les alvéoles qui restent, elles supportent deux palettes avec leurs charges. Le moyen de manutention adapté dans ce système est toujours le chariot à mat pantographe.

Tout comme l'explication dans la solution précédente, cette solution propose 12 niveaux et 48 alvéoles, avec le fait que chaque rack accepte 66 palettes et donc en moyenne, un rack accepte 11 palettes par niveaux.

Le rayonnage occupe donc une surface de 595 122 cm<sup>2</sup>, dont les palettes occupent 41 % de la surface de l'entrepôt et 37 % du volume de ce dernier, le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile étant de 123 %.

Tableau 22 : la capacité de configuration, rayonnage à double profondeur positionné par longueur

Capacité physique	
Palettes par niveau d'un rack	Moyenne 11 palettes par niveau
Capacité d'entrepôt par palette	132 palettes
Surface pour palette	585 122 cm <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	41%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	37%
CUS	123%

Tableau 23 : Rayonnage à double profondeur positionné par longueur

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par longueur	La longueur de rack	990cm 775 cm
	La largeur de rack	240 cm
	Nombre d'allées de travail	2
	Largeur d'allée	Au minimum 270 cm

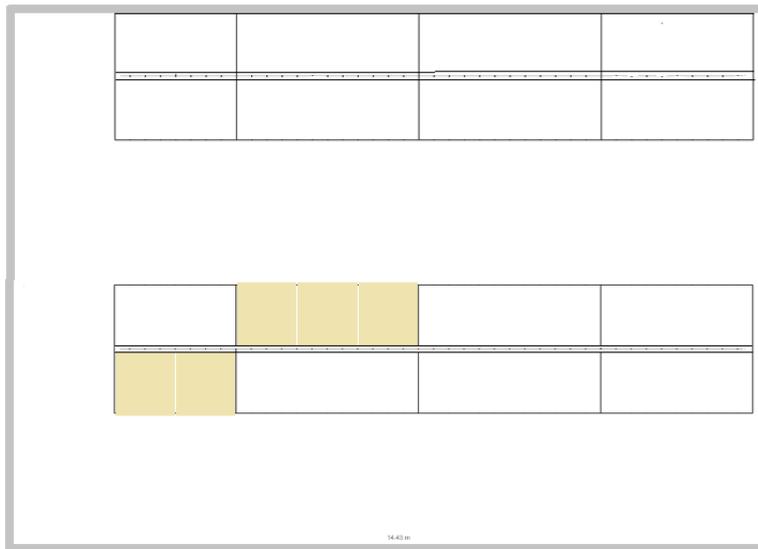


Figure 36 : Rayonnage à double profondeur positionné par longueur

## 2.2 Groupe 2 : Rayonnage simple

Dans ce groupe on a choisi les racks simples et deux moyens de manutention, un chariot élévateur tri-directionnel. De plus, on a ajouté un chariot élévateur classique parce que le chariot élévateur tri-directionnel ne travaille pas en dehors des allées, par ailleurs on va proposer deux arrangements tout comme le groupe précédent.

**Le moyen de manutention :** Le chariot élévateur tri-directionnel est un moyen de manutention conçue pour les allées étroite de 150 cm à 180 cm (3). Ces engins sont conçus pour travailler dans les couloirs d'ailleurs serrés, il ne tourne pas dans les allées et en dehors de l'espace des allées.

Les caractéristiques de son mat et sa fourche l'aident à éviter beaucoup de manoeuvrer pour assurer leurs fonctions. Par exemple, il ne tourne pas dans les allées tout comme le chariot à mat rétractable. L'utilisation de chariot élévateur tri-directionnel demande une bonne qualité de sol dans lequel il circule, son système de guidage est différent, il est guidé soit par le guidage laser LGV<sup>8</sup> ou par moyen des profils situés des deux côtés des allées.

Ainsi on utilise un chariot élévateur classique pour les autres tâches, comme le chargement et le déchargement et aussi transporter le produit fini chargé dans des palettes depuis les chaînes de fabrication vers la zone de stockage.

Le chariot élévateur classique convient à de nombreux usages de levage aux manutentions. Il est plus utilisé pour le chargement et le déchargement parce qu'il est très fiable et présente donc le meilleur choix pour d'autres systèmes. Il sera utile dans plusieurs configurations.

**Les racks simples :** Il s'agit des racks statiques par accès direct à chaque palette stockée. L'accessibilité de produit dans ce type des racks est plus optimale que les autres types des

<sup>8</sup> LGV : les véhicules à guidage laser les engins se sont déplacés autonome sans l'intervention humaine

racks (3), parce que l'accès aux stocks est très facile et très accessible. Toutes les palettes placent devant. Tout comme la première configuration, la capacité physique de la solution proposée est dépendante de la méthode de configuration soit par largeur ou par longueur.

**La dimension relative à l'alvéole :** les configurations permettent trois types d'alvéoles, celles qui permettent de supporter 3 palettes par largeur, avec une longueur d'alvéoles de 330 cm et celles qui supportent 2 palettes avec une longueur d'alvéole qui peut atteindre 223 cm, ainsi celles qui supportent une palette par largeur avec une longueur de 115 cm.

**La largeur de l'allée :** pour vérifier la sécurité et appliquer les recommandations de la meilleure larguées d'allée, pour un bon rendement d'un chariot élévateur tri-directionnel, il faut que celle-ci soit d'au moins 150 cm.

Tableau 24: Les caractéristiques concernant le groupe 2 de configuration

Les caractéristiques	
Moyen de manutention	Le chariot élévateur tri-directionnel Le chariot élévateur classique
Nombre de niveaux	3 niveaux
La hauteur de niveaux	150 cm
longueur intérieure d'alvéole	330 cm 223 cm 115 cm
Nombre de travées dans la ligne	3 travées
La façade de la palette	Par largeur

### 2.2.1 Rayonnage simple disposé par largeur

Ce système a six rangées simples. La première rangée a trois travées identiques et chaque travée a trois alvéoles. Une alvéole supporte 3 palettes par longueur. Pour les cinq racks restants, ils représentent trois lignes identiques avec trois travées. Deux travées supportent trois palettes par longueur et une alvéole accepte une palette par longueur.

Le système exploite comme moyen de manutention un chariot élévateur tri-directionnel et un chariot élévateur classique pour les autres tâches.

Cette solution à 18 niveaux, trois niveaux dans la première rangée à côté de l'administration (cf. figure 26), qui acceptent 9 palettes par niveau et 15 niveaux sur le côté gauche de la première allée, avec une capacité de 7 palettes par niveau.

Pour la capacité de l'entrepôt, il approuve 132 palettes, le rayonnage occupe une surface de 584 m<sup>2</sup>, dont les palettes occupent 43 % de surface de l'entrepôt et 48 % de son volume. Enfin le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile est 129 %.

Tableau 25 : la capacité de configuration, rayonnage simple positionné par largeur.

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	132 palettes
Surface pour palette	584 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	42%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	38%
CUS	126%

Tableau 26 : Rayonnage simple positionné par largeur.

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par largeur	La longueur de rack	990cm 775 cm
	La largeur de rack	120 cm
	Nombre d'allées de travail	3
	Largeur d'allée	Au minimum 150 cm

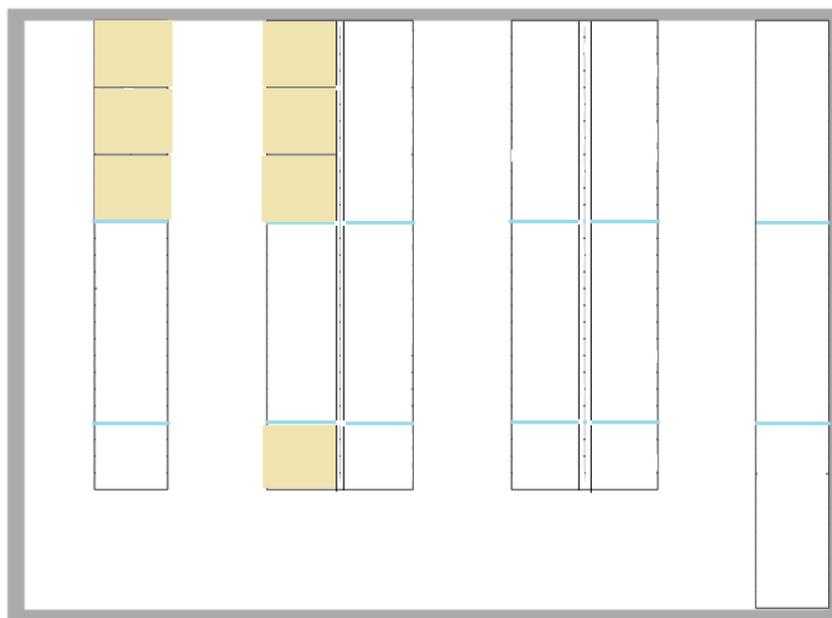


Figure 37 : Rayonnage simple positionné par largeur

### 2.2.2 Rayonnage simple disposé par longueur

Ce système a quatre rangées identiques. Chaque rangée a quatre travées, les trois premières acceptent trois palettes par alvéole, la travée qui reste a trois alvéoles, avec une capacité de deux palettes par longueur. La disposition par longueur nous aide à augmenter la largeur de l'allée à 270 cm, de manière d'utiliser le chariot élévateur classique et d'éliminer le chariot élévateur tri-directionnel.

Cette solution a 12 niveaux, trois niveaux dans chaque rangée avec une capacité de 11 palettes. On déduit que la capacité de l'entrepôt est de 132 palettes, et que les rayonnages occupent une surface de 475 m<sup>2</sup>. Donc, les palettes occupent 34 % de surface d'entrepôt et 31 % de volume d'entrepôt. Le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile est de 101 %.

Tableau 27 : la capacité de configuration, rayonnage simple positionné par longueur

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	132 palettes
Surface pour palette	475 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	34%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	31%
CUS	101%

Tableau 28 : Rayonnage simple positionné par longueur

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par longueur	La longueur de rack	990cm
	La largeur de rack	120 cm
	Nombre d'allées de travail	3
	Largeur d'allée	Au minimum 270 cm

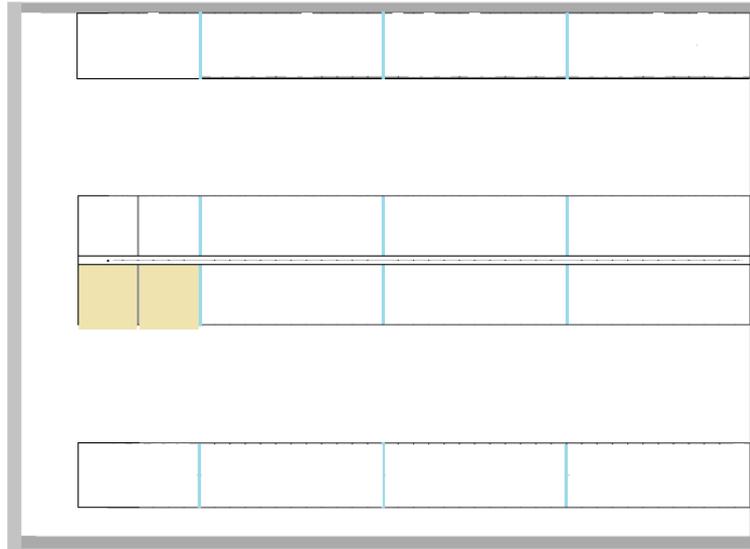


Figure 38 : Rayonnage simples positionné par longueur

### 2.3 Groupe 3 : Rayonnage par accumulation

Dans ce groupe on a choisi les racks par accumulation et un chariot élévateur à contrepoids. En conséquence, on va reformer deux arrangements tout comme les groupes précédents.

**Le moyen de manutention :** le chariot élévateur à contrepoids est un moyen de manutention très adapté aux rayonnages par accumulation. Principalement, pour des raisons de sécurité (3), il a un lourd contrepoids métallique fixé en dessus. Il est utilisé comme un moyen de sécurité contre les chutes des poids. Ce moyen de manutention est aussi efficace dans la manutention hors la zone de stockage de produit fini. Il peut également assurer plusieurs types de tâches dans l'usine, à savoir le déchargement de la matière première, la manutention des palettes à partir de la zone de fabrication jusqu'à la zone tampon, ainsi, de la zone tampon jusqu'à la zone de stockage, et le chargement des palettes dans les camions.

**Le rayonnage par accumulation :** Le rayonnage par accumulation est une technique qui permet d'assurer un stockage des produits de même référence par grande quantité. Cette méthode aide à réduire le nombre d'allées, et d'utiliser l'espace au maximum. Dans ce système, les palettes sont rangées en profondeur sur des profils transversaux. Les couloirs parallèles sont conçus à l'intérieur de la structure, à travers lesquels circule le chariot élévateur pour charger ou décharger les unités de charge. Le chariot élévateur manipule la charge à une

hauteur supérieure au niveau qui lui correspond et celle-ci est déposée sur les rails d'appui de la charge, qui se trouvent disposés des deux côtés de chacun des niveaux. Dans ce type, seules les palettes européennes ou des palettes qui représentent des caractéristiques équivalentes peuvent être utilisées.

**La hauteur de niveau :** le niveau dans ce système va conserver la même hauteur le 150 cm, dans la mesure que la hauteur de niveau doit être appropriée avec la hauteur de charge et les jeux de manœuvres (7).

**Largeur de l'allée ou de couloir :** le jeu de manœuvre entre une palette et une lisse et entre une palette et une autre palette reste toujours 7,5 cm (7). Il est conseillé d'installer avec les rayonnages, des guidages pour orienter la palette latéralement. La marge de guidage doit être entre 5 cm 2,5 cm pour chaque côté (3).

Tableau 29 : Les caractéristiques concernant le groupe 3 de configuration

Les caractéristiques	
Moyen de manutention	un chariot élévateur a contrepoids
Nombre de niveaux	3 niveaux
La hauteur de niveaux	150 cm
Largeur de couloir	135cm
La façade de la palette	Par longueur

### 2.3.1 Rayonnage par accumulation disposé par largeur

C'est une solution de rayonnage dynamique LIFO. Il dispose d'un point de chargement et de déchargement unique, tel que le point de chargement est une allée de travail d'une longueur de 320 cm. La disposition couvre 123 15 cm par longueur et 840 cm par largeur. Il dispose de 7 couloirs identiques, qui ont une capacité de 162 palettes, la surface occupée pour les stocks peut atteindre les 794 m<sup>2</sup> équivalents de 77 % de l'espace de l'entrepôt et avec un pourcentage de 69 % en volume, par conséquent le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile est développé à 177 %.

Tableau 30 : la capacité de configuration, Rayonnage par accumulation disposé par largeur

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	162 palettes
Surface pour palette	794 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	59%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	53%
CUS	177%

Tableau 31 : Rayonnage par accumulation disposé par largeur

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par largeur	La longueur de rack	12315 cm
	La largeur de rack	645 cm
	Nombre de couloirs	9
	Nombre d'allées de travail	1
	Largeur d'allez	Au minimum 320 cm

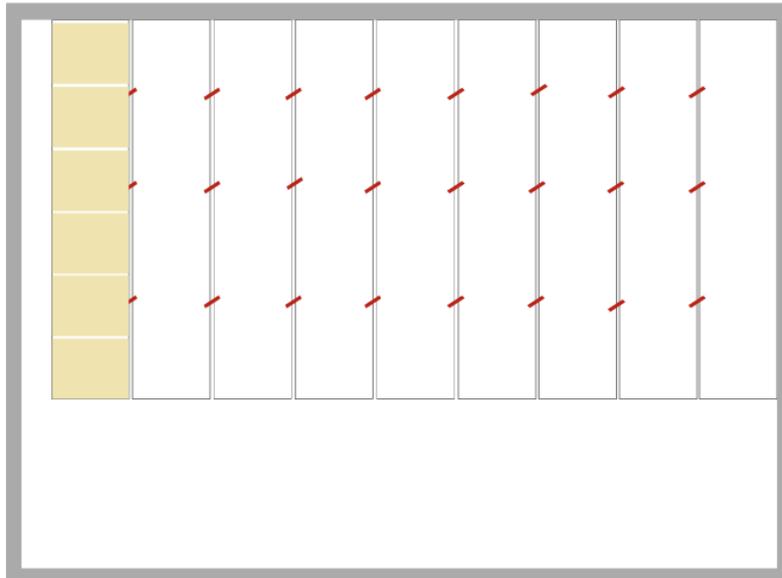


Figure 39 : Rayonnage par accumulation disposé par largeur

### 2.3.2 Rayonnage par accumulation disposé par longueur

C'est une solution de rayonnage dynamique LIFO. Il dispose d'un point de chargement et de déchargement unique. Le point de chargement dans cette configuration est une allée de travail d'une largeur de 320 cm devant le quai de chargement.

La disposition couvre 106 75 cm par longueur, 945 cm par largeur avec 6 couloirs, qui ont une capacité de 210 palettes, la surface occupée pour stocker les palettes est de 10 088 m<sup>2</sup>. L'optimisation par espace de configuration est 72 % de l'espace d'entrepôt et avec un pourcentage de 65 % en volume, le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile est 216 %.

Tableau 32: la capacité de configuration, rayonnage par accumulation disposé par longueur

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	<b>210 palettes</b>
Surface pour palette	<b>10088 m<sup>2</sup></b>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	<b>72%</b>
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	<b>65%</b>
CUS	<b>216%</b>

Tableau 33 : Rayonnage par accumulation disposé par longueur

Les caractéristiques de configuration		
Les racks positionnés par longueur	La longueur de rack	<b>106755 cm</b>
	La largeur de rack	<b>945 cm</b>
	Nombre de couloirs	<b>7</b>
	Nombre d'allées de travail	<b>1</b>
	Largeur d'allée	<b>Au minimum 320 cm</b>

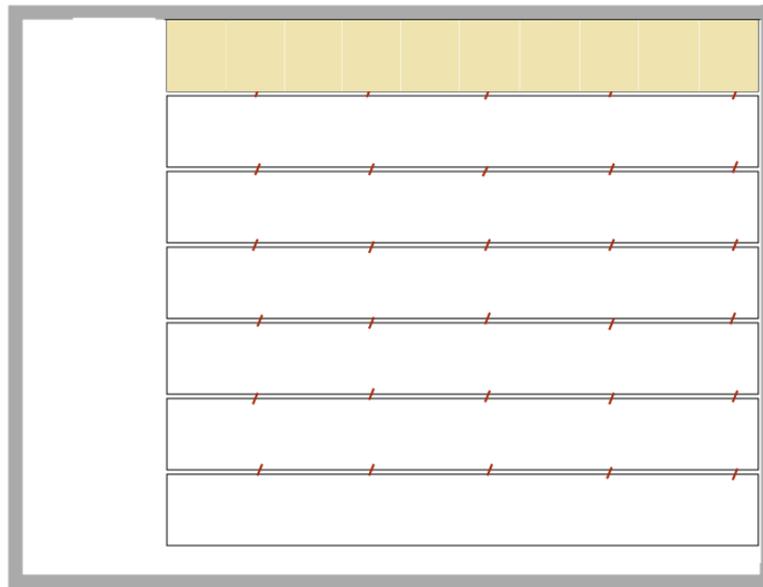


Figure 40: Rayonnage par accumulation disposé par longueur

#### 2.4 Groupe 4 : Rayonnage dynamique

Dans ce groupe, on va reformer des configurations par l'utilisation des rayonnages dynamiques avec une collection de moyens de manutentions ; un transstockeur, un chariot élévateur, un convoyeur, un chariot à mat inclinable et un rétractable bidirectionnels.

**Les rayonnages dynamiques :** Une méthode qui aide à stocker par grande quantité des produits de même référence, par la réduction des allées. Le transport des unités de charge est à l'intérieure des allées, ces allées composent d'un système de rouleaux sur un plan légèrement incliné, ce qui permet aux palettes de glisser jusqu'à l'extrémité opposée. « Une surface de stockage est un bien précieux. Le système de rayonnage dynamique de palettes permet une expédition optimale de l'espace de stockage à la suppression des allées entre les canaux, il permet d'épargner jusqu'à 50% d'espace en moins par rapport au système de stockage classique » (19)

**La hauteur de niveau :** Le niveau dans ce système conserve la même hauteur, qui peut atteindre les 150 cm, dans la mesure que la hauteur de niveau doit être appropriée avec la hauteur de charge plus le jeu de manœuvre (7).

**Largeur de l'allée ou de couloir :** Tout comme les rayonnages dynamiques, le jeu de manœuvre entre une palette et une lisse et entre une palette et une autre palette est 7,5 cm (7), donc la largeur de couloir peut atteindre les 135 cm.

Tableau 34 : Les caractéristiques concernent le groupe 4 de configuration

Les caractéristiques	
Moyen de manutention	Le chariot élévateur classique un transstockeur convoyeur
Nombre de niveaux	3 niveaux
La hauteur de niveaux	150 cm
Largeur de couloir	135cm
La façade de la palette	Par longueur

### 2.4.1 Rayonnage dynamique avec un chariot élévateur

C'est une solution de rayonnage dynamique LIFO, qui dispose d'un point de chargement et de déchargement unique à côté des quais de chargement de commande. Le point de chargement dans cette configuration est une allée de travail d'une largeur de 320 cm. Le choix de la largeur dépend toujours du moyen de manutention choisi. La disposition a 1 110 cm par longueur, un couloir peut atteindre les 135 cm si on prend en considération 7,5 cm comme un jeu de manoeuvre entre une charge est une lisse.

La configuration a une capacité de 231 palettes, la surface occupée pour stocker les unités de charges est 1 05 m. la surface de local occupée par les palettes est 78 % et le volume de local occupé par les palettes est 70 %, le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile peut atteindre les 234 %.

Tableau 35 : la capacité de configuration, rayonnages dynamiques avec un chariot élévateur.

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	231 palettes
Surface pour palette	105 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	78%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	70%
CUS	234%

Tableau 36 : Rayonnages dynamiques avec un chariot élévateur.

Les caractéristiques de configuration	
La longueur de rack	1110 cm
La largeur de rack	945 cm
Nombre de couloirs	7
Nombre d'allées de travail	1
Largeur d'allée	Au minimum 320 cm

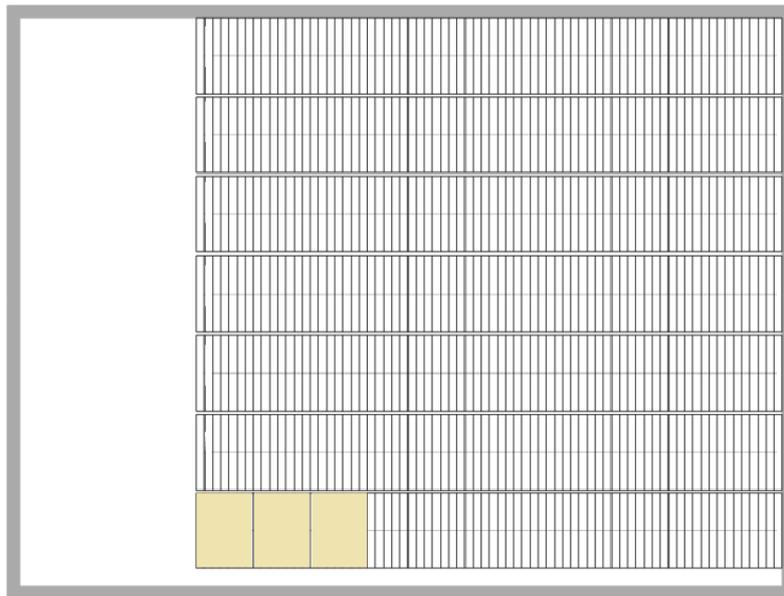


Figure 41 : Rayonnages dynamique avec un chariot élévateur

#### 2.4.2 Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu

C'est une solution de rayonnage dynamique LIFO, qui dispose d'un point de chargement et de déchargement unique, l'allée destinée pour le transstockeur a au moins une largeur de 150 cm. Pour vérifier la sécurité de manutention, cette configuration nécessite un chariot élévateur pour les chargements et les déchargements des unités dans les camions et pour les autres activités de manutention.

La disposition est divisée par deux zones de racks. Entre ces deux zones, un transstockeur, qui déplace les palettes dans l'allée et les dispose dans les espaces adaptés. Pour que la fourche du transstockeur passe pour rattraper la palette, il faut que ces rayonnages dynamiques disposent des entrées et des sorties avec des rouleaux de petite dimension, chaque zone de la disposition a 1 080 cm par longueur et au moins 400 cm par largeur. Elle permet une capacité de 192 palettes, dont la surface occupée pour leur stockage est de 864 m<sup>2</sup>, elle est optimisée par un pourcentage de 62 %, ainsi, le volume par un pourcentage de 46 %. Le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile est diminué à 186 %.

Tableau 37 : la capacité de configuration, rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	192 palettes
Surface pour palette	864 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	62%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	46%
CUS	186%

Tableau 38 : Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu.

Les caractéristiques de configuration	
La longueur de rack	1080 cm

La largeur de rack	800 cm
Nombre de couloirs	6 couloirs pour une disposition de racks
Nombre d'allées de travail	1
Largeur d'allée	Au minimum 320 cm

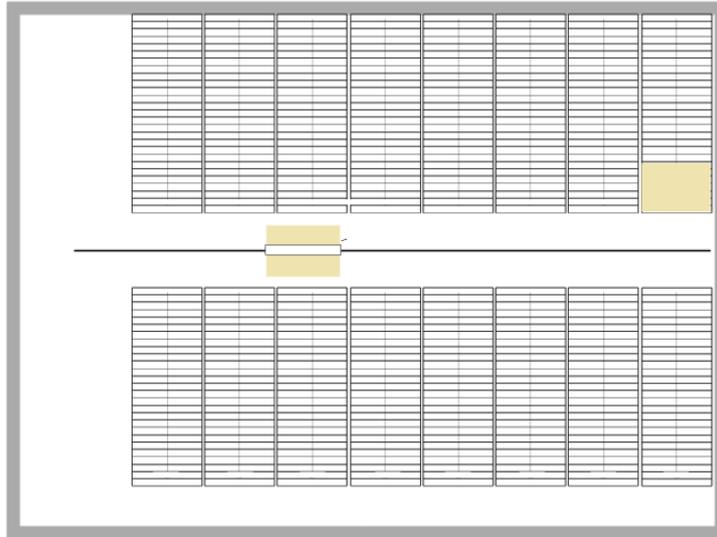


Figure 42: Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu

### 2.4.3 Rayonnage dynamique avec un convoyeur

C'est une solution de rayonnage dynamique FIFO, qui dispose d'un point de chargement à côté du transstockeur et un point de déchargement dans le côté inverse. Cette configuration demande un convoyeur pour déplacer les palettes au transstockeur et un chariot élévateur pour les autres activités de manutentions ; le chargement des unités de charges dans les camions, le déchargement et même le déplacement des palettes dans l'usine.

Cette configuration nécessite deux allées, une allée de travail d'une largeur de 320 cm pour les activités du chariot élévateur à côté du quai de chargement, et une autre allée pour le transstockeur avec une largeur de 150 cm.

La disposition a une largeur et une longueur qui dépasse les 800 cm. La largeur du couloir peut atteindre les 134 cm si on prend en considération 7,5 cm comme un jeu de manœuvre entre une charge et une lisse.

La configuration a une capacité de 144 palettes, avec une surface de 643 m<sup>2</sup> occupée pour stocker les produits finis. L'espace de local occupé par les palettes est 48 % de l'espace d'entrepôt et pour le volume de local occupé par les palettes est 43 % de volume d'entrepôt. Par la suite le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile diminué à 144 %.

Tableau 39 : la capacité de configuration, rayonnage dynamique avec un convoyeur

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	144 palettes
Surface pour palette	643 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	48%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	43%
CUS	144%

Tableau 40 : Rayonnage dynamique avec un convoyeur

Les caractéristiques de configuration	
La longueur de rack	804 cm
La largeur de rack	800 cm
Nombre de couloirs	6 couloirs pour une disposition de racks
Nombre d'allées de travail	1
Largeur d'allée	Au minimum 320 cm

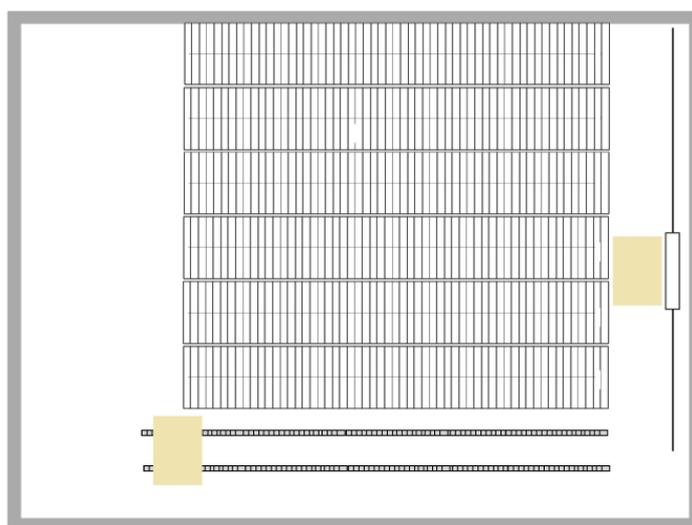


Figure 43 : Rayonnage dynamique avec un convoyeur

#### 2.4.4 Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable

C'est une solution de rayonnage dynamique FIFO, qui demande un chariot à mat inclinable et rétractable bidirectionnels pour déplacer les palettes dans les allées et les mettre dans leurs places, ainsi qu'un chariot élévateur pour les autres activités de manutention, le chargement dans les camions, le déchargement et le déplacement des palettes dans l'usine.

Cette configuration nécessite deux allées destinées pour la circulation de chariot à mat inclinable et rétractable tri directionnel, ces allées ont une largeur de 150 cm.

La disposition a une largeur de 700 cm et une longueur de 1 072 cm, dont la largeur de couloir peut atteindre 134 cm si on prend en considération 7,5 cm comme un jeu de manœuvre entre une charge est une lisse.

La configuration a une capacité de 168 palettes, dans une surface occupée pour stocker les palettes de 750 m<sup>2</sup>, le local est optimisé par un pourcentage de 53 %, par la suite le volume est optimisé par un pourcentage de 48 % et le rapport numérique entre la surface brute (CUS) du plancher utile diminue à 160 %.

Figure 44 : la capacité de configuration, rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable

Capacité physique	
Capacité d'entrepôt par palette	168 palettes
Surface pour palette	750 m <sup>2</sup>
Taux 1 (surface de local occupée par les palettes)	53%
Taux 2 (volume de local occupé par les palettes)	48%
CUS	160%

Figure 45 : Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable

Les caractéristiques de configuration	
La longueur de rack	1072 cm
La largeur de rack	700 cm
Nombre de couloirs	6 couloirs pour une disposition de racks
Nombre d'allées de travail	2
Largeur d'allée	Au minimum 320 cm

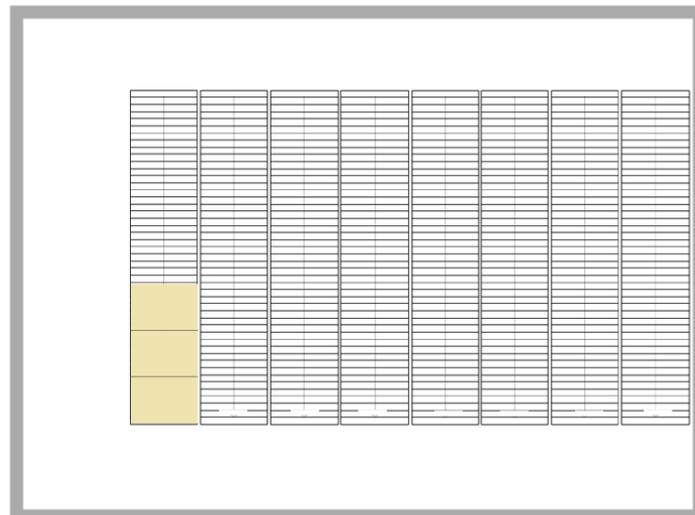


Figure 46 : Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable

### 3 Le choix de système de stockage

Dans le but de réunir les contraintes qui peuvent définir le meilleur projet, on a établi le tableau n° 41, ce tableau compare les configurations proposées par surface et volume optimisés, on a utilisé taux 1 pour exprimer la surface de local occupée par les palettes et taux 2 pour le volume de local occupé par les palettes et pour exprimer la surface gagnée par rapport à la surface d'entrepôt disponible on a utilisé le CUS, de plus, on a intéressé aussi par la rotation des flux et les moyens de manutentions adoptés.

**L'analyse de tableau :** Commencant par l'exploitation du volume et de la surface. On remarque que la surface exploitée par les installations des rayonnages statiques est moins optimisée que la surface exploitée par les installations des rayonnages dynamiques (Tableau 41). Alors l'espace gagné dans les configurations, qui utilisent des rayonnages dynamiques plus importants que l'espace gagné par les rayonnages statiques. Par la suite, les systèmes avec les racks dynamiques optimisent mieux l'entrepôt.

Mais, on remarque que la configuration qui utilise les rayonnages dynamiques avec un chariot élévateur dans le groupe 4 (cf. Tableau 41) est la plus avantageuse. Avec cette solution la capacité de stockage est augmentée de 48 unités de charges à 234 unités de charges ; 5 fois la capacité de stockage de système de stockage actuel, en plus le rapport numérique entre la surface brute du plancher utile et la surface constructible de terrain ; qui peut atteindre plus apportant pourcentage dans le tableau 41 avec un taux de 213 %.

Les rayonnages statiques permettent également d'optimiser l'entrepôt avec un faible investissement. D'ailleurs, l'arrangement des rayonnages par accumulation disposés par longueur a une capacité de stockage physique importante de 210 palettes, presque 5 fois la capacité de système actuel. Cette configuration peut aussi multiplier la surface exploitée par deux fois, d'ailleurs le rapport numérique entre la surface brute du plancher utile et la surface constructible est 231 %.

### Conclusion

La résolution de problématique était une étape très déterminante, la démarche proposée au début est achevée par la réussite, on est arrivé à décaler l'entrepôt de son problème de performance par notre caisse d'emballage d'une part et nos configurations d'entrepôt d'autre part. Les configurations permette de faire ressortir le fait qu'une amélioration telle que le volume est optimisé au maximum et la surface gagnée par rapport la surface d'entrepôt disponible peut atteindre deux fois la surface utilisée dans la plus par des cas.

Tableau 41 : comparaison entre les configurations d'entrepôt

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4			
	Rayonnage à double profondeur disposé par largeur	Rayonnage à double profondeur disposé par longueur	Rayonnage simple disposé par largeur	Rayonnage simple disposé par longueur	Rayonnage par accumulation disposé par largeur	Rayonnage par accumulation disposé par longueur	Rayonnage dynamique avec un chariot élévateur	Rayonnage dynamique avec un transstockeur	Rayonnage dynamique avec un convoyeur	Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable
Taux 1	43%	41%	42 %	34%	59%	72%	78%	62%	48%	43%
Taux 2	39%	37%	38 %	31%	53%	65%	78%	46%	43%	48%
CUS	129%	123 %	126 %	101%	177%	216%	234%	186 %	144%	160%
La capacité physique par palette	138 palettes	132 palettes	132 palettes	132 palettes	162 palettes	210 palettes	231 palettes	192 palettes	144 palettes	168 palettes
Rotation du stock	FIFO ou rotatif	FIFO ou relatif	FIFO ou relatif	FIFO ou relatif	LIFO	LIFO	LIFO	LIFO	FIFO	FIFO
Engin de manutention	Chariot à mat pantographe	Chariot à mat pantographe	Le chariot élévateur tri-directionnel Le chariot élévateur classique	un chariot élévateur classique	un chariot élévateur a contrepoids	un chariot élévateur a contrepoids	un chariot élévateur	Un transstockeur un chariot élévateur	Un transstockeur un chariot élévateur un convoyeur	un chariot à mat inclinable un chariot élévateur
Investissement	faible	faible	moyen	faible	faible	faible	élevée	élevée	Très élevée	élevée

Taux 1 : surface de local occupée par les palettes.

Taux 2 : volume de local occupé par les palettes.

CUS : la surface gagnée par rapport la surface d'entrepôt disponible.

## *Conclusion Générale*

## Conclusion Générale

Dans toutes les entreprises, la chaîne logistique est toujours considérée comme un élément qui nécessite des améliorations, non seulement en amont de la chaîne, mais également en aval, où le besoin d'optimisation s'avère parfois caractéristique. Il est donc essentiel pour l'entreprise d'acquiescer et de développer perpétuellement des techniques et des méthodes d'optimisation, pour faire face à l'accélération des concurrents et répondre aux exigences des clients.

Dans ce présent travail, on s'est focalisé sur l'optimisation de la chaîne logistique en aval de l'entreprise PANDROL Algérie, à travers son entrepôt, qui présente un goulet d'étranglement en alourdissant la circulation des flux. À partir des données analysées, on a trouvé que pour remédier définitivement à cette saturation des palettes dans la zone tampon, il est indispensable d'augmenter la capacité d'entrepôt au moins au double.

Au début de la solution, on s'est concentré sur l'unité de charge, parce qu'elle représente un élément décisif dans l'entrepôt. Elle permet de circonvier au mode de stockage, au mode de préparation de commande ainsi qu'au type de moyens de manutention. En remplacement de l'unité de charge utilisée dans l'entrepôt, une palette de 100\*120 chargée par des sacs lourds, on a proposé une unité de charge plus adéquate, avec une hauteur de 135 cm au lieu 180 cm, et chargée par des caisses appropriées au lieu les sacs.

Dans la deuxième partie de la solution, on s'est intéressé à l'installation des racks dans l'entrepôt. La solution est divisée en quatre groupes et chaque groupe exploite un type de rack, les variables qui diversifient les types de configurations dans un groupe sont le nombre et le type de moyens de manutention choisis, ainsi que la méthode de disposition des racks.

Les configurations nous permettent d'affirmer que les rayonnages dynamiques sont les plus adéquats pour optimiser l'entrepôt. Mais ce type demande des investissements très élevés. Par conséquent, les rayonnages par accumulations considérés comme rack statique permettent d'assurer une meilleure optimisation avec un CUS majoré.

Pour conclure, grâce à ce travail nous avons capitalisé de la connaissance et des compétences, durant un intervalle de temps limité. Ce travail nous a permis à utiliser la modélisation 3D et le dessin comme un outil de travail et d'explication. Au totale, maintenant, nous avons une idée claire sur la supply chain et la simulation avec ses simplicités et ses complexités.

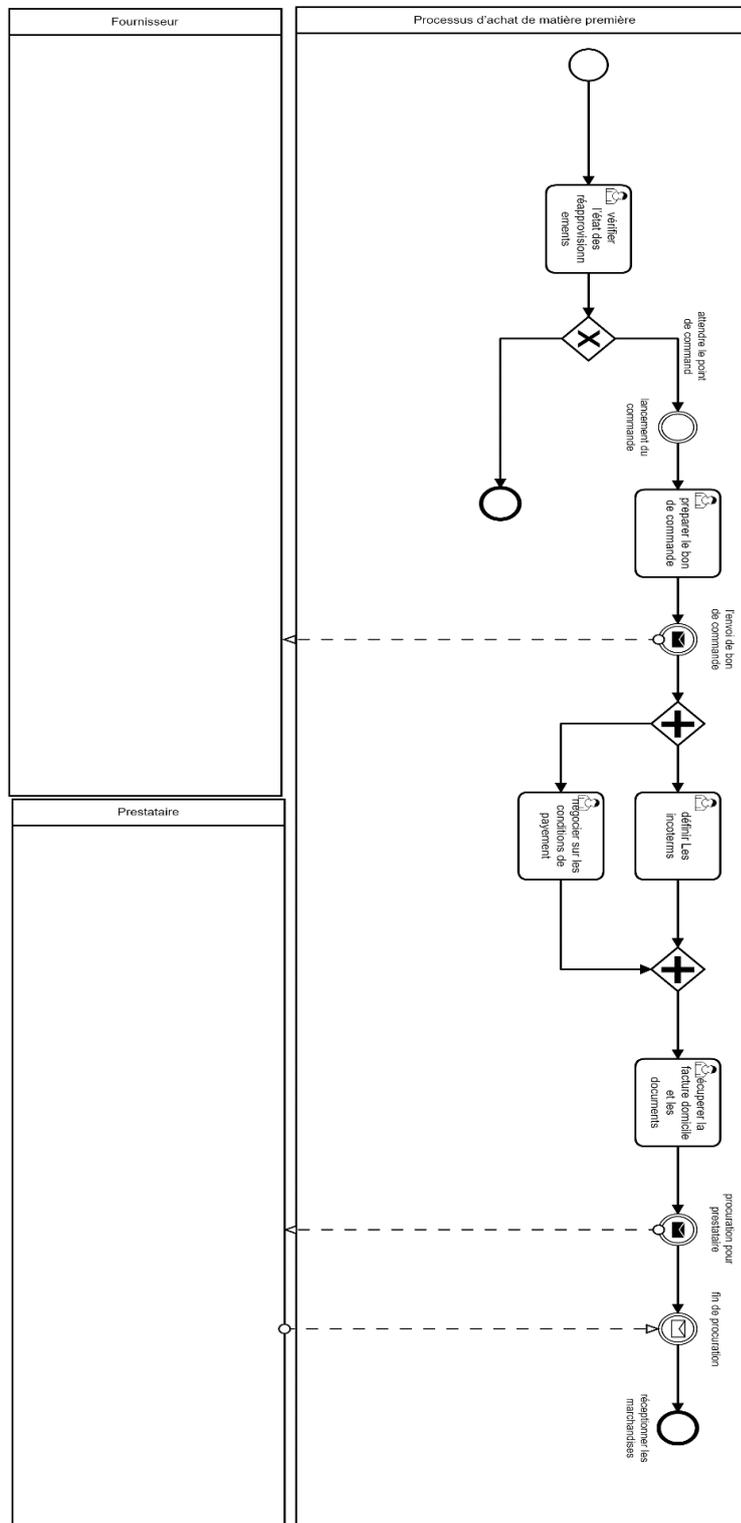
# Bibliographie

1. *Réalisation progressive des projets du tramway: voici les wilayas concernées.* **Sofiane.A.** 2018, Echoroukonline.
2. **Robert B. Handfield, Ernest L. Nichols.** *Introduction to Supply Chain Management.* 1999.
3. **MECALUX.** *Manuel des techniques de stockage.* Barcelona : Mecalux, SA, 2011. ISBN 978-84-617-1611-1.
4. **Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.** *la logistique tour d'horison.* s.l. : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer , 2016.
5. **Gianpaol, Ghiani, Gilbert, Laporte et Musmanno, Roberto.** *INTRODUCTION TO LOGISTICS SYSTEMS MANAGEMENT.* s.l. : WILEY. ISBN 978-1-119-94338-9.
6. **RAZIK, Mohamed et OKAR, Chafik.** *Les différentes solutions de stockage proposées par les rayonnages métalliques et les chariots élévateurs.* Casablanca : Université Hassan I .
7. **INSR.** *les rayonnage métallique.* 2017.
8. **AR Racking.** *Ar drive in rayonnage par accumulation.* 2016.
9. *International fibreboard case code.* s.l. : European Federation of corrugated board manufactures, 2007.
10. **Tchteam.** *Guide de la simulation de flux.* paris : s.n.
11. **ROUX, Michel.** *Optimisez votre plate-forme logistique.* Paris : Groupe Eyrolles, 2010. ISBN : 978-2-212-54728-3.
12. **L'ANALYSE DE LA VALEURE.**
13. **Eric, Rocher.** *Conditionnement et emballage.* Paris : Groupe Eyrolles, 2008. ISBN 978-2-212-53813-7.
14. **Wikipédia.** Wikipédia. *Wikipédia.* [En ligne] [Citation : 1 Mars 2020.]
15. **PANDROL.** PANDROL. [En ligne] [Citation : 1 Mars 2020.] <https://www.pandrol.com/about-us/our-story/>.
16. **ABBAS, Sonia et MEZIANI, Sarah.** *LA CHAINE LOGISTIQUE ET LA GESTION DES STOCKS.* Bejaïa : Faculté des Sciences Économiques, Commerciales, 2018.
17. **Mairiaux, et al.** *MANUTENTIONS MANUELLES .* liège : l'Université de Liège, 2008.
18. **Jeganathan, Gomathi sankar.** *Material Handling Management in Third Party Logistics Warehouse.* month. New Delhi : International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM), 2019.
19. **EUROROLL.** *Smart gravity engineering.* Germany : s.n.
20. **Pothen, Jean-Paul.** *Aide-mémoire Les matériaux d'emballage.* Paris : Dunod, 2008. ISBN 978-2-10-051602-5.

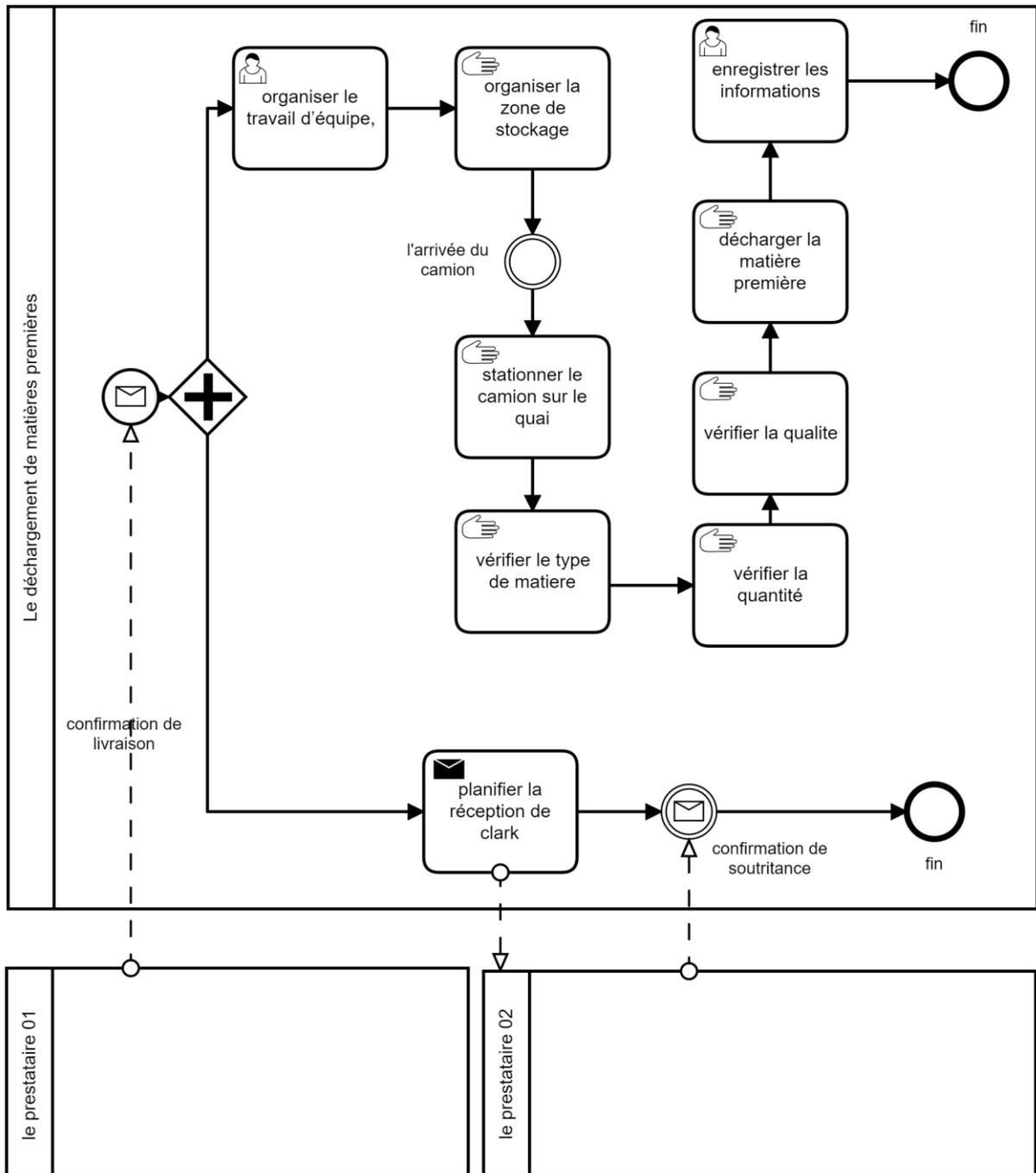
21. MOIGNE, Rémy LE. *SUPPLY CHAIN*. Malakoff : Dunod, 2017. ISBN 978-2-10-075997-2.

# Annexes

## Annexe 1 : Processus d'achat de matière première



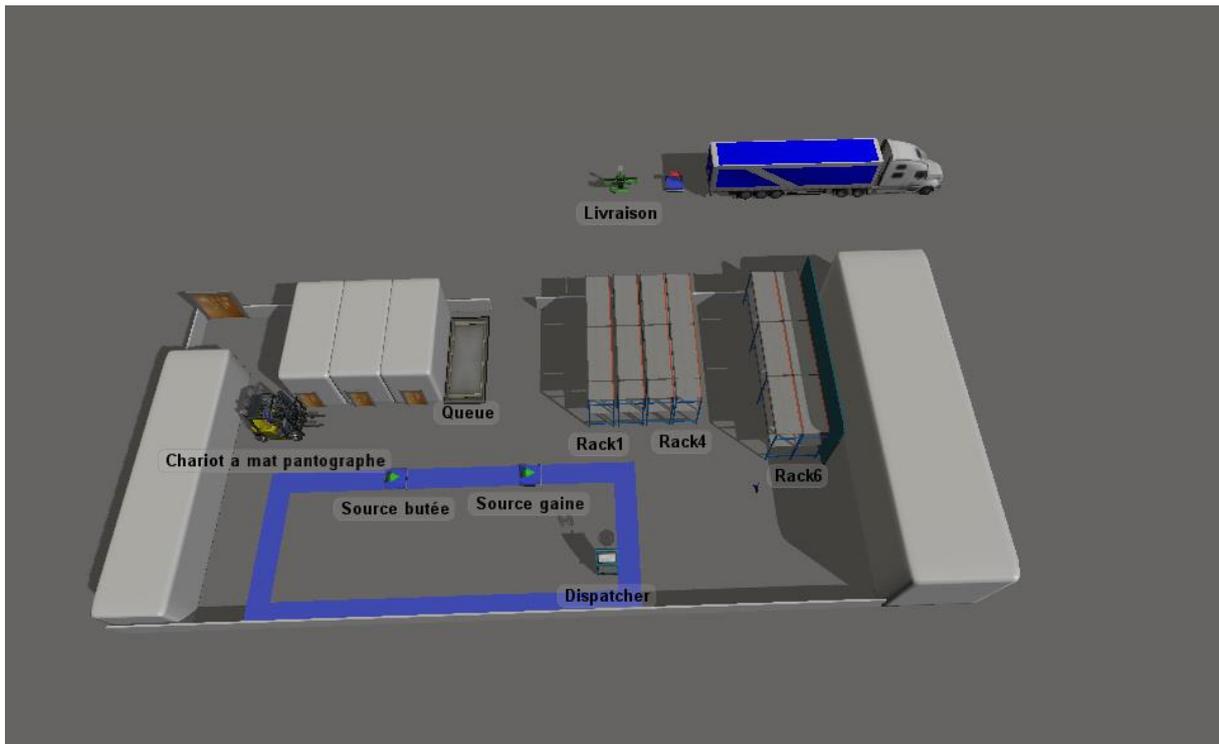
Annexe 2: Processus d'achat de déchargement de matières premières



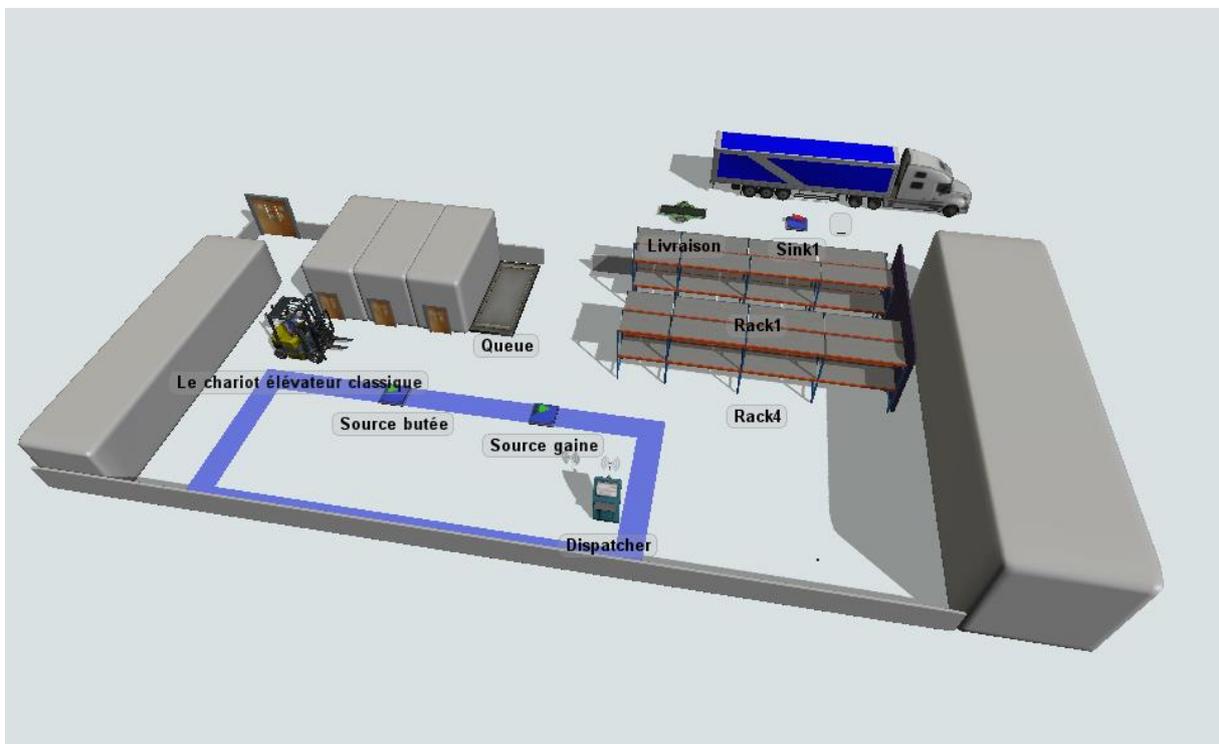
La configuration	Les éléments de modèles		
	L'élément	Type d'élément	remarque
Rayonnage à double profondeur positionné par largeur	Rack1	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Rack2	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Rack3	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Rack4	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Rack5	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Rack6	Rack	Avec une capacité de 33 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Pour diviser les tâches
	Chariot à mat pantographe	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	Livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
	Rayonnage à double profondeur positionné par longueur	Rack1	Rack
Rack2		Rack	Avec une capacité de 33 palettes
Rack3		Rack	Avec une capacité de 33 palettes
Rack4		Rack	Avec une capacité de 33 palettes
Dispatcher		Dispatcher	Pour diviser les tâches
Le chariot élévateur classique		Transporter	Avec une capacité 1 palette
livraison		processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage simples positionné par longueur	Rack1	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack2	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack3	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack4	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack5	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Pour diviser les tâches
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage simples positionné par largeur	Rack1	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack2	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack3	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack4	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack5	Rack	Avec une capacité de 21 palettes
	Rack6	Rack	Avec une capacité de 27 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	
	Le chariot élévateur tri-directionnel	Transporter	AGV
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage par accumulation disposé par largeur	Rack	GravityFlowRack	Avec une capacité de 162 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Avec une capacité 1 palette
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Pour diviser les tâches
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage par accumulation disposé par longueur	Rack	GravityFlowRack	Avec une capacité de 210 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Avec une capacité 1 palette
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Pour diviser les tâches
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnages dynamiques avec un chariot élévateurs	Rack	<u>DriveInRack</u>	Avec une capacité de 231 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Pour diviser les tâches
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour

Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu	Rack1	GravityFlowRack	Avec une capacité de 96 palettes
	Rack2	GravityFlowRack	Avec une capacité de 96 palettes
	Dispatcher1	Dispatcher	Pour diviser les taches
	Dispatcher2	Dispatcher	Pour diviser les taches
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	Transstockeur	ASRSvehicle	Avec une capacité 1 palette
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage dynamique avec un convoyeur	Rack	GravityFlowRack	Avec une capacité de 144 palettes
	Dispatcher	Dispatcher	Pour diviser les taches
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	Transstockeur	ASRSvehicle	Avec une capacité 1 palette
	Convoyeur	Convoyeur	Le type Custom
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour
Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable	Rack	GravityFlowRack	Avec une capacité de 168 palettes
	Dispatcher1	Dispatcher	Pour diviser les taches
	Dispatcher2	Dispatcher	Pour diviser les taches
	chariot à mat inclinable	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	Le chariot élévateur classique	Transporter	Avec une capacité 1 palette
	livraison	processor	Il livre 48 unités de charge chaque 25 jour

Annexe 4 : Rayonnage à double profondeur positionné par largeur



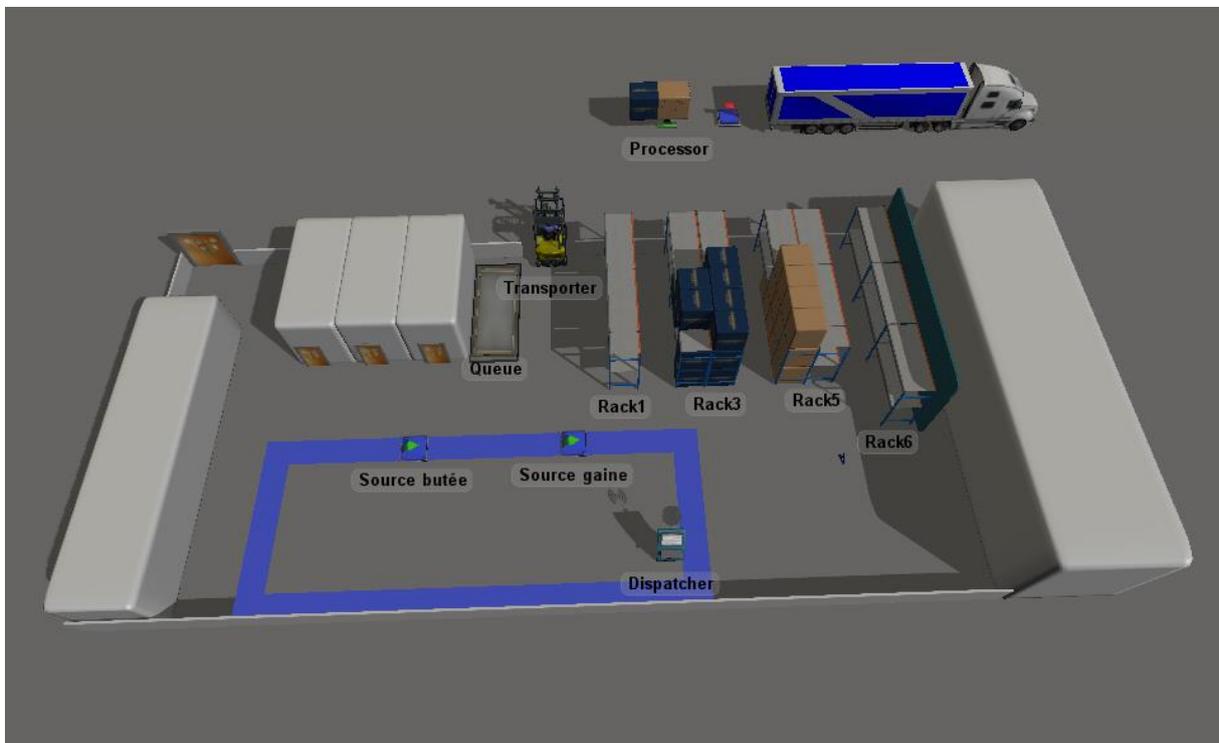
Annexe 5 : Rayonnage à double profondeur positionné par longueur



Annexe 6 : Rayonnage simples positionné par longueur



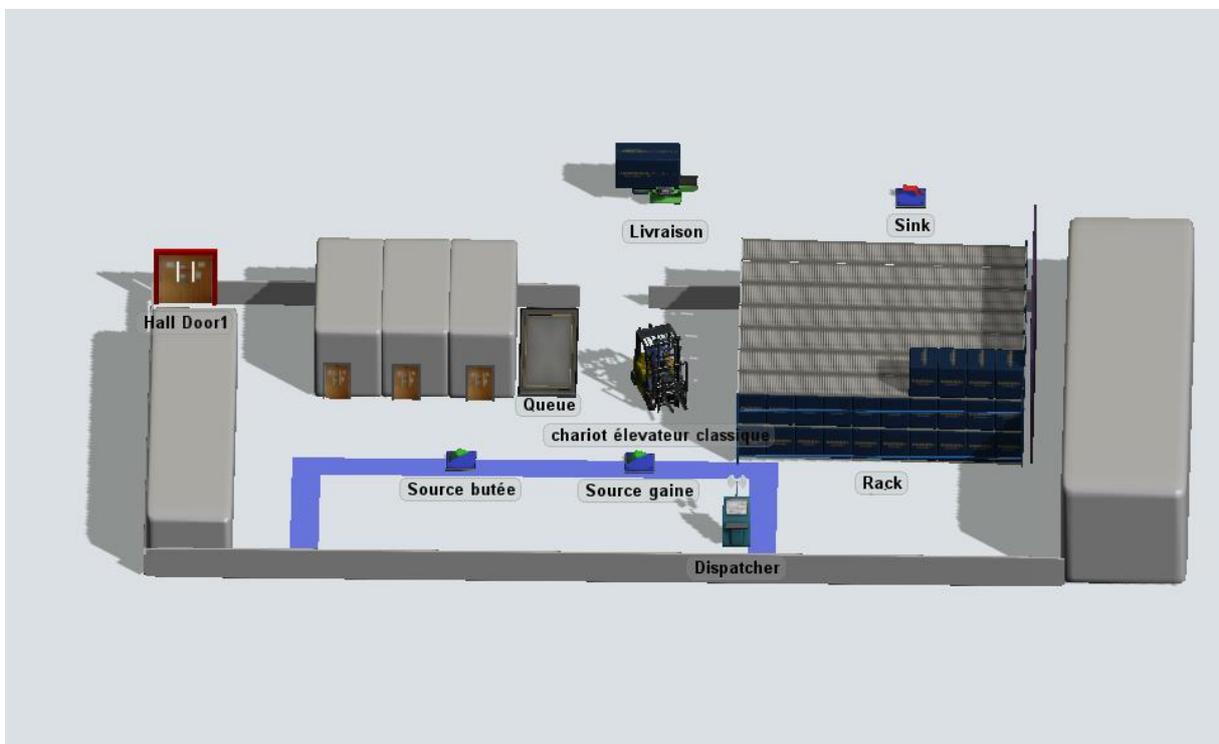
Annexe 7 : Rayonnage simples positionné par largeur



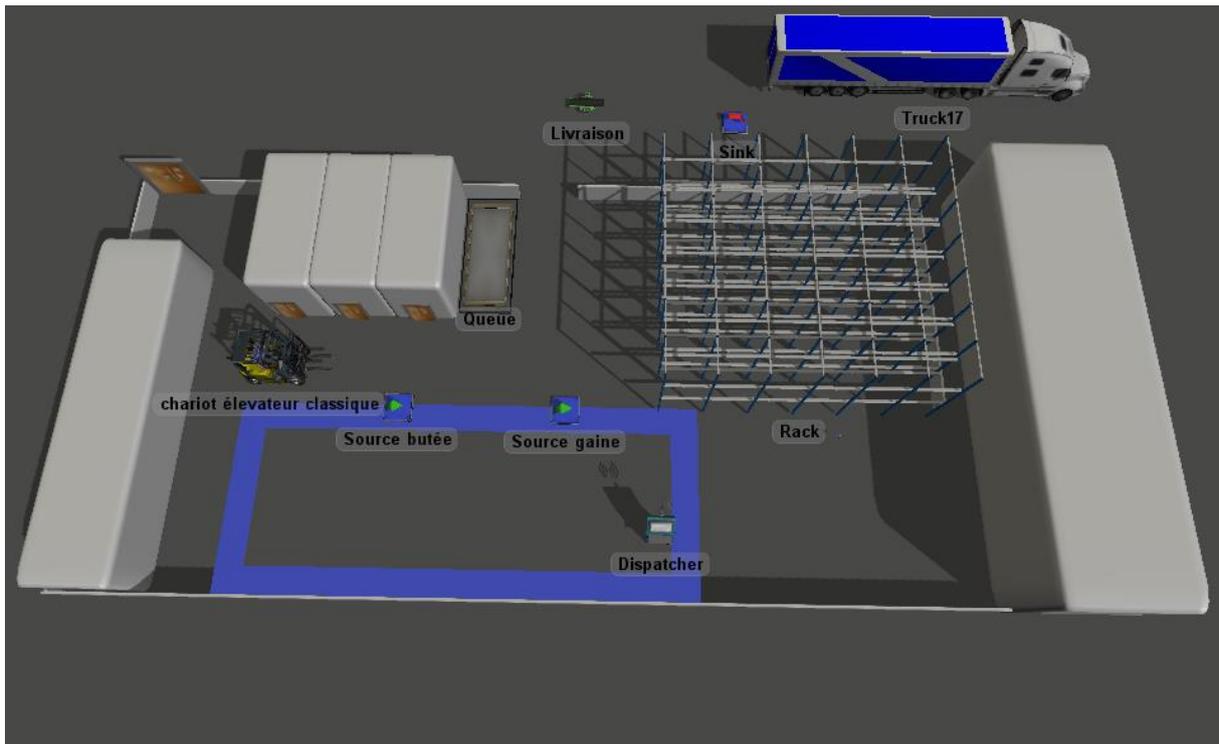
Annexe 8 : Rayonnage par accumulation disposé par largeur



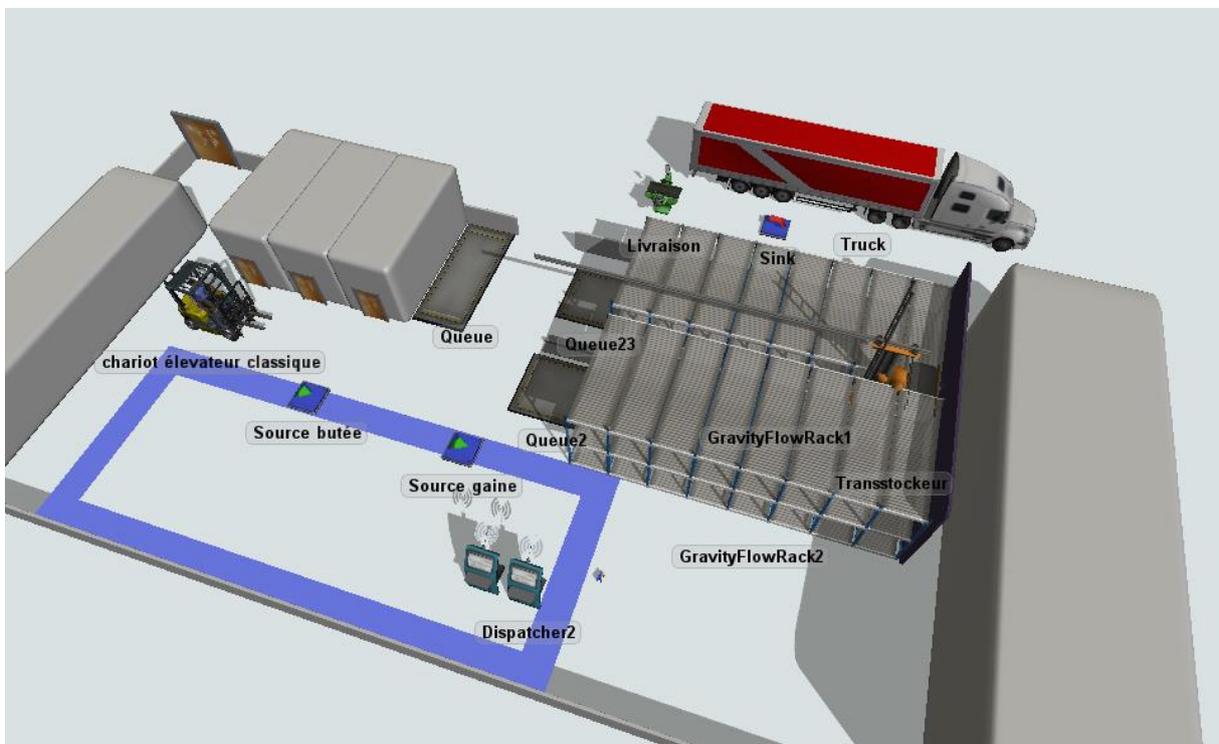
Annexe 9 : Rayonnage par accumulation disposé par longueur



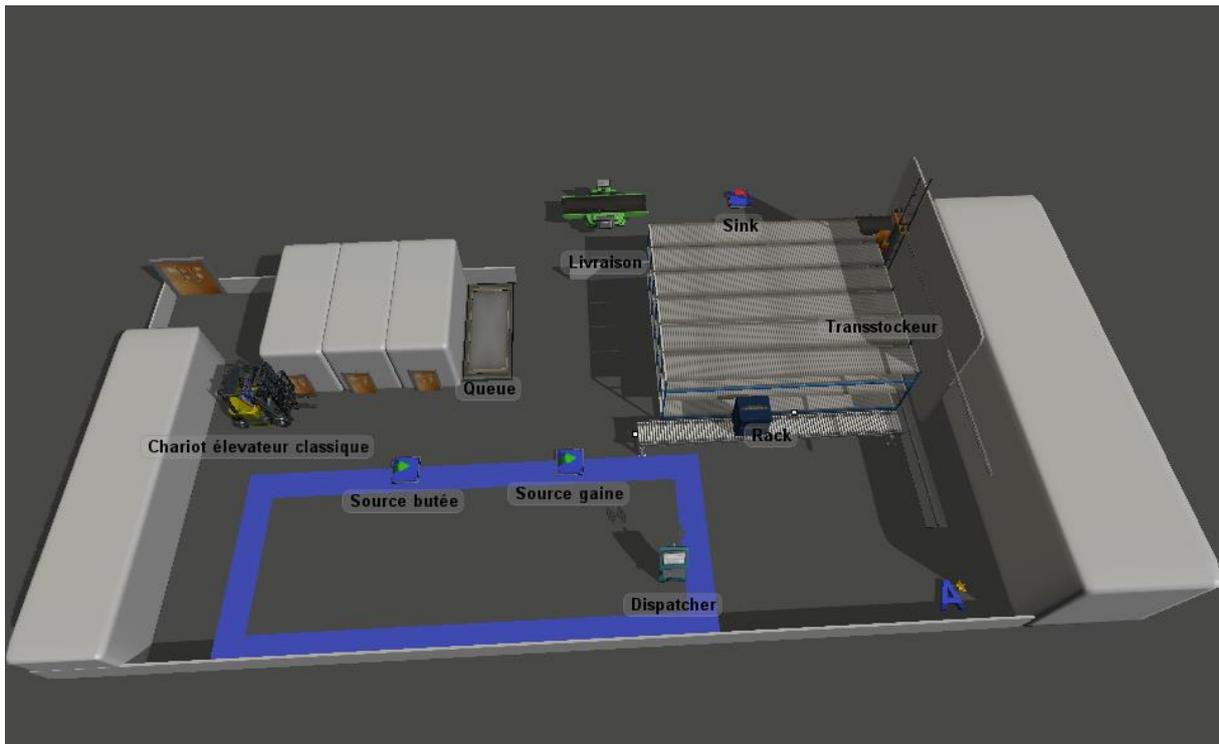
Annexe 10 : Rayonnages dynamiques avec un chariot élévateurs



Annexe 11 : Rayonnage dynamique avec un transstockeur au milieu



Annexe 12 : Rayonnage dynamique avec un convoyeur



Annexe 13 : Rayonnage dynamique avec un chariot à mat inclinable

