

Cours d'entreposage
Gestion du stock

Filière: SCM1

École Nationale des sciences appliquées de
Tétouan

Abdellah El Fallahi
La dernière modification date de:1^{er} mars 2024

Table des matières

1	Introduction générale	5
2	Localisation des entrepôts	9
2.1	Introduction	9
2.2	Modélisation des problèmes de localisation	10
2.2.1	Paramètres et variables de décision du modèle	10
2.3	Localisation continue	11
2.3.1	la méthode du barycentre	11
2.4	Localisation discrète	12
2.4.1	Principe de la méthode	12
2.4.2	Démarche de la méthode	12
2.4.3	La méthode de centration	14
2.5	Réseaux à entrepôts multiples	14
2.5.1	couverture totale	15
2.5.2	Modélisation du problème de couverture totale	15
2.5.3	Techniques de réduction : client qui domine un autre client	16
2.5.4	Techniques de réduction : Ouverture évidente	16
2.6	Couverture Maximale	18
2.6.1	Résolution des problèmes de couverture	19
2.6.2	Résolutions heuristiques des problèmes de couvertures	20
2.6.3	Heuristique gloutonne de Chvátal (couverture totale) .	20
3	dimensionnement des entrepôts	25
3.1	Les critères à prendre en compte	25
3.2	Une bonne implantation	25
3.3	Le dimensionnement statique et le dimensionnement dynamique	26
3.4	Surfaces d'un entrepôt	26
3.5	Palettier	29
3.5.1	Recherche du nombre de travées	36
3.6	calcul des surfaces de circulation	37
3.7	Calcul des surfaces dédiées	37
3.7.1	calcul de la surface de stockage	37

3.7.2	Calcul de la surface des allées de circulation	38
3.7.3	calcul des allées de gerbage	39
3.7.4	Calcul de l'allé de gerbage avec un chariot à quatre roux	39
3.7.5	Surface technique	42
3.7.6	Calcul de la surface Totale	42
3.7.7	Calcul de la surface d'agrandissement	42
3.7.8	Résolution application 2	43
3.8	Gestion des quais d'entrepôt	44
3.8.1	Gestion des quais en entrepôts : comment trouver le bon timing?	44
3.8.2	L'occupation des quais au cœur des opérations	44
3.8.3	Détermination du nombre de quais	45
3.9	Aménagement des entrepôts	47
3.9.1	Tirez profit de votre hauteur sous plafond	47
3.10	Méthodes de planification des aménagements fonctionnels des entrepôts	49
3.10.1	Méthodes quantitatives	49
3.10.2	Méthodes qualitative	49
3.11	Phase de réception	51
3.11.1	Les plans de contrôle	56
3.11.2	Les paramètres d'un contrôle simple	57

Chapitre 1

Introduction générale

Le terme entreposage est utilisé depuis bien plus longtemps que celui de la logistique, même si ces deux activités sont étroitement liées. En effet, l'entreposage est un maillon principal de la chaîne logistique, et on ne peut pas imaginer une gestion convenable de la fonction logistique sans une utilisation optimale des entrepôts. Les entrepôts se trouvent en amont et en aval de la production, et généralement ne génèrent pas de valeur ajoutée pour les produits finis. C'est pour cette raison, que les entreprises sont de plus en plus conscientes de la contribution d'une bonne gestion de l'entrepôt dans l'optimisation des coûts logistiques et par la suite l'augmentation de leur marge bénéficiaire.

Dans le contexte actuel de mondialisation, où la production et la consommation ne se font pas dans les mêmes lieux, la fonction d'entrepôt prend de l'ampleur jour après jour. Les entrepôts représentent un lieux de rencontre et de gestion de différents type de flux. On amont l'entrepôt constitue un lieux d'échange entre les fournisseurs et les producteurs, et on aval il régule les flux des produits entre la production et la distribution.

Dans un monde des affaires très concurrentiel où la rentabilité est le grand souci des chaînes logistique, et pour se concentrer sur le cœur de métier peu d'entreprise optent pour l'internalisation de l'entrepôt. De nos jour, la majorité des entreprises de production préfèrent externalisée l'entreposage pour des raisons telles que le manque de personnel qualifié pour la gestion de celui-ci, le manque de moyen ou d'espace de stockage...

Objectifs pédagogique de ce cours : les objectifs pédagogique de ce cours sont :

1. Connaitre le rôle d'entreposage et son impact sur la chaîne logistique
2. Modéliser et résoudre les problèmes de localisation des entrepôts
3. Résoudre les problèmes de dimensionnement des entrepôts

4. Déterminer les processus d'entreposage (modélisation et simulation)
5. Optimiser les ressources d'un entrepôt
6. Gestion des stocks dans un entrepôt
7. Être capable de suivre et piloter des opérations d'entreposage : mise en place des indicateurs et des tableaux de bord
8. Proposer de solutions pour booster la performance d'un entrepôt

Le rôle d'un entrepôt dans la chaîne logistique : A l'heure où de nombreuses entreprises désirent optimiser leurs chaînes logistiques, toutes n'ont pas nécessairement conscience de l'importance des entrepôts. Pourtant, l'optimisation d'une chaîne logistique est conditionnée par l'optimisation de ses différents maillons. Et par la suite une maîtrise de la chaîne logistique nécessite une parfaite maîtrise des réseaux de distribution dont l'entrepôt est un élément crucial.

En plus, dans une économie désormais globalisée où les éléments de la chaîne logistique d'un produit et ses activités parfois « éclatées » et réparties sur des sites géographiques différents, toutes les chaînes de productions ont bien compris que l'optimisation de leur chaîne logistique était un enjeu majeur pour assurer leur pérennité.

En effet, sans doute les entrepôts sont le centre névralgique d'un système de distribution, ils jouent un rôle clé pour réguler et accélérer les flux selon les stratégies logistiques mises en place. Si le rôle principal d'un entrepôt est le rangement et le stockage des produits, impossible de se suffire à cette unique fonction, tant l'entrepôt va également agir comme un régulateur de la demande et la production. En effet, son objectif réel est de fournir au client un produit précis dans la quantité désirée et dans un délai défini à l'avance.

La satisfaction client va donc être au cœur de toutes les décisions stratégiques prises concernant un entrepôt. Mais l'optimisation de la chaîne logistique concourt à ce qu'un entrepôt traite les commandes en assurant fiabilité (réduction du nombre d'erreurs), efficacité (optimisation des délais de livraison) et rentabilité (optimisation des coûts logistiques).

En raison du rôle central qu'ils jouent, les entrepôts vont donc devoir devenir des lieux où l'excellence est recherchée. Celle-ci passera d'abord par une parfaite catégorisation des articles et par une connaissance sans faille des produits à stocker. Cette dernière sera essentielle pour organiser l'entrepôt et gérer les emplacements.

Des règles et procédures claires quant au fonctionnement des différents pôles de services (réception des marchandises, préparation des commandes,

expédition des colis, etc . . .) devront être mis en place alors que des objectifs devront être assignés à chaque opérateur.

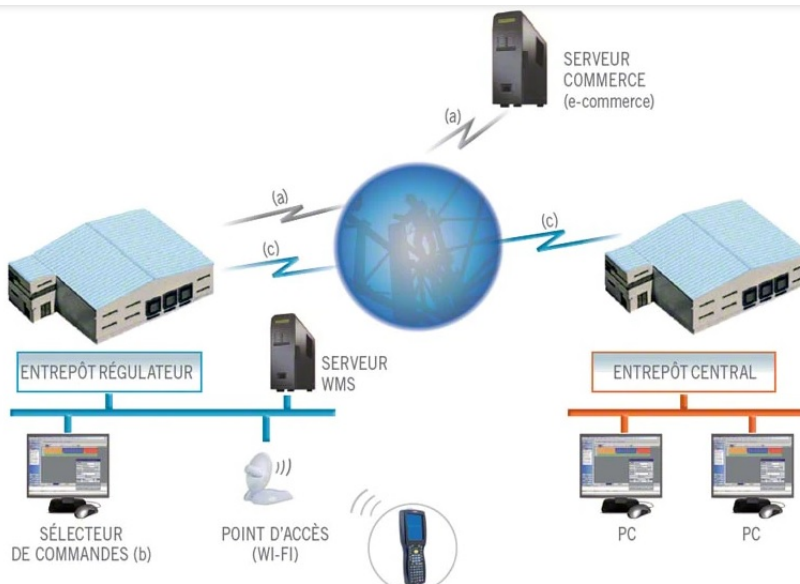


FIGURE 1.1 – Le rôle d'un entrepôt dans la chaîne logistique

Chapitre 2

Localisation des entrepôts

2.1 Introduction

La détermination de l'emplacement d'un entrepôt est un des aspects primordiaux à prendre en compte pour assurer l'efficacité de la chaîne logistique d'un produit donné. En effet, l'emplacement d'un entrepôt est un facteur qui impacte non seulement la construction elle-même, mais surtout sur l'aspect stratégique et qui peut être décisif pour la réussite ou l'échec de la chaîne logistique. Une bonne localisation d'un entrepôt permettra la bonne exécution de la fonction logistique d'un entrepôt qui peut être résumée comme suit :

- Réception de tous les produits compris dans l'activité industrielle de l'entreprise propriétaire de l'entrepôt.
- Exécution d'un contrôle de qualité immédiat.
- Contrôle et inventaire des produits stockés.
- Stockage approprié des marchandises.
- Préparation des commandes destinées aux entrepôts régionaux et/ou aux clients.
- Expédition rapide des commandes.

La localisation d'un entrepôt est une décision stratégique en chaîne logistique, et par la suite la détermination de l'emplacement d'un entrepôt doit être faite avec beaucoup d'attention. En fait, une bonne localisation de l'entrepôt garantira son bon fonctionnement. Le problème de localisation d'entrepôt consiste à :

- Trouver le nombre d'entrepôts nécessaire pour répondre aux besoins clients
- Déterminer l'emplacement adéquat de chaque entrepôt
- Déterminer la capacité de chaque entrepôt

Pour une bonne localisation des entrepôts il va falloir prendre en considération les paramètres suivants :

1. Le nombre de centre de distribution
2. Le mode d'alimentation des entrepôts

3. Les coûts unitaire de transport pour servir les clients
4. Les itinéraires d'acheminement
5. La quantité de la marchandises à entreposer
6. Le nombre de voyage par unité de temps

L'objectif de la localisation est la bonne détermination des lieux d'installation des entrepôts qui permettra l'optimisation de plusieurs critères. Parmi les critère les plus on trouvera :

- minimisation des coûts d'installation,
- minimisation des coûts de transport de la marchandises entre les fournisseurs et l'entrepôt,
- minimisation des coûts de transport entre l'entrepôt et les clients finaux.

2.2 Modélisation des problèmes de localisation

La modélisation du problème de localisation consiste à donner un modèle mathématique, généralement linéaire, qui prendra en considération les objectifs ainsi que les contraintes liées au problème à modéliser. en ce qui suit on donnera le modèle mathématiques classique utilisé en localisation des entrepôts.

2.2.1 Paramètres et variables de décision du modèle

les variables et paramètres du modèle peuvent être présentées comme suit :

- I - ensemble des fournisseurs, avec l'indice i
- J - ensemble des entrepôts potentiels, avec l'indice j
- K - ensemble des clients, avec l'indice k
- p_i - offre du fournisseur i
- d_k - demande du client k
- cs_{ij} - coût de transport d'une unité du produit du fournisseur i à l'entrepôt j
- cc_{jk} - coût de transport d'une unité du produit de l'entrepôt j au client k
- F_j - coût fixe pour créer l'entrepôt j
- x_{ij} - variable représentant le flux du fournisseur i à l'entrepôt j
- y_{jk} - variable représentant le flux de l'entrepôt j au client k
- z_j - variable binaire indiquant la création ou non de l'entrepôt j , $z_j = 1$ si l'entrepôt j est créé et $z_j = 0$ sinon
- s_j - capacité de l'entrepôt j

la formulation mathématiques est la suivante :

$$obj = \min \sum_{j \in J} F_j Z_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{s_{ij}} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk} y_{jk} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} y_{jk} \quad \forall j \in J \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq p_i \quad \forall i \in I \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in J} = d_k \quad \forall k \in K \quad (2.4)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq S_j \quad j \in J \quad (2.5)$$

$$x_{ij} \leq p_i Z_j \quad \forall i \in I \& \forall j \in J \quad (2.6)$$

$$y_{jk} \leq d_k Z_j \quad \forall j \in J \& \forall k \in K \quad (2.7)$$

$$x_{ij} \geq 0, y_{jk} \geq 0, Z_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \& k \in K \quad (2.8)$$

Pour résoudre ce problème on peut utiliser toutes les méthodes d'optimisation.

2.3 Localisation continue

dans le cas de la localisation continue les emplacements des entrepôts peuvent être localiser à n'importe quel point de l'espace. Dans la cas de la localisation discrètes les emplacements potentiels sont connus à l'avance sur un réseaux par exemple. pour résoudre un problème de localisation continue la méthode la plus connu est celle du barycentre. Cette méthode cherche à localiser un entrepôt en se basant sur les coordonnées de clients à servir ainsi que les demandes des clients. Cette méthode donne l'emplacement pour un seul entrepôt mais il peut être utiliser pour localiser plusieurs entrepôts.

2.3.1 la méthode du barycentre

La méthode à pour objectif la détermination du centre de gravité d'un ensemble de clients : Étant données les coordonnées de chaque client i (x_i, y_i) et le poids de chaque client Q_i l'emplacement de l'entrepôt ou bien le barycentre des clients est :

$$X_G = \frac{\sum_i Q_i \times X_i}{\sum_i Q_i} \quad Y_G = \frac{\sum_i Q_i \times Y_i}{\sum_i Q_i}$$

Exemple d'application une entreprise de distribution cherche à localiser l'emplacement optimal pour servir huit clients dont les données sont données par le tableau suivant :

TABLE 2.1 – DataExercice

clients	C1	C2	c3	C4	C5	C6
cordonnées	(3,5)	(2,5)	(1,5)	(2,2)	(2,6)	(2,7)
demandes	15	13	12	7	16	33

Résolution : Par application directe des formules précédentes on trouve :

$$X_G = \frac{15 * 3 + 13 * 2 + 12 * 1 + 7 * 2 + 16 * 2 + 33 * 2}{15 + 13 + 12 + 7 + 16 + 33} = \frac{195}{80} = 2.437$$

$$Y_G = \frac{15 * 5 + 13 * 5 + 12 * 5 + 7 * 2 + 16 * 6 + 33 * 7}{15 + 13 + 12 + 7 + 16 + 33} = \frac{541}{80} = 6.76$$

2.4 Localisation discrète

Dans le cas de la localisation discrète on suppose qu'on connu à l'avance les emplacements potentiels des entrepôts. Pour résoudre le problème de localisation discrète on peut utiliser la méthodes nommée Scores charge-distance (load-distance scores) pour avoir une solution de départ.

2.4.1 Principe de la méthode

Les données nécessaires pour l'application de la méthode sont :

- m sites possibles pour une nouvelle installation,
- n entités (clients, fournisseurs, etc.) à desservir,
- mesure simple de « charge » L_j pour chaque entité j à définir :
 1. tonnage entrant ou sortant,
 2. nombre de déplacements/semaine,
 3. patients venant consulter, etc.
- distances d_{ij} entre tout site i et toute entité j .

Objectif : choisir un site i^* minimisant un score estimant le travail de déplacement des charges.

2.4.2 Démarche de la méthode

- calculer pour tout site i le score charge-distance

$$ld(i) = \sum_{j=1,n} L_j \times d_{ij}$$

- choisir le i^*

$$ld(i^*) = \min\{ld(i), i \in 1, \dots, m\}$$

Exemple : Localisation d'un dispensaire dans une ville.

- entités : quartiers.
- charges : nombre d'habitants (patients potentiels).
- distances : du centre des secteurs aux sites possibles.

Exercice une ville souhaite installer un nouveau dispensaire pour desservir 7 quartiers dont les informations sont présentées par le tableau 2.3. Les coordonnées (x,y) représentent les coordonnées cartésiennes de chaque quartier et la colonne *population* donne le nombre d'habitants par quartiers.

Pour installer ce dispensaire la ville dispose de deux lots de terrain au centre du quartiers F et C. Le travail demandé est :

- déterminer le meilleur site en utilisant la méthode score-charge-distance.
- Comparer le résultat avec la solution donnée par la méthode du barycentre.

TABLE 2.2 – données du problème de localisation

quartier	Cordonnées (x,y)	Population
A	(2.5 ;4.5)	2
B	(2.5 ;2.5)	5
C	(5.5 ;4.5)	10
D	(5 ;2)	7
E	(8 ;5)	10
F	(7 ;2)	20
G	(9 ;2.5)	14

Résolution Comme on peut constater le site F a un score plus bas que

TABLE 2.3 – résolution du problème de localisation

quartier	Cordonnées	Population	site en C=(5.5 ;4.5)		site en F=(7 ;2)		Ljxj	Lj Yj
			distance dij	score Ljdij	distance dij	Score Ljdij		
j	$(x_j ;y_j)$	Lj						
A	(2.5 ;4.5)	2	3	6	7	14	5	9
B	(2.5 ;2.5)	5	5	25	5	25	12.5	12.5
C	(5.5 ;4.5)	10	0	0	4	40	55	45
D	(5 ;2)	7	3	21	2	14	35	14
E	(8 ;5)	10	3	30	4	40	80	50
F	(7 ;2)	20	4	80	0	0	140	40
G	(9 ;2.5)	14	5.5	77	2.5	35	126	35
total		68		239		168	453.5	205.5

celui de C et par la suite on installera le dispensaire au quartier F.

2.4.3 La méthode de centration

La méthode de centration comme celle du score-charge-distance permet de choisir parmi plusieurs emplacement potentiel celui qui minimise la distance totale parcouru entre les clients et le centre de distribution. Pour bien comprendre le fonctionnement de cette méthode on résoudra le problème suivant. Supposant qu'on cherche à servir 4 clients qui constituent les sommets d'un réseau de distribution, on cherche à localiser l'entrepôt dans un des quatre points de livraison. La figure 2.1 présente le réseaux considéré.

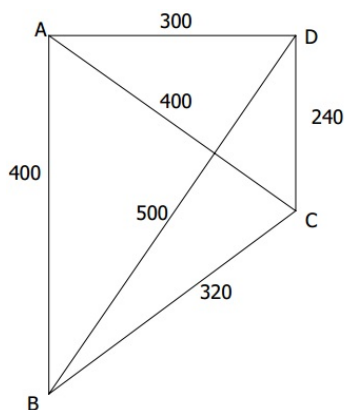


FIGURE 2.1 – Méthode de centration

Les valeurs sur les arcs indiquent les distances entre les quartiers deux à deux. On calcule la somme des distances entre un quartiers et les autres quartiers on trouve les valeurs suivantes :

- $A = 400 + 400 + 300 = 1100$ km
- $B = 400 + 500 + 320 = 1220$ km
- $C = 400 + 240 + 320 = 960$ km
- $D = 240 + 300 + 500 = 1040$ km

selon la méthode de centration on va choisir le quartier ayant la distance total la plus petite, dans notre cas on va sélectionner le quartier C pour installer l'entrepôt.

2.5 Réseaux à entrepôts multiples

Le problème de localisation de plusieurs entrepôts est plus compliqué que celui d'un seul entrepôt. La complexité de ce problème réside dans le nombre de cas possible à traité et aussi les différentes contraintes liées à chaque entrepôt. A titre d'exemple si on considère l'exemple suivant : Exemple pour

localiser 10 entrepôts sur 20 sites possibles on aura 200 000 solutions à traiter. Vu le coût des installations et le budget disponible pour l'ouverture des entrepôts on peut prendre la décision de ne pas couvrir un certains clients si cela est faisable et n'aura pas de conséquences sur la qualité de service.

En fait, étant donnée la stratégie à suivre on peut distingué entre deux stratégies celle de la couverture total et maximale. Dans le cas de la couverture total on est obligé de couvrir tout le monde, par contre dans le cas de la couverture maximale on cherchera les meilleurs implantations d'un nombre fini d'entrepôts pour couvrir une demande maximale.

2.5.1 couverture totale

Pour la couverture totale il faut couvrir tous les clients. Généralement, la couverture est contrainte de la distance entre un centre et le client qu'on cherche à couvrir. Par exemple, un centre ne peut pas couvrir les clients dont la distance est supérieur à un seuil D_c . Les données relatives à ce problème sont les suivants :

- m points de demande ou "clients" (indexés par i)
- n sites potentiels (indexés par j)
- D_c distance de couverture (distance max de service)
- booléens $a_{ij} = 1$ ssi i est couvert par le site j (distance $\leq D_c$) et 0 sinon.
- c_j coût d'ouverture du site j .

Objectif : déterminer les sites à ouvrir pour couvrir toutes les demandes à moindre coût.

2.5.2 Modélisation du problème de couverture totale

les variables de décision sont :

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si le site } j \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

$$obj = \min \sum_{j=1, n} c_j x_j \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1, n} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2.10)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2.11)$$

où :

La matrice $A = (a_{ij})_{i=1, \dots, m; j=1, \dots, n}$ est la matrice de couverture et x les variables de décision. Pour résoudre ce problème de couverture totale on utilisera dans un premier temps la méthode connue sous le nom "techniques de réduction de la taille du problème".

principe de la méthode de réduction de la taille du problème

- soit L_i la i^{me} ligne de A et C_j la j^{me} colonne de A.
- par convention, $C_k \geq C_j \iff a_{ij} \geq a_{ij}$ pour tout i
- Un site k domine un site $j \iff F_k \leq F_j$ et $C_k \geq C_j$
- k couvre tous les clients de j sans coûter plus cher.
- Donc on peut éliminer la colonne j et on force x_j de prendre la valeur 0.

le tableau suivante donne un exemple de dominance entre le site k et j .

TABLE 2.4 – le site K domine le site j

A	1	...	k	...	j	...	n
1			0		0		
2			1		1		
3			1		0		
...			0		0		
m			1		1		

2.5.3 Techniques de réduction : client qui domine un autre client

Un client k domine un client i ssi $L_k \leq L_i$, tout site j qui couvre k ($a_{kj} = 1$) couvre aussi i . Si la contrainte (2) pour k est vérifiée, celle pour i aussi. Donc on peut supprimer la i^{me} ligne (contrainte) de A.

A	1	2	3	...	n
1					
k	0	0	1	0	1
i	1	0	1	1	1
...					
m					

FIGURE 2.2 – notion de dominance entre deux clients

2.5.4 Techniques de réduction : Ouverture évidente

Si une ligne i de A a un seul 1, en a_{ij} , alors seul le site j couvre le client i . Donc $x_j = 1$ et on supprime toute autre contrainte k satisfaite (telle

que $a_{kj} = 1$). L'utilisation des techniques de réductions passe par les étapes suivantes :

- tester les lignes et les colonnes en ordre quelconque
- si on trouve des réductions, on doit tout retester en effet, une réduction peut en créer d'autres
- stop quand on ne trouve plus de réductions.

Exercice On considère le graphe de la figure ?? dont on cherche à ouvrir des entrepôts pour couvrir 6 clients. Les sommets du graphe représentent les clients à couvrir et aussi les emplacement potentiels pour installer des entrepôts, les valeurs sur les arcs indiquent les distances entre les sommets. On suppose aussi que les entrepôts ont le même coût d'installation.

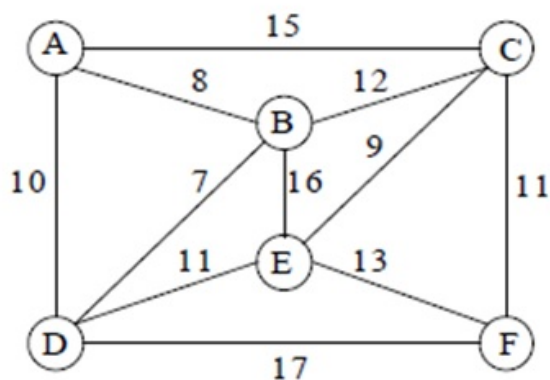


FIGURE 2.3 – problème de couverture total

le modèle mathématique correspondant à ce problème est donné para 2.4

après réduction on obtient :

- Le site A dominé par B et F par C : on force $X_A = X_F = 0$.
- Seul le site C couvre F : $X_C = 1$ et suppression des contraintes satisfaites (2),(3),(5),(6).
- Les contraintes (1) et (4) indique que si A est couvert alors D aussi, donc on supprime la contrainte (4).

$$\begin{array}{rcl}
\text{Min } X_A + X_B + X_C + X_D + X_E + X_F & & \\
(1) X_A + X_B & + X_D & \geq 1 \\
(2) X_A + X_B + X_C + X_D & & \geq 1 \\
(3) & X_B + X_C & + X_E + X_F \geq 1 \\
(4) X_A + X_B & + X_D + X_E & \geq 1 \\
(5) & X_C + X_D + X_E & \geq 1 \\
(6) & X_C & + X_F \geq 1 \\
X_A, X_B, X_C, X_D, X_E, X_F \in \{0,1\} & &
\end{array}$$

FIGURE 2.4 – modèle mathématique

Après réduction, le PL devient :

$$\begin{array}{l}
\text{Min } X_D + X_B + 1 \\
X_B + X_D \geq 1 \\
X_B, X_D \in \{0,1\}
\end{array}$$

par résolution de ce système on trouvera deux solutions à deux sites : soit $X_B = X_C = 1$ ou bien $X_C = X_D = 1$

2.6 Couverture Maximale

dans plusieurs situations le problème de couverture totale peut être inadapté. Il peut avoir plusieurs inconvénients comme :

- trop de sites à ouvrir
- clients de même poids, même si demandes faibles.
- ...

Pour surmonter les inconvénients de la couverture totale on peut opter par couverture maximale qui vise à maximiser la demande totale couverte, avec un nombre limité de sites ouverts. Ce problème est NP-difficile. La modélisation de la couverture maximale est similaire à celle de la couverture totale en ajoutant quelques variables et contraintes. Les paramètres et variables additionnels sont :

- p nombre maximum de sites à ouvrir (donné),
- d_i demande du point i (donnée)
- z_i variable 0-1 indiquant si le client i est couvert ou non.

le modèle mathématique pour ce cas de figure est donné par la figure ??

Où :

- l'équation (1) : demande totale satisfaite, à maximiser.

$$\begin{aligned}
(1) \quad & \text{Max} \sum_{i=1,m} d_i z_i \\
(2) \quad & \forall i = 1 \dots m : z_i \leq \sum_{j=1,n} a_{ij} x_j \\
(3) \quad & \sum_{j=1,n} x_j \leq p \\
(4) \quad & \forall j = 1 \dots n : x_j \in \{0,1\} \\
(5) \quad & \forall i = 1 \dots m : z_i \in \{0,1\}
\end{aligned}$$

FIGURE 2.5 – modèle mathématique de la couverture maximale

- Contraintes (2) : Un client i est couvert si et seulement s'il existe un site ouvert qui lui couvre.
- Par définition, $Z_i = 1 \Leftrightarrow$ client i couvert.

$$Z_i = 1 \Leftrightarrow \sum_{j=1,\dots,n} a_{ij} X_j \geq 1$$

Contrainte (3) : ouverture d'au plus p sites, on peut avoir des clients non couverts Si moins de p sites suffisent, la fonction-objectif sera la même que celle de la couverture totale

2.6.1 Résolution des problèmes de couverture

Vu que les problèmes de localisation sont généralement de type linéaire en nombre entiers ou binaires donc on peut utiliser un logiciel de programmation linéaire. L'algorithme du Simplex n'est pas utilisable directement, il est nécessaire de la compléter avec un des algorithmes de coupe. On peut aussi utiliser les algorithmes de Branch & bound, branch& cut et Branch& Price. Aussi, on peut utiliser les méthodes en arborescentes ($x_j = 0$ ou $x_j = 1$)+réductions. Ces problème deviennent très dur à résoudre lorsque la taille du problème dépasse un certain seuil. Exemple de problème traitant 100 clients et 20 sites. **Note** : les problèmes de partitionnement ($A.x = 1$) sont encore plus durs car pas toujours faisables. Exemple : découpage électoral, secteurs commerciaux. Lorsque les méthodes exactes s'avèrent difficile à utiliser ou bien les résultats obtenus ne sont pas encourageant, donc à ce moment on peut utiliser les méthodes heuristiques et méta-heuristiques.

2.6.2 Résolutions heuristiques des problèmes de couvertures

Pour les problèmes de grande taille les méthodes exactes ne sont pas généralement applicables, pour cela les méthodes heuristiques sont alors nécessaires. Les heuristiques sont connues par leur rapide convergence vers des solutions de bonne qualité même si ils ne garantissent pas une solution optimale du problème traité. Parmi, les méthodes heuristiques on trouve celle appelées les heuristiques gloutonnes qui sont simples et efficaces pour construire une solution de départ :

- Suite de décisions définitives (sans retours en arrière)
- Choisir le plus avantageux à chaque étape selon un certain critère (à définir)
- Exemple, Plus Proche Voisin pour le TSP.

2.6.3 Heuristique gloutonne de Chvátal (couverture totale)

Le principe générale de l'algorithme est l'ouverture à chaque étape du site ayant le faible coût par nouveau client non couvert.

Algorithm 1 : Algo chvatal pour la couverture totale

cost := 0 ; $nb_{siteOuvrte}$:= 0 ; $nb_{clientCouvert}$:= 0 ;

Ouvrtes = \emptyset

repeat

Calculer pour chaque site j non ouvrte le ratio $R(j)$

$R(j)$ est le ratio de F_j par le nombre de clients qui sont couverts par j et qui ne sont pas encore couverts par d'autres sites ouvrtes.

$$R(j) = \frac{F_j}{nb-clients-couverts-par-site(j)}$$

sélectionner le j ayant le plus petit $R(j)$

Ajouter j aux Ouvrtes

$Cost := Cost + F_j$

$nb_{siteOuvrte} := nb_{siteOuvrte} + 1$;

$nb_{clientCouvert} := nb_{clientCouvert} + 1$;

Éliminer du pb le site j et les nouveaux clients couverts par celui-ci.

until { $nb_{clientsCouvert} = nb_{client}$ }

Exemple d'application couverture totale On cherche à ouvrir un ensemble de sites pour couvrir la demande de 6 quartiers A, B, C, D, E Et F. Les sites à ouvrir seront au centres de quelques quartiers clients. Le graph de la figure 2.6 donne les distances entre les sites ainsi que la demande de chaque quartiers. La demande de chaque client i est donnée par d sur chaque sommet du graphe. On considère la que la distance de couverture est égale à 12 et que la capacité des entrepôts est illimitée on cherche les sites à ouvrir pour couvrir la totalité des clients au moindre coût. On suppose que les

coûts d'ouverture des sites sont A(8), B(7.5), C(10), D(11), E(13) et F(12).
En appliquant l'algorithme de Chvatal on obtiendra :

	cost	nb_couvert	R
A	8	3	2.66
B	7.5	4	1.87
C	10	4	2.50
D	11	4	2.75
E	13	2	6.50
F	12	2	6.00

On constate que le ration le plus bas est celui de B donc on ouvre le site B, ensuite on élimine le site B et les quartiers qui sont par B qui sont : A, B, C et D. Et donc il ne reste que deux sites qui sont E et F. Puisque E ne couvre pas F et F ne couvre pas E donc on va ouvrir E et F. Et par la suite les sites à ouvrir sont B, E et F.

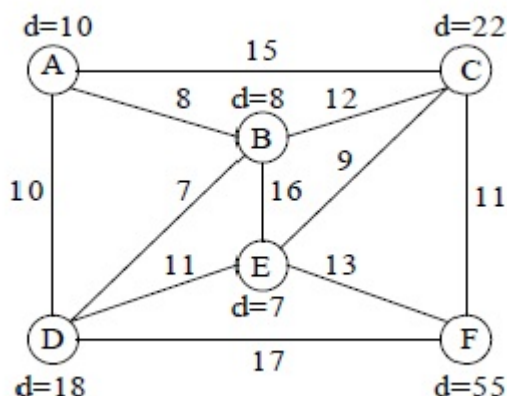


FIGURE 2.6 – notion de dominance entre deux clients

Exemple de couverture maximale dans cette exemple on va prendre le graphe précédent mais en considérant que les coûts d'ouverture des sites sont les mêmes, et la distance de couverture est égale à 11.5. Le tableau de la figure 2.7 résume les calculs faits pour chaque site. On constate qu'on ouvre dans un premier lieu le site C, ensuite on élimine les sites C, E, F ; On suite on ouvre le site A ou B ou D pour couvrir le reste de la demande.

Exercice d'application On considère le problème de couverture totale défini par une matrice binaire quelconque $A_{(m,n)}$. On a m points de demandes (clients), n sites potentiels.

Algorithm 2 : Algo chvatal pour la couverture maximale

```
cost := 0 ; nbsiteOuvert := 0 ; nbclientCouvert := 0 ;
Ouverts = ∅
Qtecouvert := 0
repeat
  Calculer pour chaque site  $j$  non ouvert la quantité de demande qu'il
  peut ouvrir  $Qte_{couvert_j}$ 
   $Qte_{couvert_j} = \sum_i demande_i$  tel que le client  $i$  est couvert par  $j$  et n'est
  pas encore couvert
  calculer le ratio  $R(j) = \frac{F_j}{Qte_{couvert_j}}$ 
  sélectionner le  $j$  ayant le plus petit  $R(j)$ 
  mettre  $j$  dans Ouverts
   $Cost := Cost + F_j$ 
   $Qte_{couvert} := Qte_{couvert} + 1$ 
   $nb_{siteOuvert} := nb_{siteOuvert} + 1$  ;
   $nb_{clientCouvert} := nb_{clientCouvert} + 1$  ;
  éliminer du pb le site  $j$  et les nouveaux clients couverts
until {  $nb_{clientsCouvert} = nb_{client}$  or  $nb_{siteOuvert} \geq p$  }
```

Questions

- Rappeler très brièvement en termes d'ensembles la signification des lignes et colonnes de A . A quelle condition existe-t-il des solutions ?
- En supposant que le problème est réalisable, que signifie le fait que la somme d'une ligne i soit égale à un entier $k \leq n$?
- Que la somme d'une colonne j soit égale à un entier $k \leq m$?
- Que peut-on conclure si une colonne j ne contient pas de zéros ? Si toute paire de colonnes n'a aucune ligne avec deux 1 ?
- Simplifier au maximum la matrice A en précisant les éliminations (quelle ligne ou colonne est dominée par quelle autre).
- Puis résoudre le problème en précisant les sites ouverts et les sites qui couvrent chaque client. la matrice de couverture est donnée par 2.8

Exercice 3 Pendant la conception de la ville de Tamasna, les responsables ont prévu qu'elle aura M quartiers. Le nombre d'enfants estimé pour chaque quartier i est donné par h_i , et on a prévu l'ouverture de n écoles au maximum dans cette ville pour scolariser ses enfants ($n \leq m$). La distance entre deux quartiers i et j est donnée par d_{ij} . Une école ouverte ne peut couvrir qu'au maximum k quartiers dont le quartier qui l'abrite. Les élèves d'un quartier doivent être affectés à la même école. Pour cette première version on considère qu'on n'a pas de contrainte concernant la distance de couverture.

Questions :

Site choisi	Clients couverts	Qté couverte si ouvert en 1 ^{er}	Couverte si ouvert après C
A	A, B, D	36	36
B	A, B, D	36	36
C	C, E, F	84	déjà ouvert
D	A, B, D, E	43	36
E	C, D, E	47	18
F	C, F	77	0

FIGURE 2.7 – solution couverture maximale

	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	1
3	0	1	1	0	1	0
4	0	1	0	0	0	0
5	1	0	1	1	1	1

FIGURE 2.8 – Matrice de couverture A

1. Modéliser le problème de localisation des écoles sous la forme d'un programme linéaire
2. On suppose maintenant que $M=6$, $n=6$ et $k=3$. Les autres données du problème sont présentées dans le tableau ??
3. Modéliser ce problème sous la forme d'un problème de couverture totale.
4. Résoudre ce problème en utilisant la méthode de chvatal, la distance de couverture est de 12.
5. les données de cette exercice sont données par le tableau de la figure 2.9.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Q1	0	8	15	10	24	27
Q2		0	12	7	16	33
Q3			0	19	9	11
Q4				0	11	17
Q5					0	13
Q6						0
Nb élèves	120	135	95	80	105	115
Coût d'installation	8	7	8.5	6	9	5.5

FIGURE 2.9 – données exercice 3

Chapitre 3

dimensionnement des entrepôts

3.1 Les critères à prendre en compte

Dans le cadre du dimensionnement d'un entrepôt, il est important de maîtriser les composantes de l'implantation comme les surfaces réservées aux différentes opérations logistiques au sein de l'entrepôt. Aussi, il faut prendre en considération les moyens de manutention à prévoir comme les transpalettes, les chariots élévateur.//

Les différents types de surfaces qu'on peut trouver dans un entrepôt on peut citer à titre d'exemple :

- La surface réception et expéditions
- Les surfaces techniques
- La surface palettes
- La surface masse
- La surface casier

3.2 Une bonne implantation

Un entrepôt bien structuré améliorera la fluidité des mouvements de marchandises. Aussi, il permettra une utilisation optimale des ressources disponibles. Généralement des règles simples de gestion permettront de rationaliser l'implantation et de dégager rapidement des gains de productivité et d'efficacité. Aussi, un entrepreneur et son responsable logistique pour aller dans ce sens, doivent tenir compte de deux critères clés : le dimensionnement statique et dynamique de l'entrepôt.

3.3 Le dimensionnement statique et le dimensionnement dynamique

Le dimensionnement statique, concerne l'ensemble des données «métriques» de l'entrepôt en question. Autrement dit, les longueurs des espaces de stockage, leur largeur et leurs hauteurs doivent être pris en compte. Afin de déterminer ces critères précisément, il est conseillé de segmenter les diverses familles de produits entrant et sortant de l'entrepôt. Par exemple on doit différencier entre les produits légers et les produits lourds, également ceux avec des formats atypiques, ou les colis difficiles à manipuler. Aussi, on prendra en considération la quantité de mouvement des différents produits. Les réponses à l'ensemble de ces questions permettent de sélectionner les structures de stockage pour recevoir au mieux chaque famille. Aussi, elles permettent aussi de choisir les moyens de manutention les plus adéquates. Le choix des engins révèle un impact naturel sur l'implantation de l'entrepôt, en effet, la place nécessaire à la circulation varie selon leur modèle. Leur choix définit les largeurs des allées de circulation et de gerbage.

Le dimensionnement dynamique se focalise sur les informations volumétriques de l'entrepôt. Il détermine de façon précise l'implantation avec une analyse des rotations de stocks. Cette analyse permet d'optimiser l'envoi ou la réception, en intégrant une réelle logique de productivité. Par conséquent, un produit qui «tourne» fréquemment doit être placé à côté des quais, à portée des mains des manutentionnaires, plutôt qu'au fond de l'entrepôt. En plus, il faudra éviter de le positionner en hauteur pour favoriser les manipulations simples. L'étude doit aussi considérer les logiques de qualité. En effet, si un produit possédant une forte rotation est stocké au sein d'un endroit trop petit, la conséquence est de le réapprovisionner très souvent, entraînant un risque plus élevé d'erreur et, d'écarts de stocks ce qui peut avoir un impact négatif sur la rentabilité de l'entrepôt.

3.4 Surfaces d'un entrepôt

les principales surfaces dans un entrepôt sont :

- surface de stockage
- surface de réception
- surface technique
- surface pour la chargement et le parking des moyens de manutention
- surface administration
- les allées de circulation
- les allées de gerbage

La figure 3.1 donne une vue générale des différentes surfaces possibles d'un

entrepôt.

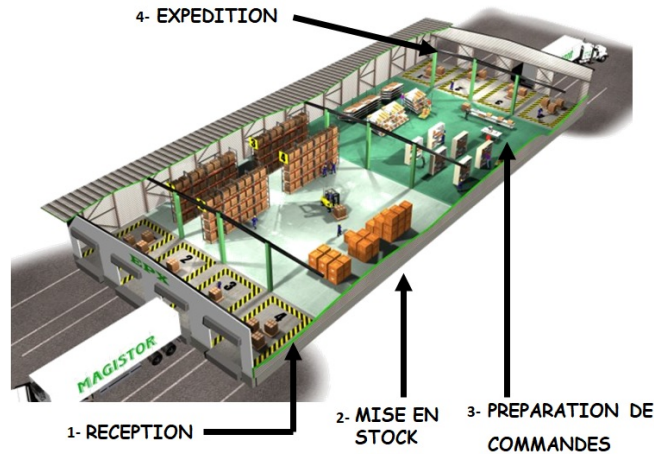


FIGURE 3.1 – surfaces d'un entrepôt

Le dimensionnement d'un entrepôt passera par la détermination des différentes surfaces citées auparavant et prendra en considération trois axes à savoir : (i) les ressources, (ii) les processus et (iii) l'organisation comme le montre la figure 3.2.

Un bon dimensionnement de l'entrepôt suppose une connaissance parfaite des produits à stocker, la quantité de la marchandise à prévoir et les différents moyens de manutentions à utiliser. L'élément fondamental pour le dimensionnement de la zone de stockage est la palette. Dans le marché existent plusieurs type de palettes et selon le type de palette à utiliser la surface de stockage changera. Dans ce cours on va baser le calcul de la surface de stockage en utilisant la palette européenne dont les dimensions sont données par la figure 3.3.

La plus part des entrepôts ont un système de stockage en palettier. Les palettes sont rangées dans des rayonnages communément appelés racks ou palettiers. Son succès vient du fait qu'il a été conçu pour supporter des charges élevées et permettre une grande souplesse d'utilisation. la figure 3.4 montre exemple d'un palettier simple.

Les palettiers sont généralement organisés en plusieurs zones et sont formés par plusieurs travées, chaque travée est formée à elle aussi par plusieurs alvéoles et chaque alvéole contiendra des zones de stockages pour plusieurs palettes. La figure 3.4 donne un exemple simple d'un palettier (rack en anglais). Un palettier simple présente plusieurs avantages :

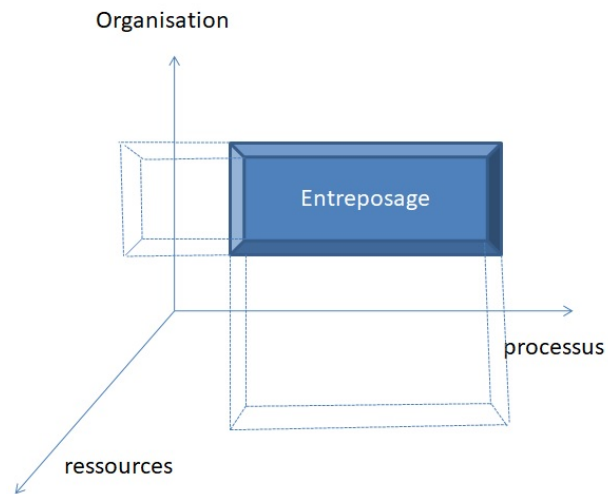


FIGURE 3.2 – axes de gestion d'un entrepôt

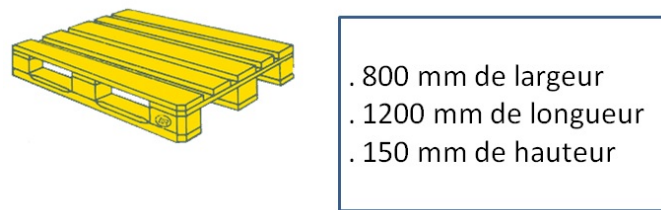


FIGURE 3.3 – dimensions d'une palette européenne

- Un accès direct et immédiat à tous les produits entreposés.
- Un repérage facile des produits stockés.
- Puisque chaque location d'entreposage correspond à une position de palette, cela permet d'avoir une excellente visibilité des produits et rend facile la gestion des inventaires.
- Offre de la flexibilité quant au poids et au volume des charges entreposées.

Pour faciliter la recherche des produits dans un rack on établira un adressage et une codification de chaque palettier. Cette codification prendra en considération le numéro de rack, le numéro de la travée, le numéro de l'alvéole et la position de la palette dans l'alvéole. la figure 3.4 illustre un codage simple d'un palettier.



FIGURE 3.4 – palletier statique

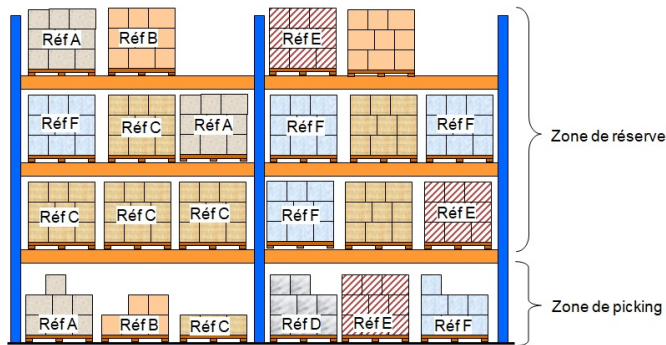


FIGURE 3.5 – organisation d'un palletier statique

3.5 Palettier

Les racks à palettes aussi appelés palettiers sont adaptés au stockage de charges lourdes sur palettes. un Palettier est composé des éléments suivants :

Travée Une travée est la zone délimitée par deux échelles

alvéole L'alvéole est la la zone d'une travée délimitée entre deux échelles et une lisse, il est utilisée pour supporter les charges palettisées. Dans une alvéole on peut stocker plusieurs palettes.

recherche des caractéristiques d'une palette : poids et hauteur Une palette chargée a deux dimensions importantes à savoir la hauteur et le poids de la charge palettisée. les figures 3.8 et 3.9 présentent les deux dimensions

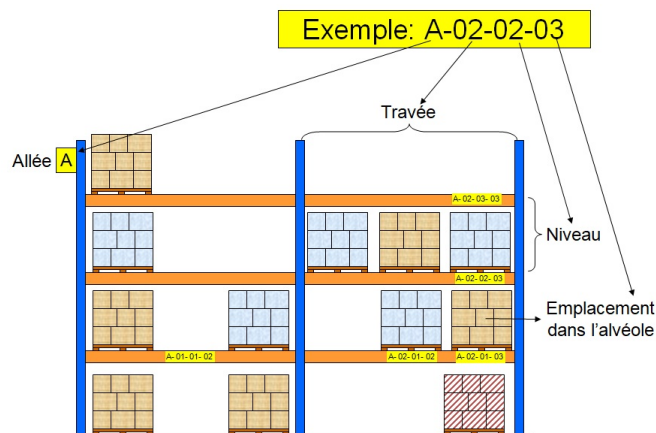


FIGURE 3.6 – codification d'un rack

d'une palette.

Exemple Des matières premières sont conditionnées en carton d'une hauteur de 22 cm, chaque carton pèse 7kg. Les cartons sont palettisés sur des palettes de 800x1200x150mm comportant 4 couches de 10 cartons. La palette vide pèse 25 kg.

Pour calculer le poids de la palette chargée on applique les formules de la figure 3.10.

Caractéristiques et choix de la lisse

Une lisse est le matériel qui supporte les charges (palettes). Les caractéristiques d'une lisse sont en fonction de la charge qui va supporter comme le montre la figure 3.11. Les caractéristiques fondamentales d'une lisse sont :

- La longueur
- Charge utile

La longueur d'une lisse est égale au nombre de palettes par alvéole x (façade palette + marge horizontale par palette) ou bien Nombre de palette par alvéole x ((façade palette + intervalle) + intervalle). La charge utile est égale la charge palettisée par le nombre de palettes par alvéole. La figure 3.12 montre comment on calcule la longueur ainsi que la charge utile d'une lisse.

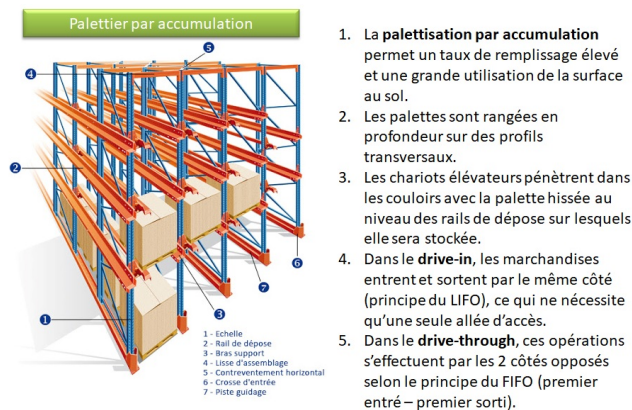


FIGURE 3.7 – palettier dynamique

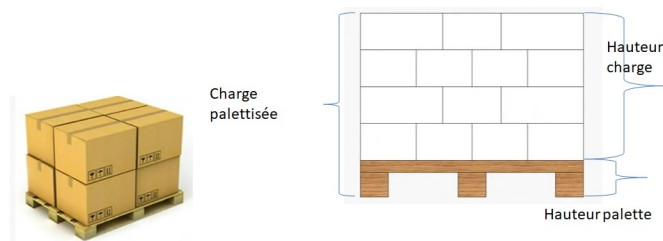


FIGURE 3.8 – dimensions d'une palette

Exemple d'application

On suppose qu'on va stocker en utilisant 3 palettes de type européenne (1200mm,800mm) par alvéole :

- stockage longitudinal
- La marge de sécurité prédéfinie est de 100 mm
- Le poids d'une palette chargée est de 798kg

Donc pour pouvoir supporter ces charges la lisse doit avoir :

- Un longueur = $3*(800+100)= 2700$ mm
- Une Charge utile = $3*798 = 2394$ kg

Recherche de la hauteur des niveaux d'un palettier

Pour calculer les hauteurs des différents niveaux d'un palettier il va falloir prendre en considération la hauteur de la charge palettisée et la hauteur de la lisse utilisée dans les alvéoles. On fera la différence entre le niveau sol et les autres niveaux supérieurs. La figure 3.13 montre comment on calcule les hauteurs des niveaux d'un palettier. Selon le matériel utilisé les échelles

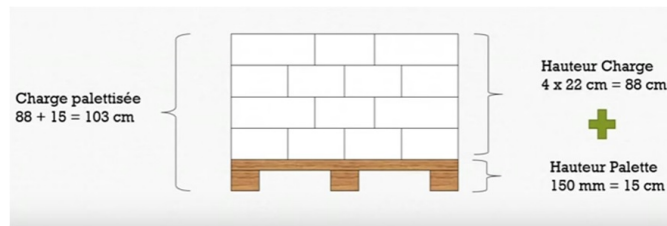


FIGURE 3.9 – Hauteur d'une palette chargée

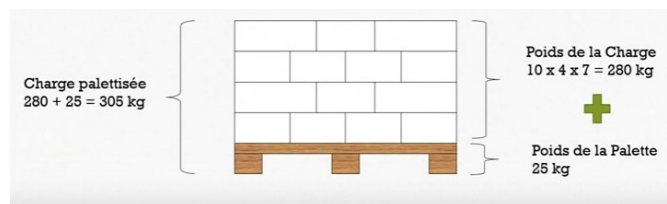


FIGURE 3.10 – poids d'une palette chargée

ont un impact sur le calcul des hauteurs des niveaux. La hauteur théorique des différents niveaux peut ne pas correspondre aux matériels. Donc il faut prendre en considération le pas de la perforation des échelles donné par la distance entre deux perforation sur une échelle comme le montre la figure 3.14.

Un calcul supplémentaire est nécessaire on divise la hauteur théorique par le pas de perforation et si :

1. si le résultat est nombre entier : la hauteur théorique est conforme au matériel
2. si le résultat est un nombre avec décimales alors la hauteur théorique non conforme au matériel utilisé donc il faut arrondir à l'unité supérieure et multiplier par le Pas pour obtenir une hauteur conforme.

exemple d'application

on suppose les données suivantes :

- Hauteur palette chargée = 1350 mm
- Jeu de manutention = 100 mm
- Hauteur d'une lisse = 125 mm
- des échelles avec un pas de perforation = 75 mm

Alors les hauteurs de niveaux sont :

- Hauteur niveau 1 : 1350+100 = 1450 mm



FIGURE 3.11 – La lisse

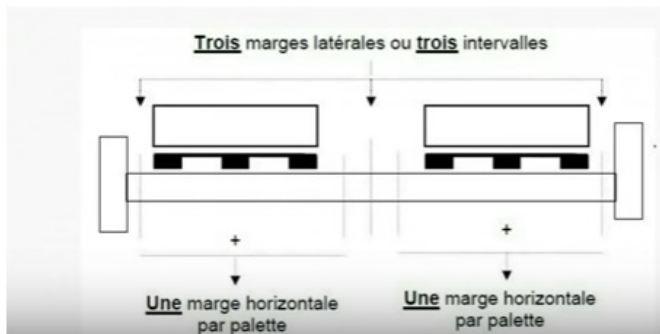


FIGURE 3.12 – charge et longueur d'une lisse

- Ajustement au Pas : $1450/75 = 19.33$ arrondi à 20
- Hauteur niveau 1 = $20 \times 75 = 1500$ mm
- Hauteur niveau supérieur : $1350 + 100 + 125 = 1575$ mm
- Ajustement au Pas : $1575/75 = 21$
- donc le niveau théorique est conforme au matériel

Recherche du nombre de niveau

le calcul du nombre de niveaux à prévoir dans un entrepôt est fonction de la sa hauteur (hauteur sous ferme) et la hauteur des différents niveaux d'un palettier. ainsi le nombre de niveau peut être donné par l'équation suivante :

$$(hauteursousferme - hauteurniveau\ sol) / hauteurniveau\ suprieur) + 1$$

Important : arrondir le résultat a l'unité inférieure



FIGURE 3.13 – Calcul des hauteurs des niveaux d'un palettier

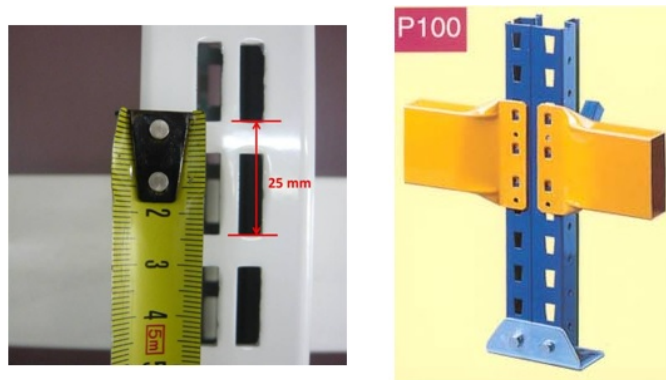


FIGURE 3.14 – Perforation d'une échelle

Exemple

dans un entrepôt de hauteur sous ferme de 6m on cherche à déterminer le niveau de niveaux de stockage possible vu que la hauteur niveau 1 est de 1500 mm et hauteur d'un niveau supérieur est égale à 1575 mm.

donc le nombre de niveaux : $(6000-1500)/1575 = 2.85$, On ajoute $2.85 + 1 = 3.85$ arrondi à 3 niveaux Alors avec une hauteur de 6m on peut avoir un palettier avec 3 niveaux.

Recherche des caractéristiques des échelles

dans un palettier on parle de deux échelles figure 3.15 (i) échelle d'extrémité , (ii) échelles intermédiaires. Donc, pour les échelles on est sensé de calculer :

- Hauteur d'échelle d'extrémité
- Hauteur d'échelle intermédiaire

- Charge utile par travée
- Profondeur d'échelle

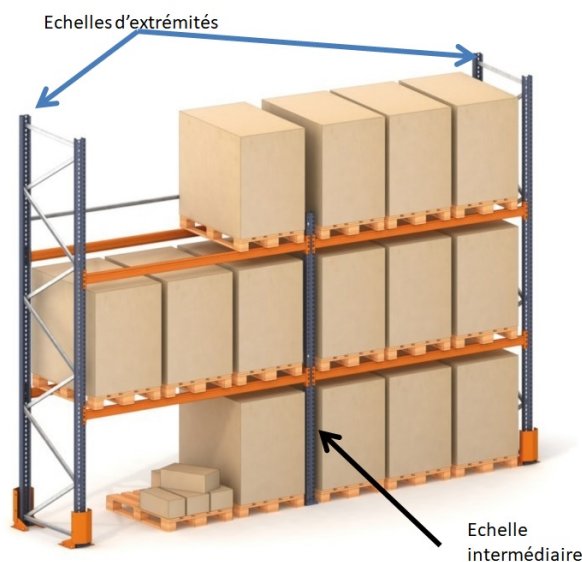


FIGURE 3.15 – Les échelles d'extrémité et intermédiaire

- Hauteur d'échelle d'extrémité = Somme des hauteurs de tous les niveaux - hauteur du dernier niveau + hauteur d'une lisse + 1m (recommandation INRS)
- Hauteur d'échelle intermédiaire = Somme des hauteurs de tous les niveaux - hauteur du dernier niveau + hauteur d'une lisse
- Charge utile par Travée = Charge utile par alvéole * (nombre de niveau -1)
- Profondeur d'échelle = profondeur palette -200 mm

Exercice d'application

on dispose d'un Palettier à 3 niveaux dont la Hauteur niveau 1 = 1500 mm, Hauteur niveau supérieur = 1575 mm, Hauteur lisse = 112 mm, Recommandation INRS = 1000mm et la Charge par alvéole = 2394 kg.

- Hauteur échelle extrémité : Important ne jamais tenir compte du dernier niveau!! Donc dans notre cas : 1 niveau au sol + 1 niveau sup + H lisse + INRS = $1500 + 1575 + 112 + 1000 = 4187$ mm.
- Hauteur échelle intermédiaire
- Important ne jamais tenir compte du dernier niveau!!
- Donc : 1 niveau au sol + 1 niveau sup + H lisse = $1500 + 1575 + 112 = 3187$ mm

- Charge par travée
- Important ne jamais tenir compte du niveau au sol!!
- Charge par alvéole * 2 = 2394*2 = 4788 kg
- Profondeur des échelles = 1200 (palette euro) -200 = 1000mm

Echelle Extrémité
Elle doit faire environ 4 187 mm de hauteur, avoir une profondeur de 1 000 mm et une capacité minimale de 4,788 T.

Les échelles		Capacité 6 tonnes type N 152				Capacité 9 tonnes type N 151			
		mm	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
Echelles profondeur 800 mm	Type N 152 - N 151	Poids	24 kg	29 kg	34 kg	39 kg	44 kg	49 kg	54 kg
		Réf. P.U.H.T €	E01 46	E02 55	E03 64	E04 73	E05 89	E06 98	E07 118
Echelles profondeur 1000 mm	Type N 152 - N 151	Poids	25 kg	30 kg	35 kg	40,5 kg	45,5 kg	50,6 kg	55,7 kg
		Réf. P.U.H.T €	E21 47	E22 57	E23 66	E24 75	E25 91	E26 102	E27 112
Echelles profondeur 1200 mm	Type N 152 - N 151	Poids	26 kg	31,4 kg	36,7 kg	42 kg	47,2 kg	52,5 kg	57,8 kg
		Réf. P.U.H.T €	E41 49	E42 59	E43 68	E44 78	E45 94	E46 105	E47 115

FIGURE 3.16 – Choix d'échelle d'extrémité

Le choix de l'échelle intermédiaire est donnée par la figure 3.17

Echelle Intermédiaire
Elle doit faire environ 3 187 mm de hauteur, avoir une profondeur de 1 000 mm et une capacité minimale de 4,788 T.

Les échelles		Capacité 6 tonnes type N 152				Capacité 9 tonnes type N 151			
		mm	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
Echelles profondeur 800 mm	Type N 152 - N 151	Poids	24 kg	29 kg	34 kg	39 kg	44 kg	49 kg	54 kg
		Réf. P.U.H.T €	E01 46	E02 55	E03 64	E04 73	E05 89	E06 98	E07 118
Echelles profondeur 1000 mm	Type N 152 - N 151	Poids	25 kg	30 kg	35 kg	40,5 kg	45,5 kg	50,6 kg	55,7 kg
		Réf. P.U.H.T €	E21 47	E22 57	E23 66	E24 75	E25 91	E26 102	E27 112
Echelles profondeur 1200 mm	Type N 152 - N 151	Poids	26 kg	31,4 kg	36,7 kg	42 kg	47,2 kg	52,5 kg	57,8 kg
		Réf. P.U.H.T €	E41 49	E42 59	E43 68	E44 78	E45 94	E46 105	E47 115

FIGURE 3.17 – Choix d'échelle intermédiaire

3.5.1 Recherche du nombre de travées

le nombre de travées se calcule en fonction de la longueur disponible, longueur d'une lisse et l'épaisseur d'une échelle. par exemple si on a la Longueur disponible est de 9m, la Longueur d'une lisse 2700 mm et l'épaisseur d'échelle est de 100mm alors le nombre de travées est de : $N_{b_{traves}} = (9000 - 100) / (2700 + 100) = 3.17$ arrondi arrondi à 3 travées.

3.6 calcul des surfaces de circulation

Pour calculer les surfaces de circulation on a besoin de savoir les moyens de manutention de l'entrepôt. En se basant sur les dimensions des moyens de manutention on peut calculer les surfaces de circulations ainsi que les allées de gerbages. Parmi les moyens de manutention dans un entrepôt on trouvera : la figure 3.18.

- Le transpalette manuel
- Le transpalette électrique
- Le gerbeur à bras porteur
- Le chariot élévateur
- Les chariots préparateurs
- Le transtockeur

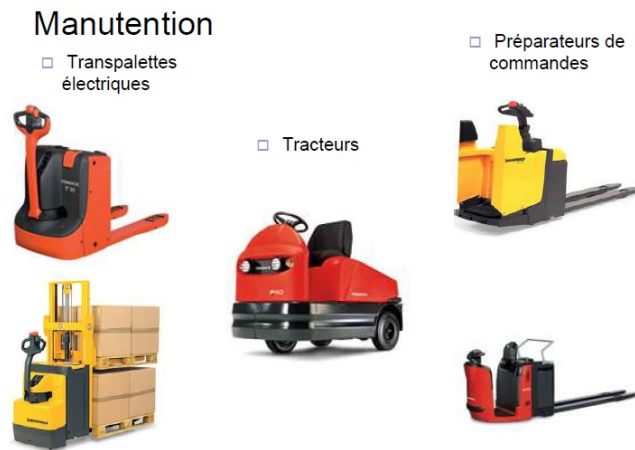


FIGURE 3.18 – moyens de manutention

3.7 Calcul des surfaces dédiées

3.7.1 calcul de la surface de stockage

la surface de stockage est la somme des surfaces occupées au sol par les palettes. la surface de stockage d'une palette est donnée par l'expression suivante. La surface de stockage d'une palette correspond à la surface au sol occupée par la palette + la moitié de la surface de l'allée de gerbage comme le montre les figures 3.20 et 3.21. Donc, la surface de stockage est la somme des surfaces de stockage au sol. Il est égale au nombre de position au sol par la surface de stockage d'une palette.

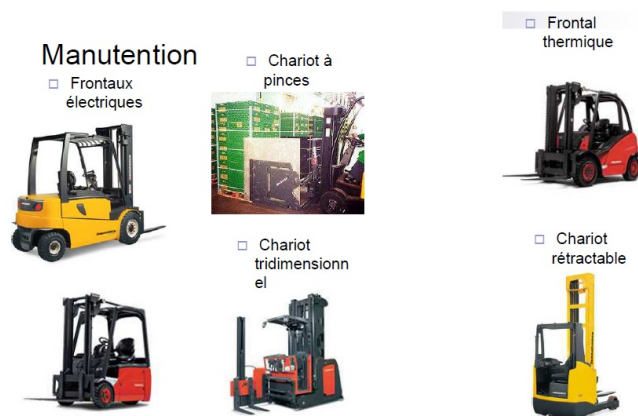


FIGURE 3.19 – moyens de manutention 2

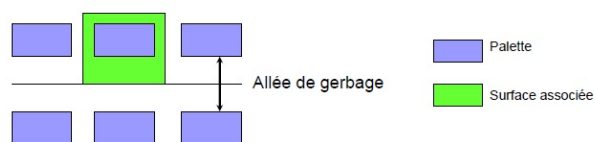


FIGURE 3.20 – surface au sol occupée par une palette

le calcul de la surface de stockage est donné par l'expression suivante :

$$SSTO = [(0,1 + F + 0,1) \times (0,1 + P + \frac{AST}{2})] \times N/G$$

où :

- f = la façade de la palette
- P profondeur de la palette
- N : le nombre total de palette à stocker
- G : le nombre de niveaux de stockage

3.7.2 Calcul de la surface des allées de circulation

le calcul de la surface de circulation peut se faire de deux manières différentes. Soit elle est exprimée en pourcentage de la surface totale (X % de STOT) selon l'équation suivante :

$$S_{ac} = \frac{X\% \times (S_{sto} + S_{tech})}{1 - X\%}$$

où x% est le pourcentage pris en considération. Soit elle est calculée en fonction du matériel utilisé :

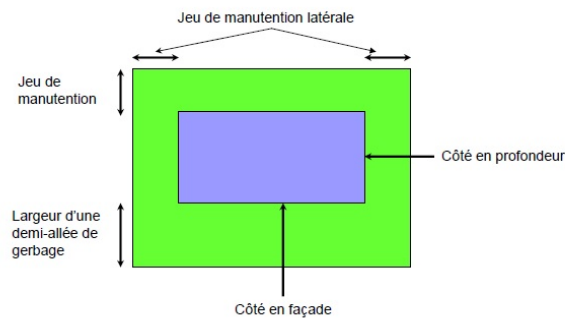


FIGURE 3.21 – surface au sol occupée par une palette

- circulation à sens unique : $S_{AC} = (B + 1m) \times \text{longueur d'allée}$
- circulation à double sens : $S_{AC} = (2xB + 1,40m) \times \text{longueur d'allée}$

3.7.3 calcul des allées de gerbage

Pour calculer les allées de gerbage on a besoin des données présentées par la figure 3.22.

F :	côté palette en façade	S_{TOT} :	Surface totale de l'entrepôt
P :	côté palette en profondeur	S_{STO} :	Surface de stockage
L2 :	Longueur au talon de la fourche	S_{AC} :	Surface allée de circulation
X₂ ou x :	Porte-à-faux avant (distance de l'axe des roues avant aux talons des fourches)	S_{TECH} :	Surface technique
Wa ou R :	Rayon de braquage ou de giration	S_{AG} :	Surface d'agrandissement
B :	Largeur hors tout du chariot et de sa charge		
b :	dimension latérale de la palette		
a :	distance de sécurité (200 mm ou 0,2 m)		
AST :	Allée de gerbage		
N :	Nombre de palettes à stocker		
G :	Nombre de niveaux de stockage		

Remarque : à l'exception de N et G, dans une formule toutes les données doivent être exprimées avec la même échelle (souvent le mètre).

FIGURE 3.22 – données pour le calcul des allées de gerbage

3.7.4 Calcul de l'allée de gerbage avec un chariot à quatre roues

Pour Calculer la largeur de l'allée de gerbage on prendra on considération le type des chariots utilisés pour le gerbage comme le montre les deux figures

3.23 et 3.24.

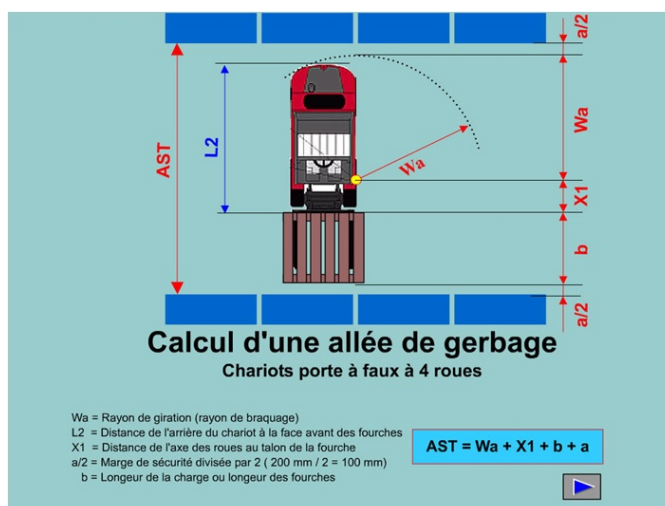


FIGURE 3.23 – allée de gerbage chariot à quatre roues

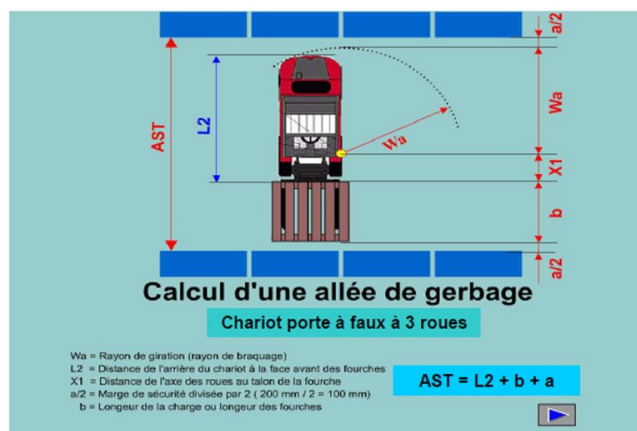


FIGURE 3.24 – allée de gerbage chariot à trois roues

Détermination de la surface totale

la surface totale de l'entrepôt est donnée par :

$$S_{TOT} = S_{STO} + S_{AC} + S_{TECH}$$

Détermination de la surface d'agrandissement

la surface d'agrandissement est la surface qu'on peut utiliser peut agrandir la surface de stockage.

$$SAG = S_{TOTNCESSAIRE} - S_{TOTEXISTANTE}$$

Exercice d'application

La société ELLOGIR désire agrandir son entrepôt pour faire face à la croissance de son activité.

Les produits seront stockés par palette entière 800 X 1200 (800 en façade) sur 6 niveaux. Une étude de marché a mis en évidence un besoin de 2 400 emplacements palettes supplémentaires. L'entrepôt actuel a une capacité de 7 500 emplacements sur 5 150 m². Pour les besoins de l'activité, on devra disposer de locaux administratifs (90 m²), d'une zone de réception (170 m²) et une zone pour la préparation des commandes de 170 m², d'un « garage » pour les engins de manutention (5 m²), d'un parc à chariots (25 m²) et d'allées de circulation estimées à 15% de la surface totale.

L'entreprise utilise des chariots élévateurs aux caractéristiques suivantes :

- Rayon de giration : 2 120 mm
- Porte-à-faux avant : 480 mm
- Nombre de roues : 4

Il est demandé de calculer la surface du nouvel ensemble ainsi que la surface d'agrandissement.

Résolution application 1

la première étape consiste à calculer la largeur d'une allée de gerbage. Il s'agit ici d'un chariot en porte-à-faux avant à 4 roues donc et Pour pouvoir avoir 1 200 en profondeur, les caristes doivent pendre les charges par le côté 800, b est donc de 1 200 mm.

- $AST = Wa + X + b + a$
- $AST = 2\ 120 + 480 + 1\ 200 + 200$
- $AST = 4\ 000$ mm soit 4 mètres

la deuxième étape consiste à calculer de la surface de stockage (SSTO) :

$$S_{STO} = [(0,1 + 0,8 + 0,1) \times (0,1 + 1,2 + \frac{4}{2})] \times [\frac{7500 + 2400}{6}] = 5445m^2$$

où :

7500 l'ancien nombre de palettes et 2400 le nombre de palette en augmentation.

3.7.5 Surface technique

la surface technique de l'entrepôt est la somme de la surface de locaux administratifs (90 m²), d'une zone de réception (170 m²) et une zone pour la préparation des commandes de 170 m², d'un « garage » pour les engins de manutention (5 m²) et d'un parc à chariots (25 m²) donc on obtient :

$$S_{TECH} = 90 + 170 + 170 + 5 + 25 = 460m^2$$

calcul de la surface des allées de circulation

la surface des allées de circulation est :

$$S_{ac} = \frac{15\% \times (5445 + 960)}{1 - 15\%} = 1042m^2$$

3.7.6 Calcul de la surface Totale

la surface totale est donnée par l'équation :

$$S_{TOT} = 5\,445 + 1\,042 + 460 = 6\,947\,m^2$$

surface de stockage surface des allées de circulation surface technique

3.7.7 Calcul de la surface d'agrandissement

Finalement la surface d'agrandissement est :

$$S_{AG} = 6\,947 - 5\,150 = 1\,797\,m^2$$

surface totale surface déjà existante

Application 2

Thème : La société NOSMOTH va commercialiser un nouveau produit, il lui est donc nécessaire de revoir l'organisation de son entrepôt, voire de l'agrandir. L'entrepôt actuel permet de stocker 12 000 palettes 1 000 X 1

200 sur 14 000 m² dont 200 m² de locaux administratifs, 900 m² de zone de réception-expédition, 400 m² pour le parc à chariots et 1 400 m² d'allées de circulation. La première étude a montré un besoin de 3 000 emplacements supplémentaires en utilisant le même type de palettes stockées sur 4 niveaux (1 200 en façade) et une augmentation de 20 % de la surface technique. Il a été décidé de conserver la même proportion pour les allées de circulation. L'entreprise utilise des chariots élévateurs Daewo D15S dont la documentation technique vous est fournie en figure 3.25.

Travail à effectuer : Vous devez calculez la surface totale nécessaire ainsi que la surface d'agrandissement éventuelle. Remarque : La surface des allées de circulation sera arrondie à la dizaine supérieure.

Modèle			D15S	D18S
1	Hauteur maximale de la fourche	Standard mm	3300	3300
2	Levée libre	Standard mm	131	131
3	Dimensions de la fourche	longueur x largeur x épaisseur mm	900x100x35	900x100x35
4	Angle d'inclinaison	avant/arrière degre	6/12	6/12
5	Dimensions hors tout	longueur sans fourche mm	2170	2210
6		largeur (pneumatiques standard) mm	1070	1070
7		hauteur mât abaissé mm	2164	2164
8		hauteur mât levé mm	4350	4350
9		hauteur avec protège-conducteur mm	2045	2045
10		hauteur du siège mm	985	985
11	Rayon de braquage	minimum (extérieur) mm	1935	1975
12	Distance de charge	du centre de l'essieu avant à la face verticale de la fourche mm	385	385
13	Gerbage à 90° en allée	ajouter la longueur de la charge mm	2320	2360
14	Largeur d'allée virage à 90	mm	1740	1755
15	Empattement	mm	1350	

FIGURE 3.25 – caractéristiques du chariot utilisée application 2

3.7.8 Résolution application 2

- Allée de gerbage :
- $AST = 1\,935 + 385 + 1\,000 + 200 = 3\,520$ mm soit 3,52 m
- Surface de stockage :
- $S_{STO} = [(0,1 + 1,2 + 0,1) \times (0,1 + 1 + (3,52/2))] \times (15\,000/4) = 15\,015$ m²
- Allée de circulation :
- $S_{TECH} = (200 + 900 + 400) \times 1,2 = 1\,800$ m²
- Proportion des allées de circulation : $(1\,400/14\,000) \times 100 = 10$
- $S_{AC} = [0,1 \times (15\,015 + 1\,800)] / (1 - 0,1) = 1\,868,33$ soit environ 1 870 m²

- Surface totale :
- $S_{TOT} = 15\,015 + 1\,870 + 1\,800 = 18\,685 \text{ m}^2$
- Surface d'agrandissement :
- $S_{AG} = 18\,685 - 14\,000 = 4\,685 \text{ m}^2$

3.8 Gestion des quais d'entrepôt

La gestion des quais est fondamentale en entrepôt. Elle permet d'optimiser les processus de chargement et déchargement des camions afin de fluidifier les arrivées et départs de marchandises. Quelles sont les problématiques rencontrées par les chefs d'entrepôt dans ce domaine ? Comment gérer les arrivées et départs de camions de manière optimale ? État des lieux et conditions à respecter pour une gestion des quais optimisée.

3.8.1 Gestion des quais en entrepôts : comment trouver le bon timing ?

En entrepôt, la gestion des quais consiste à trouver la meilleure organisation pour réduire les temps d'attente des camions. Une mission primordiale en matière de respect des délais de livraison. En effet, la gestion des quais a un impact sur la gestion des déchargements de marchandises et chargements de colis à expédier.

Plus l'occupation du quai est courte, moins les temps d'attente pour y accéder sont longs. Il faut donc à tout prix éviter qu'un camion soit bloqué sur un quai de chargement si l'on veut optimiser les délais de livraison.

3.8.2 L'occupation des quais au cœur des opérations

Pour que la planification des opérations à quai soit optimale, les chefs d'entrepôt doivent avoir de la visibilité sur :

1. la disponibilité des quais de chargement et déchargement à l'instant T ;
2. l'occupation actuelle des quais et leur horaire prévisionnel de disponibilité ;
3. l'usage possible d'un quai pour un approvisionnement ou un départ en livraison à une heure donnée.

Pour disposer d'une telle visibilité en temps réel sur les opérations en cours et à venir, les responsables d'entrepôt ont besoin d'outils développés spécifiquement à cet effet. Objectif : gérer toujours plus efficacement l'occupation des portes et l'attribution des quais disponibles.

travail simplifié avec le WMS

Les solutions Supply Chain WMS développée par plusieurs entreprises, les chefs d'entrepôt peuvent visualiser l'occupation des quais en temps réel. L'outil leur offre également une vision opérationnelle des flux entrants et sortants sur un quai, afin notamment de prioriser les missions sur l'ensemble de la chaîne. Il est ainsi possible de libérer un quai au plus vite afin d'accueillir dans les meilleurs délais un camion à charger ou décharger.

La fonction « gestion des quais » intégrée au Warehouse Management System (WMS) permet :

1. de piloter les opérations à quai ;
2. de visualiser en temps réel l'occupation de chaque quai, tant au niveau des zones avant chargement que des portes ;
3. de connaître les disponibilités pour affectation de nouvelles missions ;
4. d'être informé sur le type d'affectation (réception/expédition) en cours et ses détails (numéro de tournée, fournisseur/destinataire, quantité UT) ;
5. d'afficher les opérations planifiées.

3.8.3 Détermination du nombre de quais

Le nombre de quais disponible dans un entrepôts jouera un rôle essentiel dans la fluidité des opérations de chargement et déchargement dans un entrepôt. Pour déterminer le nombre de quais nécessaire dans un entrepôt il va falloir prendre en considération plusieurs informations à savoir :

- Le volume des produits transitant par l'entrepôt (taux d'arrivées et de sorties)
- le taux de service ou la capacité de chargement et de déchargement
- Et du volume /unité de manutention dans les camions

le nombre de quais à prévoir est donné donc par l'expression suivante :

$$N = \frac{D * H}{C * S}$$

Où :

- N : Est le nombre de quais,
- D : Est la volume à charger et décharger par jour,
- H : Est le temps requis pour charger ou décharger un camion,
- C : Est la capacité d'un camion,
- S : Est le temps disponible pour le chargement et le déchargement par jour.

Exercice d'application

Un entrepôt reçoit et expédie environ 500 palettes par jour. Il gère le flux d'entrée/sortie d'environ :

- 17 camions en livraison ce qui est équivalent à 200 palettes par jour
- 12 camions en expédition soit 300 palettes par jour
- L'accueil d'un camion et sa prise en compte prend environ 3mn15s
- Le chargement d'une palette prend 1mn50s
- Le déchargement d'une palette prend 2mn5s
- La libération du quai prend 1mn20s
- Le temps d'ouverture de l'entrepôt est de 8h/jour. La réception se fait le matin et les expéditions le début de l'après midi

Question : Calculer le nombre de quais à prévoir dans le cas où les quais sont banalisés et dans le cas où les quais sont dédiés

Résolution le nombre de palettes par camion à l'arrivée est de $\frac{200}{17} = 12$
Calcul de temps complet d'occupation d'un quai par livraison

Opérations	temps
Accueil du véhicule	00 :03 :15
Déchargement de 12 palettes	00 :25 :00
Libération du quai	00 :01 :20
Temps d'une livraison	00 :29 :35
Temps total livraison	08 :22 :55

le nombre de palettes par camion à au départ est de $\frac{300}{12} = 25$
Calcul de temps complet d'occupation d'un quai par livraison

Donc dans le cas où on a considéré que les quais sont banalisés le nombre

Opérations	temps
Accueil du véhicule	00 :03 :15
Chargement de 25 palettes	00 :45 :50
Libération du quai	00 :01 :20
Temps d'une expédition	00 :50 :25
Temps total livraison	10 :05 :05

de quais nécessaire est de :

$$N = \frac{18.5}{8} = 2.31$$

quais soit 3 quais.

Donc dans le cas où on a considéré que les quais sont dédiés le nombre de quais nécessaire pour la livraison est de :

$$N = \frac{8.5}{4} = 2.1$$

quais soit 3 quais.

le nombre de quais nécessaire pour l'expédition est de :

$$N = \frac{10.12}{4} = 2.53$$

quais soit 3 quais. donc on a besoin de 6 quais en total.

3.9 Aménagement des entrepôts

En tant que responsable logistique, optimiser l'aménagement de votre entrepôt est l'un de vos principaux objectifs. Comment rentabiliser votre centre ? Que faire pour maximiser votre capacité de stockage ? Suivez les conseils de nos professionnels et profitez de chaque mètre carré disponible :

3.9.1 Tirez profit de votre hauteur sous plafond

Si la surface de stockage votre centre ne vous suffit plus, et que vous avez besoin de plus d'espace, avant une possible extension du bâtiment, pensez à augmenter votre capacité de stockage verticale. Une solution moins coûteuse, et tout aussi bénéfique, pour un réaménagement, mais aussi pour une nouvelle construction. Voici les techniques que vous pouvez mettre en place afin d'optimiser l'aménagement de votre entrepôt :

Choisissez des rayonnages plus hauts

Si vous manquez de surface, choisissez des rayonnages industriels avec plus de niveaux pour entreposer vos marchandises. Cependant, avant de les installer, il est important que vous teniez compte de :

- La structure de votre entrepôt : la disposition de ses poutres, de ses colonnes, etc.
- Des normes de sécurité à appliquer dans votre installation.
- Des restrictions de levage de vos engins de manutention.
- Du temps additionnel nécessaire pour extraire vos charges en hauteur.

Optez pour une structure autoportante si vous construisez un nouveau centre

La structure autoportante est la solution idéale pour optimiser l'aménagement de votre entrepôt. Chaque mètre cube est dédié à l'entreposage : les rayonnages constituent la structure métallique qui supporte le bâtiment.

Vous pourrez envisager cette solution si vous construisez un nouveau centre. Notez que la plupart des installations autoportantes sont entièrement automatisées, les charges peuvent ainsi être levées jusqu'à 40 mètres de haut, sans que les engins de manutention ne représentent un frein.

Installez des mezzanines et des passerelles

Si votre processus de préparation de commandes occupe une place importante au sein de votre exploitation, ou que vous avez besoin d'accéder directement aux marchandises, les mezzanines industrielles et les passerelles sont les solutions idéales. De plus, grâce à la construction de ces étages vous pourrez tirer profit de la hauteur de votre centre. Notez que cette solution est la plus utilisée dans les entrepôts appliquant la méthode du Man to Goods, entreposant une grande variété de produits, et dont la demande est flexible.

Réduisez la largeur de vos allées ou utilisez des solutions de stockage par accumulation

Si vous réduisez la largeur de vos allées, vous devrez adopter des engins de manutention adaptés afin que vos opérateurs circulent en toute sécurité. Ainsi, pour réduire les risques d'incidents, vous pouvez automatiser certains processus et faire appel à des machines telles que les transstockeurs, ou bien aussi à :

- Des solutions de stockage par accumulation seules ou avec des systèmes automatiques, exemple : l'association parfaite des rayonnages par accumulation et du Pallet Shuttle.
- Des palettiers mobiles, dont l'ouverture des allées est motorisée grâce à des bases qui se déplacent une par une, et latéralement sur des rails ancrés dans le sol.

Optimisez votre stock

Parfois, un mauvais aménagement d'entrepôt peut être lié à un manque d'organisation des stocks ; que faire pour optimiser votre gestion ? Voici les conseils des professionnels :

- Évaluez votre méthode d'adressage : utilisez-vous les bons critères d'affectation pour vos marchandises ? Il est important que vous analysiez votre technique afin de la corriger si nécessaire. Notez qu'avec l'arrivée des logiciels de gestion d'entrepôt et de la numérisation de l'information, vous pouvez désormais mettre en place la méthode du « stockage banalisé » et améliorer l'aménagement de votre entrepôt.
- Détectez vos stocks obsolètes et supprimez-les : n'oubliez pas que les références qui restent trop longtemps immobilisées dans votre centre,

contribuent à l'augmentation de votre coût de stockage. C'est pourquoi, il est primordial que vous preniez les mesures adéquates pour que vos stocks obsolètes ne deviennent pas un problème chronique qui limite la capacité de votre installation.

De nombreuses entreprises ont choisi ces solutions pour optimiser l'aménagement de leur entrepôt sans agrandir leurs installations. Si vous souhaitez qu'un professionnel analyse votre centre et vous donne des conseils personnalisés, n'hésitez pas à contacter nos experts.

3.10 Méthodes de planification des aménagements fonctionnels des entrepôts

3.10.1 Méthodes quantitatives

les méthodes qualitatives d'organisation des entrepôts ont basées généralement sur l'intensité de circulation des produits entre les différentes zone d'un entrepôt. L'objectif est la minimisation des coûts de déplacement entre les zones d'entrepôts.

$$\min \sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} C_{ij} \times X_{ij}$$

Où :

- C_{ij} est le coût de déplacement entre la zone i et j
- X_{ij} est le nombre de déplacement ente la zone i et j

3.10.2 Méthodes qualitative

Systematic lay-out planning : méthode basée sur le critère de proximité

Exercice d'application :

on considère la configuration d'une zone de stockage comme présentée par la figure 3.26. X étant le comptoir des ventes. La distance entre X et P = 3 mètres. La distance entre X et O = 3 mètres. La distance entre P et N = 3 mètres. La distance entre O et M = 3 mètres. La distance entre deux références voisines est de 3 mètres. (Exemple : entre comptoir et A = 24 mètres, entre comptoir et H = 15 mètres.). Il faut 5 secondes pour manipuler 10 colis (1 voyage). La vitesse de manutention pour transporter les colis de leur emplacement jusqu'au comptoir est de 4 km/h. La durée de travail journalière est de 8 heures. Les fréquences de sortie sont données par jour. Chaque semaine contient 5 jours et le mois quatre semaine.

Questions :

1. Combien de personnes doivent travailler dans cet entrepôt ?
2. Faites une analyse critique de l'actuelle configuration de la zone de stockage
3. En optimisant, combien faut-il de personnes dans cet entrepôt ?

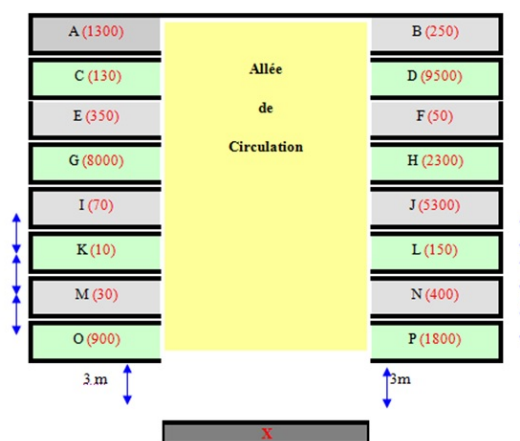


FIGURE 3.26 – aménagement actuel de la zone de stockage

Après calcul des temps nécessaire pour la déplacement de l'ensemble de la marchandise on constate qu'on a besoin de 4 personnes dans cette entrepôt. On constate aussi, que les produits ayant un taux de sortie élevé ne sont pas proche de la sortie et donc il faut revoir l'actuelle configuration. la figure 3.27 la nouvelle configuration et après calcul on on aura besoin de deux personnes pour cette configuration.

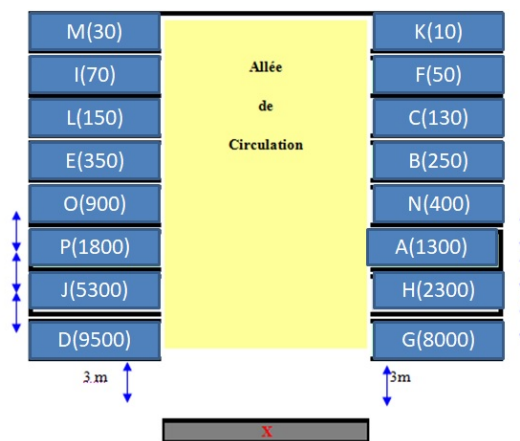


FIGURE 3.27 – la nouvelle configuration de la zone de stockage

3.11 Phase de réception

La réception dun produit passe par :

- L'identification de la marchandise
- Le contrôle documentaire
- Le contrôle de Qualité à travers :
- Les techniques de prélèvements
- L'analyse des causes des rebuts
- La gestion des rebuts
- Le choix d'une politique d'inventaire
- Le calcul de valeur en stock

Identification

Le but de l'opération d'identification réside dans caractérisation et reconnaissance des articles. Une bonne caractérisation des articles permet la détermination de :

- Moyens de conditionnement
- Détermination du lieux de stockage
- Le personnel concerné
- L'identification peut être réalise à l'aide des systèmes automatisés
- Numéro de bordereau de livraison
- Numéro de la commande fournisseur
- Les références des articles livrés
- Le nombre de palettes à la réception
- Les coordonnées du destinataire et de l'expéditeur
- Désignation et quantité du produit

Le but est d'identifier et de situer tout produit dans l'entrepôt en accolant à chaque produit un code que ce soit numérique ou alphanumérique :

- Exemple de code à barre :
- Tags RFID

Il existe divers types de code-barres. Le code le plus utilisé est le code EAN (European Article Numbering) à 13 ou 8 chiffres. Leur ordonnancement n'est pas aléatoire, car certains chiffres informent sur la provenance des produits.

Malgré le fait que certains producteurs tendent à inscrire le pays de production directement sur l'emballage d'un produit, beaucoup rechignent à le faire de peur de dissuader l'acheteur. Pour ne pas se faire avoir, il faut analyser les trois premiers chiffres du code-barres. Ils représentent l'indicateur du pays dans lequel le produit a été fabriqué. La figure 3.28 illustre un cas de code à barre.

dans les systèmes de codes à barres on destingue pour chaque code on distingue 4 éléments :

- Le caractère d'identification
- Le numéro d'identification du fabricant
- Le numéro de code d'article
- Le numéro de contrôle

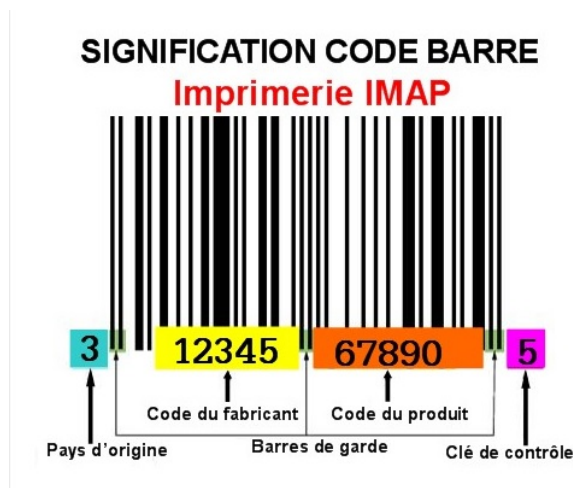


FIGURE 3.28 – Exemple de code à barre

une autre décomposition peut être la suivante : on prend le code à barre M212O12T20129.

- M : fabriqué au Maroc,
- 212(code de l'entreprise),
- O(ordinateur),
- 2 (dimension niveau 2),
- T (Tanger),
- 2012(année de fabrication),
- 9 (numéro de lot)

Le système RFID

La radio-identification, le plus souvent désignée par le sigle RFID (de l'anglais radio frequency identification), est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes » (« RFID tag » ou « RFID transponder » en anglais)¹.

Les radio-étiquettes sont de petits objets, tels que des étiquettes autoadhésives, qui peuvent être collés ou incorporés dans des objets ou produits et même implantés dans des organismes vivants (animaux, corps humain²). Les radio-étiquettes comprennent une antenne associée à une puce électronique qui leur permet de recevoir et de répondre aux requêtes radio

émises depuis l'émetteur-récepteur. Ces puces électroniques contiennent un identifiant et éventuellement des données complémentaires. Les puces RFID (figure 3.29) ont les caractéristiques suivantes :

- ils disposent d'un Microprocesseur
- Ils ont une mémoire pour sauvegarder les informations
- ils disposent des Émetteurs-récepteurs
- doté de la capacité d'écriture et effacement des étiquettes par des systèmes spécifiques

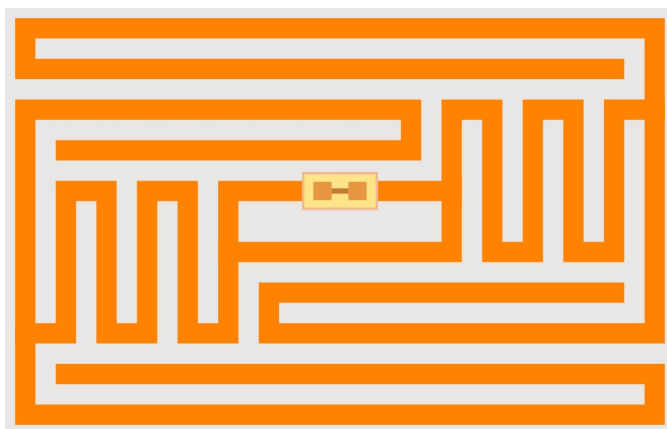


FIGURE 3.29 – Exemple de TAG RFID

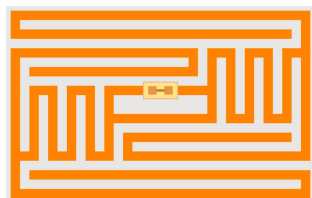


FIGURE 3.30 – Légende

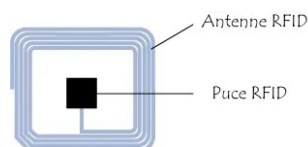


FIGURE 3.31 – Légende

Le contrôle de réception

C'est une étape fondamentale car elle permet de comparer les produits reçus et les produits commandés : en terme de références, de caractéristiques, de quantité et de qualité. Généralement les éléments à vérifier sont :

- La présence de tout les éléments du produit
- Les dommages causés par le transport
- Les dimensions de la marchandise
- Les matériaux
- Le fonctionnement

- La performance
- Conformité entre les produit livrés et ceux demandés

Le contrôle est la mise en place d'une politique de vérification permettant d'accepter ou refuser un lot de produits. Les techniques de contrôle les plus répondues sont :

- Acceptation par échantillonnage
- La politique la plus sûre est de vérifier les produits à 100%
- Une deuxième politique est basée sur l'échantillonnage
- Acceptation du lot sans inspection

La politique la plus sûre est de vérifier les produits à 100% dans le cas des produits :

- composant extrêmement critique (sécurité)
- coût très élevé

acceptation par échantillonnage :

- contrôle destructif (flash)
- coût d'inspection 100% très élevé
- inspection 100% impossible
- erreurs d'inspection élevées
- le passé du fournisseur est bon acceptation des lots sans inspection
- fournisseur sérieux

Contrôle par échantillonnage :

Un plan d'échantillonnage consiste à définir une règle de décision aboutissant au rejet ou à l'acceptation du lot. Il est défini par :

- type du contrôle (comptage ou mesurage)
- procédure de prélèvement (plan simple, double, multiple, progressif)
- effectif de (des) l'échantillon
- relation entre résultats et décision

les éléments intervenant dans le choix du plan sont :

- nature du caractère contrôlé (qualitatif, quantitatif)
- importance des risques admis
- la quantité des lots (une décision erronée est plus grave pour des lots importants que pour des petits)
- information que l'on a sur la qualité habituelle
- coût du contrôle : coût direct qui dépend de la taille d'échantillon, et coût indirect lié à la présence d'individus non conformes dans les lots acceptés ;

Type de contrôle :

Dans tous les cas, il s'agit de contrôler la proportion d'individus non conformes. On distingue deux types de contrôle :

- Contrôle par comptage ou par attributs : à la suite du contrôle d'un ou plusieurs caractères, qualitatifs ou quantitatifs, les individus sont classés "conformes" ou "non conformes". Le contrôle concerne la proportion de non conformes ou le nombre moyen de non conformités par unité.
- Contrôle par mesurage : le caractère observé est une grandeur mesurable pour laquelle existent une ou deux limites de tolérance, les individus hors tolérance étant considérés comme non-conformes.

Contrôle par échantillonnage :

Les étapes fondamentales de ce type de contrôle sont :

- Identification des lots à contrôler
- Élaboration du protocole ou politique de prélèvement pour assurer les conditions optimales de prise de décision
- La prise de décision et la finalisation de la démarche (acceptation ou refus des produits)

Ce type de contrôle est pratiqué :

- Lors d'une livraison de la part d'un fournisseur
 - Avant l'entrée des produits au magasin
 - Avant de livrer des produits à un clients
 - Entre deux opérations de traitement, emballage, stockage, production
- Objectifs :**
- Prise de décision rationnelle
 - Classification des fournisseurs en fonction de la qualité de leurs services

Contrôle par échantillonnage : Protocole de prélèvement

Protocole de prélèvement consiste à mettre en évidence les points suivants 3.32

- Le nombre de prélèvement à réaliser : k
- La quantité de pièces à prélever à chaque fois, taille de prélèvement n_i avec $i = 1 \dots k$
- Le schéma de décision pour chaque prélèvement donner le couple (A_i, R_i) tel que A_i : limite d'acceptation et R_i limite de refus **La démarche de prélèvement :**
- Détermination du mode opérationnel
- Fréquences des prélèvements
- Les règles de travail

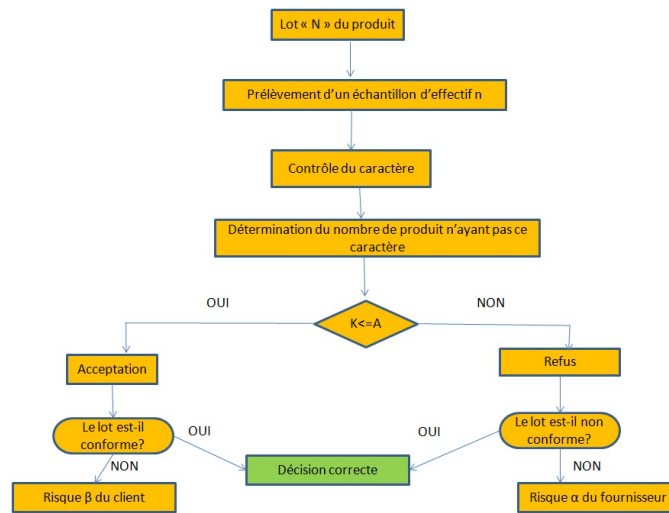


FIGURE 3.32 – Le schéma d'un contrôle par échantillonnage

3.11.1 Les plans de contrôle

Il existe plusieurs plans de contrôle parmi les plus répandus en citera :

- Le plan simple
- Le plan double
- Le plan multiple
- Le plan progressif

La question capitale est de savoir quelles sont les valeurs appropriés à chaque paramètre d'un contrôle. Il faut aussi établir un protocole d'accueil d'information et en extraire les plus influentes. C'est un accord d'échange appelé accord partenarial (AP).

Accord partenarial (AP) :

L'accord partenaria est un 4-uplets $(NQA, NQL, \alpha, \beta)$ où :

1. NQA : le niveau de qualité acceptable, il représente le pourcentage toléré de pièces défectueuses (niveau de qualité acceptable par le fournisseur)
2. NQL : le niveau de qualité limite, représente le pourcentage limite toléré de pièces défectueuses (le pourcentage toléré par le client)
3. α : le risque producteur c'est la probabilité de rejeter un lot de qualité acceptable
4. β : le risque consommateur, c'est la probabilité d'accepter un lot de qualité inacceptable

le plan simple

Dans un plan simple 3.33 on a :

- Un seul prélèvement, $k = 1$
- n : la taille de l'échantillon
- Un couple de décision (A, R) avec comme hypothèse $R = A + 1$

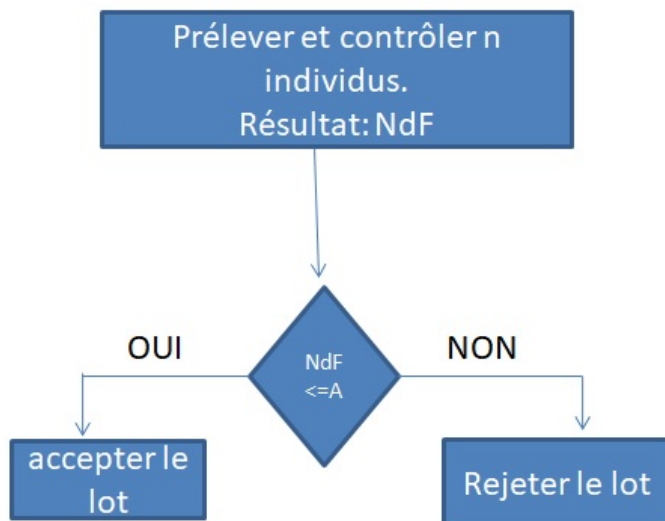


FIGURE 3.33 – Le schéma d'un plan de contrôle simple

le schéma aléatoire du plan simple En partant d'un raisonnement probabiliste on peut établir que la variable NdF suit une loi normale :

$$NdF \sim N(NQA, \sigma_{NQA} = \sqrt{\frac{NQA * (1 - NQA)}{n}})$$

Dans des cas trop rares cette variable se trouve centrée non pas sur NQA mais sur NQL

$$NdF \sim N(NQL, \sigma_{NQL} = \sqrt{\frac{NQL * (1 - NQL)}{n}})$$

3.11.2 Les paramètres d'un contrôle simple

les paramètres les plus important d'un contrôle simple sont :

$$L = NQA + |U_{1-\alpha}| * \sqrt{\frac{NQA * (1 - NQA)}{n}}$$

$$L = NQL - |U_{\beta}| * \sqrt{\frac{NQL * (1 - NQL)}{n}}$$

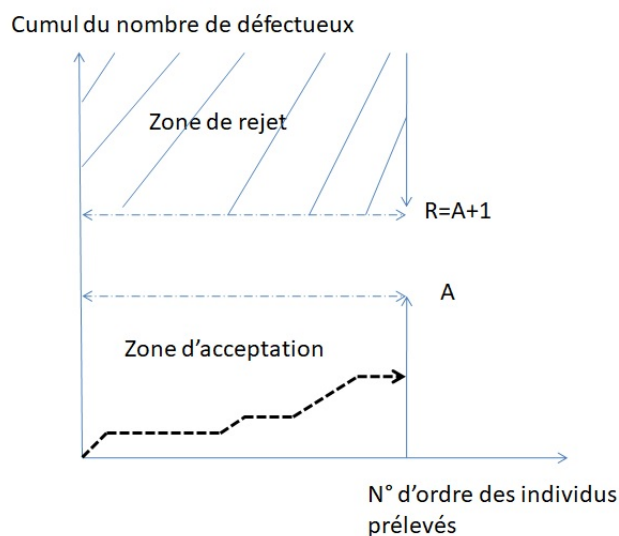


FIGURE 3.34 – Le schéma aléatoire d'un plan de contrôle simple

$$n = \frac{|U_{1-\alpha}| * \sqrt{NQA * (1 - NQA)} + |U_{\beta}| * \sqrt{NQL * (1 - NQL)}}{NQL - NQA}$$

$$A = \text{int}[n * L]$$

$$L = A + 1$$

Exemple d'application :

Un essai correspond à un contrôle de réception dont les caractéristiques sont :

- N = 80
- A = 5, R=6
- V(1,80,5,6)
- NQA = 2,5%, NQL = 12%, $\alpha = 3\%$ et $\beta = 7\%$.

questions :

Calculer la probabilité $Pa = P(NdF \leq A)$

On considère un deuxième plan de contrôle V1(1,200,20,21), V2(1,50,10,11)

Calculer la probabilité d'acceptation Pa pour les trois plan de contrôle pour NQA = 2.5, 5.5, 8.5, 12.5

Solution :

La détection est plus visible avec le plan V car le risque fournisseur α passe de 2% pour un lot respectant l'AP (NQA=2.5%) à $\alpha = 38\%$ si la qualité reçue double à NQA = 5.5%

NQA	V(1,80,5,6)	V1(1,200,20,21)	V2(1,50,10,11)
2,5%	0,98	1	1
5,5%	0,62	1	1
8,5%	0,24	0,78	1
12,5%	0,05	0,14	0,95
16,5%	0,01	0,01	0,75

FIGURE 3.35 – solution de l'exercice

Contrôle double

le schéma d'un contrôle double est le suivant :

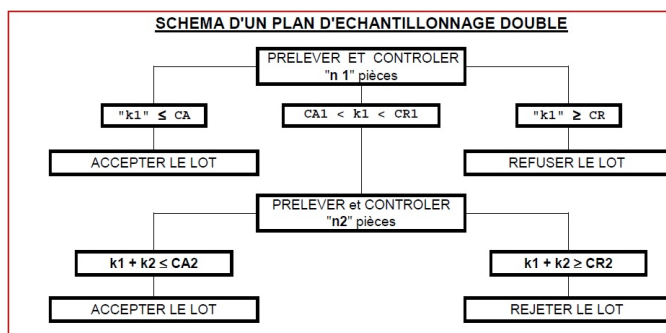


FIGURE 3.36 – le schéma d'un contrôle double

Contrôle progressif

Ce contrôle part de l'hypothèse que plusieurs prélèvements sont nécessaires avec la contrainte de traiter une pièces à la fois. Si on a h prélèvements $n_1 = n_2 = \dots = n_h = 1$ Calculer le nombre de défauts, défectueux cumulés, $NdFc$. Pour chaque n on prend une décision connaissant :

- Le niveau de rejet $B_n : NdFc \geq B_n$
- Le niveau d(acceptation $A_n : NdFc \leq A_n$
- La plage d'incertitude $A_n, B_n : A_n \leq NdFc \leq B_n$

Si on obtient un $NdFc \geq B_n$ on rejette le lot Si on obtient un nombre $NdFc$ inférieur à A_n on accepte le lot Sinon on continue le prélèvement jusqu'à une certaine limite N_k , dans ce cas c'est la première bissectrice qui permettra de trancher :

- Au dessus on rejette
- Au dessous on accepte

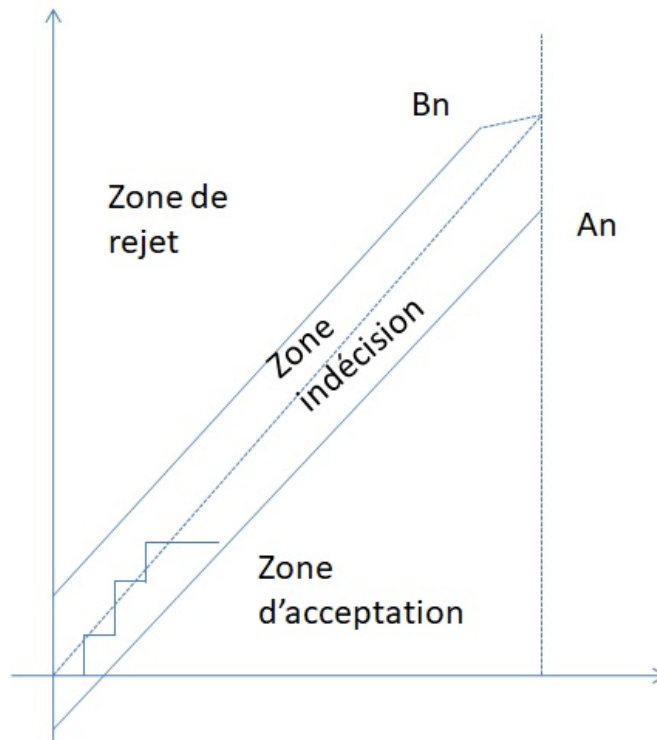


FIGURE 3.37 – le schéma d'un contrôle progressif

principe mathématique du contrôle progressif :

Ce système est équivalent à un teste d'hypothèse de deux hypothèses H_0 suppose que la proportion de pièces défectueuses, p , du lot étudié est inférieure à p_0 . L'autre hypothèse H_1 , considère que cette proportion est supérieure à une valeur p_1 .

- $H_0 : p \leq p_0$
- $H_1 : p \geq p_1$ Avec $p = \%NdF$
- $P_0 = NQA$
- $P_1 = NQL$

Les limites d'un contrôle progressif

les limites d'un contrôle progressif sont données par :

$$A_n = -g_0 + n * k$$

$$g_0 = \frac{\ln(\frac{1-\alpha}{\beta})}{\ln(\frac{p_1}{p_0}) + \ln(\frac{1-p_0}{1-p_1})}$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + \ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}$$

$$B_n = g_1 + n * K$$

$$g_1 = \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + \ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}$$

le processus de réception peut être présenté comme le montre la figure 3.11.2

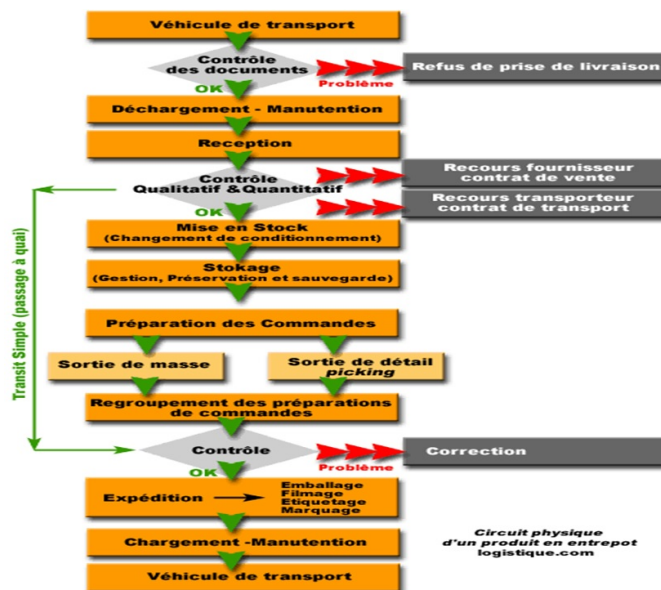


FIGURE 3.38 – le schéma du processus de réception

Exercice contrôle et réception :

Un fabricant de produits métalliques a commandé des tiges d'un diamètre de 30mm avec une imprécision (tolérance) de $\mp 0.5mm$. Il applique un protocole de contrôle de qualité d'entrée, à la réception des produits avec prélèvement et une décision de refus dans le cas où 2 produits défectueux sont détectés. Une vingtaine d'échantillon de 20 tiges chacun a été prélevée et mesurée, dont voici les résultats :

Questions :

Quel lot doit-il être accepté ? En remettant en cause le décision, à savoir 2 pièces défectueuses au maximum, et en admettant que le lot reçu contient en moyenne 2.5

1	29.55	11	29.37
2	30.22	12	30.37
3	30.55	13	30.18
4	30.05	14	29.58
5	30.45	15	30.28
6	30.00	16	29.95
7	29.67	17	30.00
8	29.92	18	30.00
9	30.08	19	29.88
10	29.62	20	29.56

FIGURE 3.39 – Exercice 2

Bibliographie

- [1] Michel Roux, "Entrepôts et magasins : Tout ce qu'il faut savoir pour concevoir une unité de stockage". 6ème édition, 2015, Eyrolles.
- [2] Lionel Amodeo et Farouk Yalaoui, " Logistique interne : Entreposage et manutention", Technosup, ISBN 2-7298-2489-8. 2005, Ellipse.