



**UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN FACULTE
DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ÉLECTRIQUE ET
ÉLECTRONIQUE**



**Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master
En Génie Industriel**

Spécialité : chaîne logistique

Réalisé par :

MOKRANI Dahmane

THEME

**Optimisation des dimensions d'une classe dans un AS/RS 3D
avec une politique de stockage par classe**

Devant les jurys :

Président	S. KOULOUGHLI	MCA	UABB Tlemcen
Encadrant	L. GHOMRI	MCA	UABB Tlemcen
Co-Encadrant	A. RIMOUCHE	MCB	UABB Tlemcen
Examineur	H.N. BESSENOUCI	MAA	UABB Tlemcen

Année universitaire 2020-2021

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents, que dieu me les garde,

À mes frères et sœurs,

Et à tous ceux que j'aime.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame GHOMRI Latèfa (Maître de conférences à l'Université de Tlemcen). Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie vivement monsieur RIMOUCHE Ali, Maître de conférences à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté de travailler avec nous.

Je suis profondément reconnaissant à madame KOULOUGHLI Sihem (Maître de conférences à l'Université de Tlemcen) pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Nous remercions vivement monsieur BESSENOUCI Hakim Nadhir, Maître assistant à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi.

Enfin, je remercie mes amis qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

MOKRANI Dahmane

Table des matières

Liste des figures.....	6
Liste des tableaux	7
Introduction Générale	8
Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage	12
1.1 Introduction :.....	13
1.2 Définition d'un système de stockage automatisé AS/RS, sa fonction, ses avantages et inconvénients :	13
1.2.1 Définition :.....	13
1.2.2 Fonction :.....	14
1.2.3 Les composantes d'un AS/RS :.....	15
1.2.4 Terminologies :	15
1.2.5 Avantages d'un AS/RS :.....	18
1.2.6 Inconvénients :	19
1.3 Différents types d'AS/RS :.....	20
1.3.1 Les AS/RS à profondeur unitaire :	20
1.3.1.1 Les AS/RS à charge unitaire :.....	20
1.3.1.2 Les AS/RS multi-allées :.....	21
1.3.1.3 Les AS/RS à racks glissants :	21
1.3.2 Les AS/RS à profondeur multiple :	22
1.3.2.1 Les AS/RS à convoyeurs gravitationnels (forme de base) :.....	24
1.3.2.2 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels ou le bi-directional flow-rack AS/RS :	25
1.3.2.3 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine :.....	27
1.3.2.4 L'AS/RS à convoyeurs rotatif ou motorisé :.....	28
1.4 Méthodologies de stockage :.....	29
1.4.1 Stockage dédié :	29
Avantages :	29
Inconvénients :	30
1.4.2 Stockage aléatoire :.....	30
1.4.3 stockages par classes :	31
1.4.3.1 Turnover :.....	31

1.5 Conclusion.....	33
Chapitre 2 : Détermination des dimensions d'une classe dans un AS/RS	34
2.1 Introduction :.....	35
2.2 Méthodologie de stockage :.....	35
2.3 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à charge unitaire :.....	35
2.3.1 Affectation aléatoire :.....	36
2.3.2 Affectation en fonction du turnover :.....	37
2.3.3 L'approximation continue du rack :.....	38
2.3.4 Affectation stockage par classe :.....	41
2.4 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel a un seul machin S/R :.....	43
2.5 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel forme de base :.....	47
2.5.1 Formulation :.....	48
2.5.2 Modélisation :.....	49
2.5.2.1 Approche discrète :.....	49
2.5.2.2 Approche contenue :.....	50
2.6 conclusions :.....	52
Chapitre 3 : Dimensions optimales de la classe I	53
3.1 Introduction :.....	54
3.2 Les domaines de temps pour les mouvements de la machine S/R	54
3.2.1 Domaines de $E1$:.....	54
3.2.2 Domaines de $E2$:.....	54
3.2.3 Domaines de $E3$:.....	55
3.3 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans la première classe :.....	58
3.4 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans la deuxième classe :.....	58
3.5 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans un rack suit une méthodologie de stockage par deux classes :.....	62
3.6 Les dimensions optimales de la première classe :.....	62
3.6.1 Formulation du problème :.....	62
3.7 Conclusion :.....	64
Conclusion Générale.....	65
Références.....	67
Résumé.....	68

Liste des figures

Figure 1. 1 Vue générale d'un AS/RS prise du site de l'entreprise otsestanteria	14
Figure 1. 2 Vue générale d'un casier de stockage prise du site de l'entreprise gravittax	15
Figure 1. 3 Colonnes de casier prise du site de l'entreprise redirack.....	16
Figure 1. 4 Vue de ligne de stockage prise du site de l'entreprise stockage-by-clozal.....	16
Figure 1. 5 Une allée séparant deux racks de stockage prise du site de l'entreprise provost	17
Figure 1. 6 Une machine de stockage/déstockage prise du site de l'entreprise systemconception	17
Figure 1. 7 AS/RS à charge unitaire prise du site de l'entreprise daifuku-logisticssolutions.....	20
Figure 1. 8 Vue générale d'un AS/RS multi allées	21
Figure 1. 9 Vue générale d'un AS/RS à racks glissants	22
Figure 1. 10 comparaison entre système de stockage 2D et 3D	23
Figure 1. 11 AS/RS à convoyeurs gravitationnels forme de base.....	25
Figure 1. 12 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels forme de base vue de coté	25
Figure 1. 13 AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels.....	26
Figure 1. 14 AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine	27
Figure 1. 15 AS/RS à convoyeurs rotatif ou motorisé.....	28
Figure 1. 16 Stockage dédié.....	29
Figure 1. 17 Stockage aléatoire.....	30
Figure 1. 18 stockage par classe.....	31
Figure 2. 1 Représentation discret d'un rack de stockage	36
Figure 2. 2 Représentation continue d'un rack de stockage	38
Figure 2. 3 Représentation continue de temps de déplacement du la machine S/R dans un rack de stockage	39
Figure 2. 4 La courbe ABC.....	40
Figure 2. 5 Représentation continue dimensions de la première classe dans rack de stockage.....	41
Figure 2. 6 Représentation continue dimensions de la première classe dans rack de stockage 3D	46
Figure 2. 7 représentation discrète de la face du rack	50
Figure 2. 8 représentation contenue de la face du rack	51
figure 3. 1 la position de la classe	55

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 Pourcentage d'amélioration de l'affectation basée sur le turnover par rapport à l'affectation aléatoire.	40
Tableau 2. 2 représente dimensions optimale de la premier classe.....	42
Tableau 2. 3 les dimensions optimales de premier classe dans un rack 3D	46
Tableau 3. 1 les doumaine obtenus en comparent les variable th1, th2, tv1, tv2 dans chaque expressons E_i	56
Tableau 3. 2 les dimensions optimales de la première classe pour chaque valeur de s et m.....	63

Introduction Générale

Introduction générale

Les AS/RS sont des systèmes automatisés pour le stockage et le déstockage, ils sont de plus en plus utilisés dans des systèmes de production et warehousing. Avec les ventes en ligne, les systèmes de production et de distribution deviennent de plus en plus indispensables. Les AS/RS sont des systèmes très chers et très complexes il faut les exploiter de manière optimale et il y a plusieurs manières pour les exploiter efficacement. Parmi ces manières d'exploitation il faut trouver la meilleure méthodologie de stockage, c'est-à-dire comment choisir l'emplacement le plus approprié pour chaque produit. Parmi les méthodologies de stockage il y a : le stockage aléatoire, l'avantage de cette méthodologie de stockage qu'elle est simple et en plus elle exploite de la manière la plus optimale possible l'espace de stockage, par contre son inconvénient est la nécessité d'un système de contrôle très puissant, en plus elle n'optimise pas le temps moyen de stockage. Donc le temps moyen de déstockage n'est pas optimisé avec la méthodologie aléatoire. Nous pouvons ensuite trouver le stockage dédié, alors le stockage dédié est rigide n'est pas très flexible, son avantage est que chaque produit a sa propre place donc il 'a un accès facile et ça ne nécessite pas un système de contrôle complexe, par contre le temps moyen pour déstocker un produit n'est pas optimisé de cette manière parce que l'emplacement de déstockage est basé sur le type de produit a stocké. La méthodologie la plus efficace est une combinaison un peu des deux méthodologies précédentes, c'est la méthodologie de stockage par classe. Cette méthodologie consiste à stocker chaque produit selon son turnover. Le turnover est la fréquence de stockage et déstockage d'un produit par unité de temps. La méthodologie de stockage par classe consiste à diviser l'espace de stockage en plusieurs classes dans chaque classe les produits sont stockés aléatoirement mais en fonction de leur turnover c'est à dire que les produits ayant le turnover le plus grand sont classés de telle sorte que leur temps de stockage et déstockage soit le plus petit. Les produits qui ayant un turnover moyen sont classés dans la classe de telle sorte que leur temps moyen de stockage/déstockage soit moyen. Les produits qui ont le turnover le plus petit sont stockés dans la classe où le temps moyen de stockage/déstockage soit le plus grand. Cette méthodologie de stockage est très efficace parce qu'elle combine les avantages des méthodologies de stockage à la fois, le stockage aléatoire parce que le stockage à l'intérieur de la classe les produits sont stockés d'une manière aléatoire, en plus le stockage dédié parce que l'espace de stockage est partagé en classe.

Beaucoup d'auteurs se sont intéressés à la définition des dimensions d'une classe dans différentes configurations des AS/RS. Le premier travail concernant l'AS/RS à charge unitaire et des travaux ressemblent concernent les AS/RS profondes, ce qu'il y a de commun entre ces travaux c'est que le système comporte une seule station d'entrée sortie ceci facilite énormément la définition des AS/RS. Dans ce travail nous nous intéressons à la définition des dimensions d'une classe dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel classique, ce qui rend cette tâche difficile c'est que l'AS/RS à convoyeur gravitationnel classique comporte trois stations importantes :

- La station de repo de la machine sr qui est placée au centre de rack.
- La station d'entrée sortie qu'est placée coin bas gauche de rack.
- Le convoyeur de restockage qu'est placé au coin bas droite de rack.

Et donc pour cette configuration d'AS/RS nous essayons de définir les dimensions optimales de la première classe, cette classe est un rectangle qu'est au milieu de rack et donc pour définir les dimensions de la classe une il faut définir quatre variables ceci rend le modèle complexe à établir. Nous avons profité d'une estimation de la position de la classe, ceci nous a permis d'avoir une idée a priori de la position de cette classe, ensuite nous avons modélisé le temps moyen de déstockage dans la classe 1, et le temps moyen de déstockage dans la classe 2, ceci nous a conduit à un temps moyen de déstockage global de système. Ce modèle a été optimisé afin de trouver les dimensions optimales de la classe 1.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Dans le chapitre 1 nous allons donner des définitions des AS/RS partiellement les AS/RS profonde 3D. Nous allons définir les méthodologies de stockage ainsi que la courbe abc et la quantité économique.

Dans le chapitre 2 nous allons présenter en détail deux modèles de la littérature concernant la définition des dimensions optimales de la classe une dans les AS/RS à savoir le travail de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976) qui a traité l'AS/RS à charge unitaire et le travail de (Yu et de Koster 2009a) qui a traité l'AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine.

Le chapitre 3 comporte la contribution de ce mémoire et donc dans le chapitre 3 nous allons présenter le modèle de temps moyen de simple cycle quand qu'il s'agit de méthodologie de stockage

par classe, ce modèle va être optimisé afin de trouver les dimensions optimales de la classe 1. Nous terminerons ce mémoire par une conclusion et des perspectives.

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter le cadre général de notre projet de fin d'études. Nous commencerons par une présentation générale des AS/RS, leurs différentes configurations physiques, comment ils fonctionnent, leurs composantes. Nous passerons après à une notion très importante pour ce travail, il s'agit de la définition des trois méthodologies de stockage les plus connus et en particulier le stockage par classes qui est une notion fondamentale pour ce travail. Enfin nous présenterons deux définitions relatives au stockage par classes, qui sont la définition de la EOQ (Economic Order Quantity), et la définition de la courbe ABC.

1.2 Définition d'un système de stockage automatisé AS/RS, sa fonction, ses avantages et inconvénients :

1.2.1 Définition :

Les systèmes de stockage et de déstockage automatisés, sont parfois appelé ASRS ou AS/RS, et se composent de divers systèmes contrôlés par un microordinateur, qui stockent et déstockent automatiquement des charges à partir des emplacements définis dans une installation précisément et rapidement. Ils sont mis en service depuis les années 60, ce sont des systèmes de stockage capables de fournir un accès aléatoire à tous les charges stockées.

Un AS/RS est définie par Tompkins & White en 1984 dans leur livre "Facilities Planning" come ceci: « Automated storage and retrieval systems (AS/RS) are a combination of equipment and controls which automatically handles, stores and retrieves materials with great speed and accuracy » (Tompkins et White 1984).

La (figure 1.1) schématise une vus général d'un AS/RS dans un entrepôt.

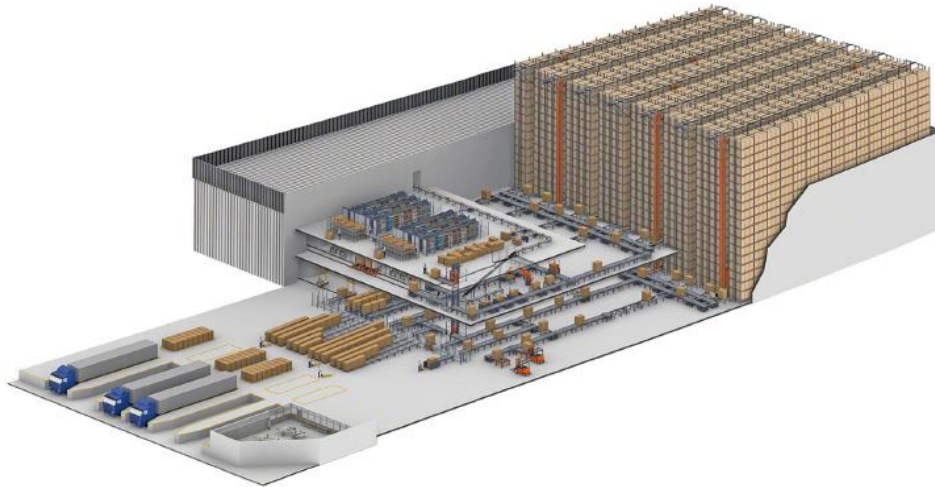


Figure 1. 1 Vue générale d'un AS/RS prise du site de l'entreprise otsestanteria

1.2.2 Fonction :

Le développement dans le domaine des AS/RS a pour objectif de minimiser l'intervention humaine dans devers opérations du la manutention des produits, des pièces, des palettes, des matières premières et même des outils stockés. De cette manière, il réduit significativement les risques d'erreurs, le risque de manipulation, de contrôle de l'attention ou d'interférence des personnes dans des environnements dangereux. L'AS/RS a pour fonction de recevoir, identifier, classer, mettre en stock, déstocker..., des produits.

En règle générale, Un système de stockage automatisé quel que soit son type, doit être capable de réaliser automatiquement les opérations suivantes :

- Le stockage et déstockage des charges unitaires dans un casier.
- Le déplacement des charges unitaires entre la station E/S et le point Stockage/déstockage
- La récupérer et dépôt des charges unitaires dans la station E/S.

Toutes ces opérations sont contrôlées par un système informatisé de commande et de supervision, pour assurer le bon fonctionnement du système, et son suivi.

1.2.3 Les composantes d'un AS/RS :

Il existe Différents types d'AS/RS qui sont cités dans la littérature, ou qui sont implémentés dans des environnements industriels. Chaque type a ses propres composants. Mais il y a des composantes importantes et donc communes à tous les types, Nous les citons ci-après :

- Des racks composés de casiers, ces derniers peuvent êtres à profondeur unitaire ou multiple. Les casiers sont les supports des charges.
- Des machines de stockage/déstockage, Utilisé pour porter les charges entre la station d'entrée/sortie et les casiers de stockage/déstockage et vis-versa.
- Des stations d'entrées/sorties, Utilisé pour déposer les charges à stocker et récupérer les charges a déstocké.
- Un système de contrôle, utilisé pour la supervision et de commande en assurant le bon fonctionnement du système.
- Des allées sue lesquelles circulent les machines S/R.

1.2.4 Terminologies :

Nous définissons dans ce paragraphe les différents termes relatifs au domaine des AS/RS

Casier : le casier, C'est un espace tridimensionnel qui peut supporter (contenir) une seule charge unitaire (unit-deep) ou une série de charges (multi-deep).



Figure 1. 2 Vue générale d'un casier de stockage prise du site de l'entreprise gravittax

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

- Colonne : Une collection de casiers disposés les uns sur les autres constituent une colonne.



Figure 1. 3 Colonnes de casier prise du site de l'entreprise redirack

- Ligne : Une collection de casiers disposés les uns à côté des autres constituent une ligne.



Figure 1. 4 Vue de ligne de stockage prise du site de l'entreprise stockage-by-clozal

- Allée : L'allée est un chemin prédéfini (couloir), sur lequel circulent les machines S/R

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage



Figure 1. 5 Une allée séparant deux racks de stockage prise du site de l'entreprise provost

- Modules de stockage : Ce sont des palettes ou des conteneurs de forme et de taille standard, aptes à être placés dans un casier, où les articles à stocker sont ranger.
- Machine S/R : la machine de stockage/déstockage (Storage/Retrieval machine, S/R machine) C'est un appareil qui effectue l'opération de stockage/déstockage. Dans la plupart des cas, la machine a deux mouvements possibles, ce qui lui permet de se déplacer librement verticalement et horizontalement pour atteindre tous les casiers.

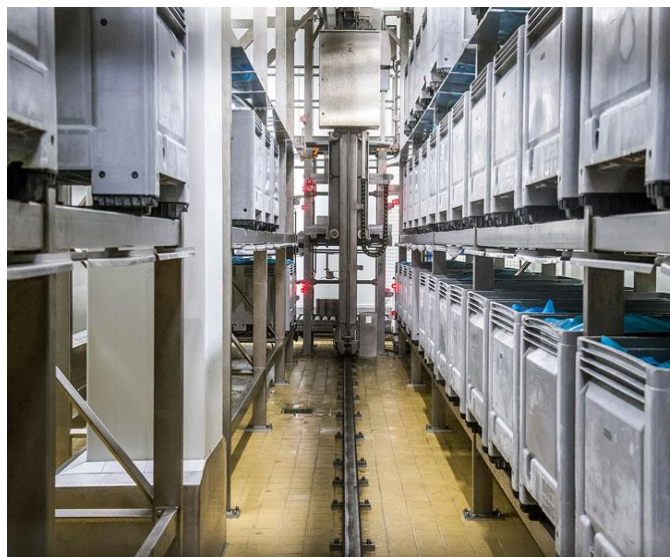


Figure 1. 6 Une machine de stockage/déstockage prise du site de l'entreprise systemconception

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

- Les stations d'entrées/sorties : les stations E/S ou entrées/sorties ou stations de dépôt/livraison (Pickup/Delivery stations) Ce sont les principaux points par lesquels transitent tous les articles entrant et sortant de system. Le point entré est le point par lequel l'objet à stocker accède à l'AS/RS, et le point sorti c'est le point par lequel l'objet à déstocker est livré. Ces deux points peuvent être sous la forme de deux stations distinctes, ou ils peuvent être combinés en une seule station.
- Temps moyen de cycle : Le temps moyen de cycle c'est la durée moyenne du temps séparant la date de début d'une opération de stockage/déstockage et la date de fin de cette opération. Notant que dépendant des configurations physiques un temps moyen de double cycle peut être défini. Ce temps ne peut pas être défini dans la configuration que nous étudions dans ce travail. Pour cette raison, nous désignons toujours temps de **simple** cycle par le terme temps de cycle.

1.2.5 Avantages d'un AS/RS :

Un AS/RS a plusieurs avantages, nous citons ci-après quelques-uns :

- Economisé de l'espace : un AS / RS peut réduire considérablement l'espace de stockage par rapport au stockage classique afin que l'espace libéré puisse être utilisé pour augmenter la capacité de stockage.
- Gestion et un contrôle des stocks améliorés : grâce au système de contrôle de l'AS/RS, l'état du système est accessible à tout moment. Des informations comme la quantité des produits dans le système, leurs dates de réception, là où ils sont stockés, la date d'expiration, les opérations d'inventaire et de recensement sont accessible rapidement.
- Réduction des temps de réponse : Puisque l'utilisateur exécute automatiquement l'opération de stockage/déstockage dès qu'il lance l'un de ces deux processus, le système de contrôle fait en sorte que la machine S/R va prendre le chemin le plus court possible en minimisant le temps de cycle grâce à sa connaissance de toutes les informations relatives aux produits.
- Réduction des stocks : Avec une meilleure gestion et un meilleur contrôle des stocks et un temps de réponse plus rapide, il est possible de réduire la quantité de produits en stock.

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

- Réduction des risques de rupture de stocks : Avec une meilleure gestion et un meilleur contrôle des stocks qui peuvent être existé, les ruptures de stocks sont pratiquement inexistantes, ou si c'est inévitable, ils ont une courte durée de vie.
- Réduction de la main d'œuvre : il est clair que l'utilisation d'un système de stockage/déstockage automatisé va diminuer considérablement la main d'œuvre. Parce que toutes les tâches qui existent sont exécutées automatiquement grâce à l'automatisation de système ce qui implique de diminuer les tâches manuelles qui autrefois été réalisées par des opérateurs humains.
- Diminution des coûts de fonctionnement : le fait de disposer d'AS/RS vas réduire la main d'œuvre, la quantité de produits en stock etc., ce qui implique une diminution considérable de coût de fonctionnement (payes, assurances, congés payés, coût de stockage...).
- Augmentation de la sécurité : En minimisant l'intervention humaine dans la zone de stockage, le risque d'accidents et d'erreurs de manutention peut être considérablement réduit. Ces systèmes sont conçus comme des zones séparées et fermées, améliorant ainsi la sécurité des installations environnantes et pouvant contenir des produits dits dangereux d'une manière plus sûre.
- Réduction de la détérioration : l'AS/RS dispose de système de contrôle et de logiciel efficace. Ceci aide à réduire considérablement les inconvénients de la gestion classique, de sorte que la péremption des produits et leur débordement technique sont très rares. Il réduit aussi le risque de dommages des objets pendant leur manipulation par des opérateurs.

1.2.6 Inconvénients :

Bien que les AS/RS présentent d'innombrables avantages, ils présentent également des inconvénients en termes de leurs caractéristiques par rapport aux systèmes de stockage traditionnels. Nous citons deux de ces inconvénients en ci-après.

- En raison de la complexité et de la rigidité de leur structure, les AS / RS reste des équipements difficiles à modifier.

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

- L'investissement initial est très élevé. Par exemple, pour un AS/RS de 10000 casiers, 5 machines S/R et un convoyeur de 60 m, l'investissement initial varie entre 2 et 3 millions de Dollars US (Maleki 1991).

1.3 Différents types d'AS/RS :

Il existe plusieurs types d'AS/RS dans la littérature, Mentionné dans divers articles de la communauté scientifique. La diversité de ces systèmes est due à leur structure de système et à leurs différences architecturales ainsi qu'à leurs domaines d'application. On peut les classer en deux catégories :

- Les AS/RS classiques a profondeur unitaire (Unit-deep).
- Les AS/RS a profondeur multiple (Muli-deep).

1.3.1 Les AS/RS à profondeur unitaire :

Cette catégorie d'AS/RS est caractérisée par le fait que chaque casier est utilisé pour le stockage d'une seule charge. Dans cette classe d'AS/RS nous pouvons trouver les types suivants :

1.3.1.1 Les AS/RS à charge unitaire :

Ce système se compose de plusieurs machines S/R (figure 1.7), et une série des casiers en parallèle, d'où chaque pair des racks est séparé par un couloir qui permet à la machine S/R de déplacer entre le rack pour réaliser son objectif qu'est de stocker ou déstocker les charges unitaires. Le nombre de machines est lié au nombre de couloir d'où chaque couloir a sa propre machine S/R.



Figure 1. 7 AS/RS à charge unitaire prise du site de l'entreprise daifuku-logisticssolutions

1.3.1.2 Les AS/RS multi-allées :

La multi-allée est une variation de l'AS/RS à charge unitaire (figure 1.8). C'est toujours la même architecture, une série de racks en parallèle, chaque paire des racks est séparée par un couloir, la seule différence est que ce système se compose d'une seule machine S/R qui a la fonction de servir tous les casiers.

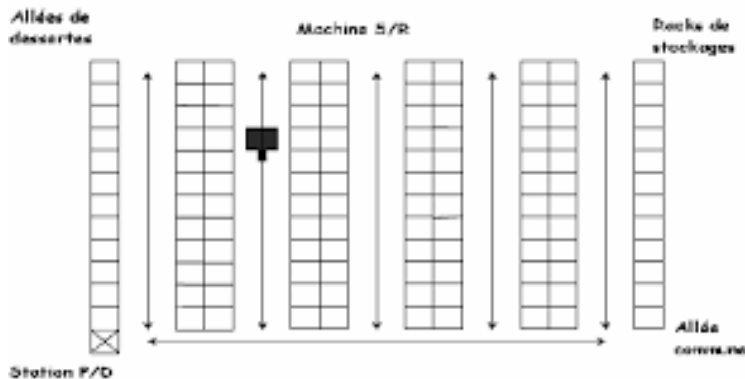


Figure 1. 8 Vue générale d'un AS/RS multi allées

1.3.1.3 Les AS/RS à racks glissants :

L'AS/RS à racks glissants est une variation de l'AS/RS multi allées (figure 1.9). Il est construit pour économiser l'espace. Dans cette configuration un seul couloir est ouvert à la fois, pour permettre à la machine d'accéder aux casiers. Pour accéder à d'autres casiers dans un couloir différent, ce dernier doit s'ouvrir par glissement des racks.



Figure 1. 9 Vue générale d'un AS/RS à racks glissants

1.3.2 Les AS/RS à profondeur multiple :

Les AS/RS à profondeur multiple (multi-Deep) sont des systèmes de stockage tridimensionnels (3D) multi-profondeurs, également appelés systèmes de stockage compacts ou à très haute densité. Qui ont été introduits dans le but d'améliorer l'exploitation de l'espace au sol. Les entreprises (Retrotech, 2006 ; Westfalia, 2006) utilisent ce type d'AS/RS. Ce type d'AS/RS se compose d'un ou plusieurs racks profonds distribués verticalement et horizontalement donnant un seul rack sous forme d'un cube 3D comme dans (figure 1.10). Dans ce type d'AS/RS le nombre de machines SR est réduit jusqu'à deux machines au maximum pour un système. Chaque unité de charge peut être accessible automatiquement et individuellement, grâce à une machine de stockage/déstockage et à un mécanisme de déplacement en profondeur, d'où la machine SR se charge pour le mouvement horizontal et vertical des charges unitaires et les convoyeurs pour le mouvement en profondeur.

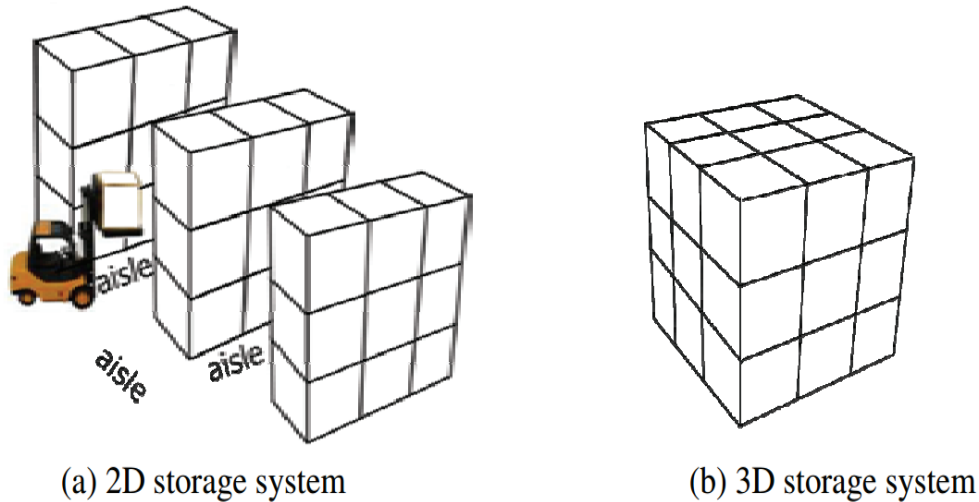


Figure 1. 10 comparaison entre système de stockage 2D et 3D

- Le stockage de charges unitaires dans des systèmes Multi-Deep permet d'économiser de l'espace dans les allées de systèmes AS/RS classiques. La durée totale du trajet S/R peut donc être plus courte que dans un système classique.
- La construction de systèmes de stockage compacts en 3D pour les charges unitaires (palettes, bacs, conteneurs, etc.), permet d'économiser beaucoup d'espace et de réduire la taille des entrepôts à des systèmes de stockage plus petit, c.-à-d. qu'ils permettent de réduire les coûts d'investissement et d'exploitation (Gue et Kim 2007).
- L'automatisation complète de ces systèmes implique qu'ils peuvent fonctionner 24 heures sur 24. Par conséquent, ces systèmes peuvent réduire les coûts grâce à leur productivité élevée, à l'économie d'espace et à la réduction de la main-d'œuvre (Yu et de Koster 2009a).
- En fonction de la configuration, un système de stockage compact nécessite environ 40 à 50 % d'espace en moins par rapport aux systèmes de stockage traditionnels pour accueillir le même nombre d'unités de chargement (Zaerpour 2013).
- Les mécanismes de déplacement en profondeur peuvent fonctionner indépendamment et simultanément pour le pré positionnement des emplacements vides et les charges à déstocker, tandis que la machine S/R s'occupe d'autres tâches. Ceci permet de minimiser le temps de cycle par rapport aux systèmes classiques.

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

Il existe plusieurs type d'AS/RS multi-deep et compact dans la littérature, qui sont mentionnés dans plusieurs études menées par des équipes de scientifiques et reposent sur de meilleures conceptions de systèmes dans l'industrie aujourd'hui. Beaucoup de ces systèmes sont liés à des structures architecturales et à une variété de structures et de domaines d'application. Ci-dessous, nous allons citer ceux que nous avons trouvé dans la littérature :

1.3.2.1 Les AS/RS à convoyeurs gravitationnels (forme de base) :

D'un point de vue technique, l'AS/RS à convoyeur gravitationnel c'est un système très complexe car il possède une architecture caractéristique qui combine une densité de stockage élevée, un accès facile à toutes les charges et un nombre de machines S/R relativement bas, soit une machine au lieu de deux machines. Cette configuration d'AS/RS (figure 1.11) est un AS/RS à convoyeurs gravitationnels à deux machines S/R, c'est le premier AS/RS qui a été introduit dans son genre et qui appartient à la famille des AS/RS compacts et multi-Deep. Il se compose de plusieurs casiers profonds distribués verticalement et horizontalement qui forment un rack 3D. Ce système se compose de deux faces opposées, une face pour le stockage où se trouve la machine de stockage et la station d'entre, et une face de déstockage où se trouve la machine de déstockage et une station de sortie en plus d'un convoyeur de restockage. Les casiers de ce système sont inclinés de la face de stockage vers la face de déstockage. Les charges unitaires sont stockées par la face du stockage avec la machine de stockage, elles glissent à l'intérieur du casier d'un bout vers l'autre jusqu'à rencontrer la dernière charge stockée ou bien la fin du casier (figure 1.12). Alors que l'opération de déstockage d'une charge unitaire qui se trouve en profondeur à l'intérieur d'un casier, il suffit de déstocker les charges unitaires qui l'ont précédé une à une grâce à la machine de déstockage, et de les mettre sur le convoyeur de restockage pour qu'elles atteignent la machine de stockage, afin qu'elles soient restockées encore une fois. Cette opération se répète à chaque fois qu'on désire déstocker une charge unitaire qui se retrouve à l'intérieur d'un casier. Cette opération rend toutes les charges unitaires accessibles par la machine de déstockage afin qu'elles soient ainsi déstockées.

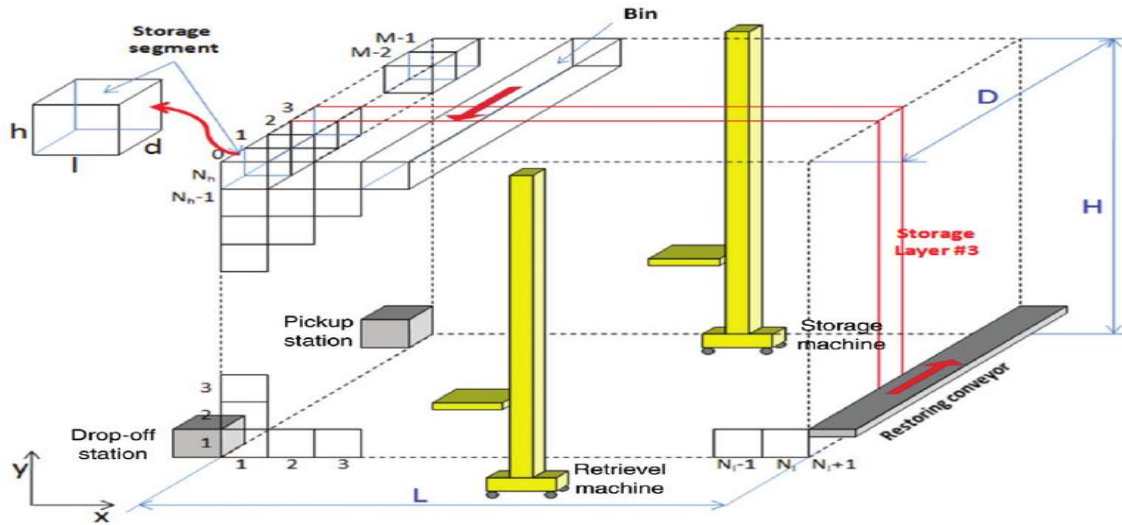


Figure 1. 11 AS/RS à convoyeurs gravitationnels forme de base



Figure 1. 12 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels forme de base vue de côté

1.3.2.2 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels ou le bi-directional flow-rack AS/RS :

Cette configuration d'AS/RS (figure 1.13) a été inventée et breveté par (Southeast University 2013) c'est l'AS/RS bi-directional flow-rack. C'est une innovation pour les AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base. Il appartient à la famille des AS/RS compact et multi-Deep. Il se compose de plusieurs casiers profonds distribués verticalement et horizontalement qui construiront un rack 3D, ces casiers sont inclinés a deux côtés opposés. Ce system se compose de deux faces opposées, chaque face à son propre machine S/R pour le stockage et le déstockage et une station

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

d'entrée/sortie. Chaque machine S/R se charge des mouvements dans les directions horizontale et verticale. Elle prend les charges unitaires dans la station d'entrée/sortie qui est sur la même face pour les stocker dans un casier de stockage ou les déstocke d'un casier de déstockage pour les conduire vers la station d'entrée/sortie. Chaque produit qu'est stocké par une machine S/R sera déstocké par l'autre machine S/R sur l'autre face.

En plus du fait qu'en peut lancer les deux opérations de stockage et déstockage en même temps dans l'AS/RS à convoyeurs gravitationnels forme de base, dans l'AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels en peut même lancer deux opérations de stockage ou deux opérations de déstockage en même temps. Pour cette raison, l'AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels peut éviter l'attente des tâches.

Dans le cas de déstockage d'un produit qui se trouve au milieu de casier. Contrairement à l'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base, l'AS/RS convoyeurs gravitationnels bidirectionnels ne nécessite pas un convoyeur de restockage. Car la structure des casiers opposé permet à la machine S/R de restocker les charges unitaires dans le casier de stockage le plus proche à condition qu'il y'aura de la place vide dans ce casier. Cette opération permet de conduire les charges unitaires qui se trouvent au milieu de casier vers le casier de déstockage plus vite que dans l'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base donc elle permet de minimiser le temps cycle de la machine S/R pour le déstockage d'un produit.

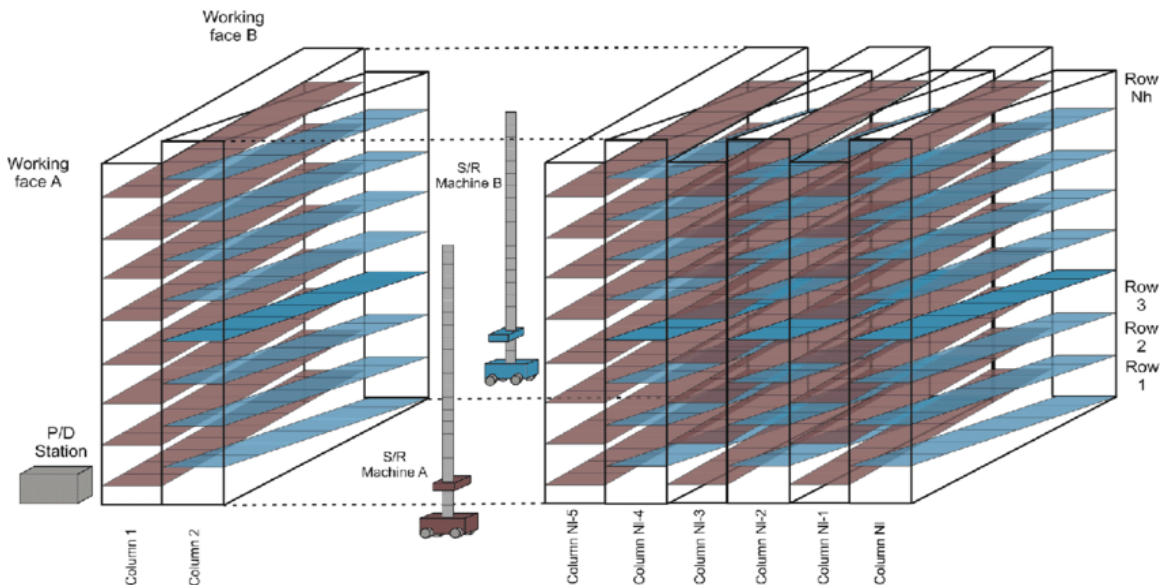


Figure 1. 13 AS/RS à convoyeurs gravitationnels bidirectionnels

1.3.2.3 L'AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine :

Cette configuration d'AS/RS est représentée sur la (figure 1.14). C'est un AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine S/R. Elle a été introduite dans le domaine des systèmes de stockage automatisés par (Sari et Bessenouci 2012). C'est un système compact, il se compose d'un rack de stockage 3D, un point d'Entrée/Sortie, d'une machine S/R et de convoyeurs orthogonaux fonctionnant par paires et responsables du déplacement en profondeur. Ses casiers sont sous la forme de la lettre U et ne sont pas de forme parallélépipédique. Chaque casier est constitué de deux segments. Les opérations de stockage et de déstockage dans chaque casier se font sur la même face mais dans deux segments différents. Le segment qui se trouve au-dessus pour le stockage et l'autre bac pour le déstockage. Les charges unitaires entrent et sortent du système via la station d'entrée/sortie et sont stockées dans le rack. Les charges unitaires peuvent circuler vers la profondeur de rack puis elles retournent vers la face du rack à l'aide des convoyeurs commandés par gravité.

La machine S/R se charge des mouvements dans les directions horizontale et verticale. Elle prend les charges unitaires dans la station d'entrée/sortie pour les stocker dans un segment de stockage ou les déstocker d'un segment de déstockage pour les conduire vers la station d'entrée/sortie.

Ce type d'AS/RS nécessite un élévateur. Ce dernier s'occupe de déplacer les charges unitaires du segment de déstockage vers le segment de stockage dans le même casier, cette opération permet de conduire les charges unitaires qui se trouvent au milieu de casier vers la face de déstockage pour les déstocker avec la machine S/R.

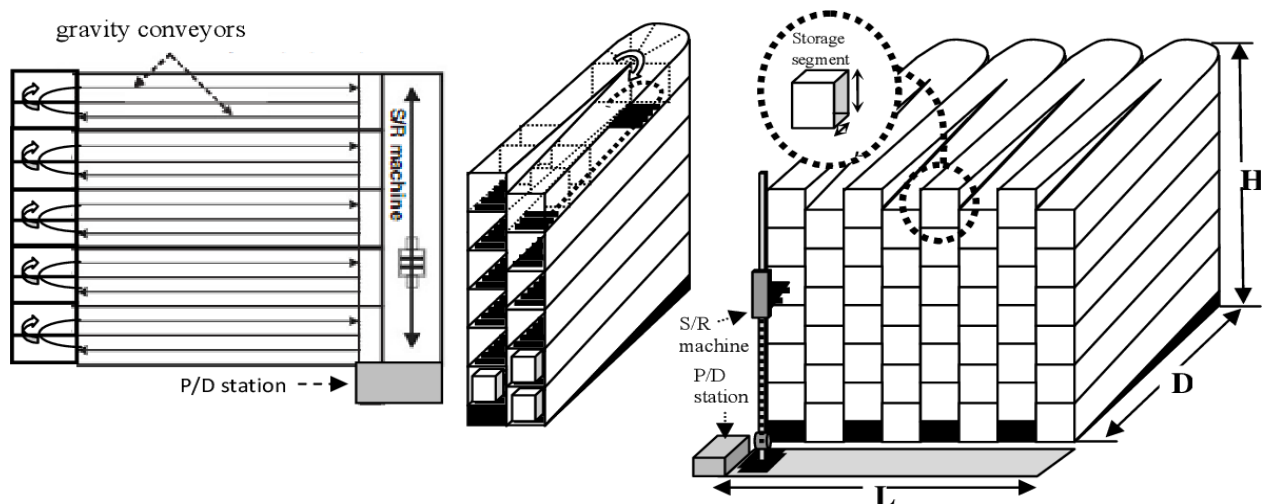


Figure 1. 14 AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine

1.3.2.4 L'AS/RS à convoyeurs rotatif ou motorisé :

Cette configuration d'AS/RS est représenté sur la (figure 1.15), C'est un AS/RS à convoyeurs rotatifs à une machine S/R. C'est un système compact, Se compose de plusieurs racks profonds distribués verticalement et horizontalement qui forment un rack 3D, une station d'Entrée/Sortie, d'une machine S/R et de convoyeurs orthogonaux fonctionnant par paires et responsables du déplacement en profondeur. Chaque casier est constitué de deux segments. Les opérations de stockage et de déstockage dans chaque casier se font dans la même face mais dans deux segments défèrent un segment pour le stockage et l'autre segment juste à côté pour le déstockage. Les charges unitaires entrent et sortent du système via la station d'entrée/sortie et sont stockées dans le rack. Les charges unitaires peuvent circuler vers la profondeur de rack puis elles retournent vers la face du rack à l'aide des convoyeurs rotatif motorisé.

La machine S/R se charge des mouvements dans les directions horizontale et verticale. Elle prend les charges unitaires dans la station d'entrée/sortie pour les stocker dans un segment de stockage ou les déstocker d'un segment de déstockage pour les conduire vers la station d'entrée/sortie.

Contrairement à l'AS/RS à convoyeurs gravitationnels à une seule machine l'AS/RS à convoyeurs rotatif ne nécessite pas un élévateur ; car les convoyeurs de ce système sont alimentés par des moteurs pour les mouvements relatifs. Pour déstocker une charge unitaire dans ce système le moteur vas tourner le convoyeur jusqu'à ce que la charge désirée aille arriver à la position de déstockage. Le temps de stockage d'une charge unitaire peut être plus long que dans le cas des convoyeurs par gravité, car les convoyeurs motorisés peuvent avoir besoin de plus de temps pour faire tourner un emplacement vide vers la position de stockage.

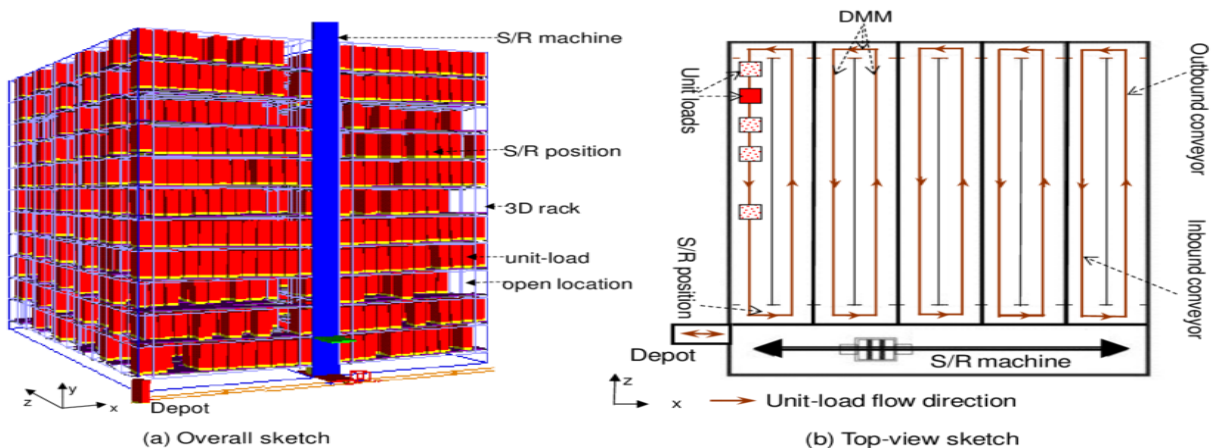


Figure 1. 15 AS/RS à convoyeurs rotatif ou motorisé

1.4 Méthodologies de stockage :

Dans les systèmes de stockage et déstockage automatisé il existe trois méthodologies de stockage ; à savoir : le stockage dédié, le stockage aléatoire et le stockage par classes.

- Dans le stockage dédié, chaque type de produit possède sa propre aire de stockage.
- Dans le stockage aléatoire, le stockage des produits se fait de manière aléatoire. Ce cas, nécessite un système de commande complexe pour mémoriser les emplacements de tous les produits, pour pouvoir les récupérer, ainsi que les emplacements libres.
- Dans le stockage par classe le stockage des produits est une combinaison des deux méthodologies précédentes. Les produits sont stockés aléatoirement dans chaque classe.

1.4.1 Stockage dédié :

Dans le stockage dédié (figure 1.16), l'espace de stockage est partagé en blocs, chaque type de produit a sa propre place déterminée en avance.

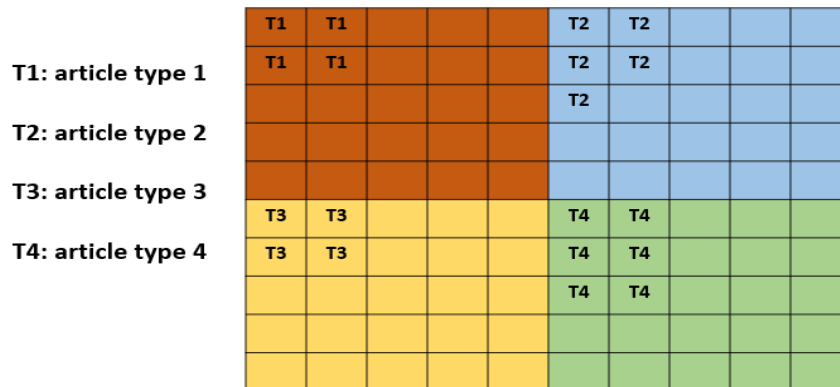


Figure 1. 16 Stockage dédié

Avantage :

- Chaque produit a sa propre place déterminée à l'avance ce qui simplifie la commande du système.
- La quantité de chaque produit peut être contrôlée visuellement donc il nécessite une gestion de stock simple
- Chaque zone de stockage peut être conçue pour stocker les produits correspondants (casiers de taille variables, allées plus ou moins larges, ...)

Inconvénients :

- Les systèmes qui utilisent le stockage dédié occupent beaucoup d'espace car Dans chaque bloc on peut stocker seulement les produit de même type. Chaque produit a une quantité maximale déterminé en avance
- La somme des stocks maximum de chaque produit est supérieure au stock maximum de tous les produits. Étant donné que l'inventaire maximal de chaque produit est environ le double de l'inventaire moyen, le taux de remplissage du système de stockage sera relativement faible.
- Les systèmes qui utilisent un stockage dédié sont difficiles à modifier (moins de flexibilité): l'ajout de nouveaux produits qui ne sont pas prévus à l'origine est très compliqué.

1.4.2 Stockage aléatoire :

Contrairement au stockage dédié, dans le stockage aléatoire (figure 1.17), n'importe quel produit peut être stocké dans n'importe quel casier. Les produits ont la même probabilité d'être stockée dans l'un des emplacements du rack. Un système de contrôle élaboré garde en mémoire les adresses de chaque type de produit. Le stockage aléatoire a pour principal avantage d'utiliser beaucoup moins d'espace que le stockage dédié. L'espace total de stockage devant être équivalent au stock maximum de tous les produits. Ceci permet une réduction importante d'espace. (Askin et Standridge 1993) Présente un exemple de stockage aléatoire où le gain d'espace par rapport au stockage dédié est de l'ordre de 40%. Cependant, les systèmes de stockages aléatoires nécessitent un contrôle très élaboré.

	T1		T4						
T1: article type 1					T3		T2		
T2: article type 2			T5	T1		T4			T4
T3: article type 3	T5	T3			T1				
T4: article type 4		T4		T2	T5		T2	T3	T2
T5: article type 5			T2			T3		T4	
	T5				T4	T1			T5
			T1		T3			T2	
				T5			T5		T1
			T3		T2				T4

Figure 1. 17 Stockage aléatoire

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

1.4.3 Stockages par classes :

Le stockage aléatoire permet de réduire l'espace de stockage par rapport au stockage dédié. Le stockage par classes (figure 1.18) s'attaque au temps de cycle. Il a été démontré que, par rapport au stockage aléatoire, le stockage par classe peut réduire le temps de déplacement de la machine S/R en stockant les produits à forte rotation plus près du point d'entrée/sortie et les produits qui restent plus longtemps sont placés loin du point d'entrée/sortie. « Des réductions du temps de cycle peuvent atteindre 40% » (Askin et Standridge 1993). Les produits dans un AS/RS ne restent pas stockés la même durée. Le rendement du système peut être grandement amélioré. Le stockage par classe subdivise les casiers en classes par rapport à leurs distances du point de livraison. Les casiers les plus proches formant la première classe, les plus loin formant la dernière. Les produits à stocker sont aussi classés suivant le temps qu'ils vont passer dans le système. Ceux qui restent le moins longtemps seront stockés dans la première classe et ceux qui restent le plus longtemps dans la dernière.

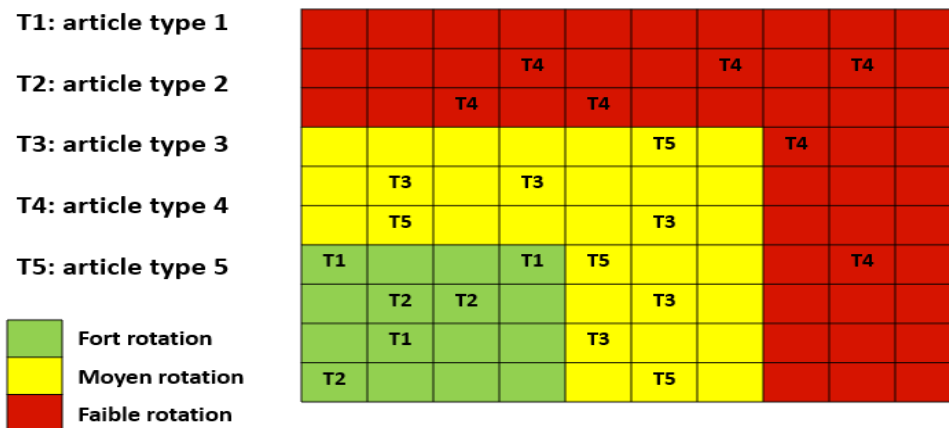


Figure 1. 18 stockage par classe

Le stockage par classe se base sur le paramètre turnover qui est la fréquence à laquelle les produits sont stockés et déstockés dans le système de stockage.

1.4.3.1 Turnover :

« Le turnover de chaque produit est connu et constant dans le temps » (Hausman, Schwarz, et Graves 1976b) . Le turnover est le nombre de fois qu'un produit donné doit être stocké et déstocké

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

au cours d'une période donnée (un jour, un mois, une année, etc...). Il est l'inverse de la durée moyenne de stockage de ce produit.

Les racks et les produits sont divisés en K classes basées respectivement sur les temps de déplacement de la machine S/R unidirectionnels et le turnover.

Dans l'article qui a été publié par (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a), une estimation générale de la distribution de la rotation des produits en utilisant le phénomène ABC a été utilisée. Le modèle EOQ de base (La Quantité Economique de commande) a aussi été pour déterminer la distribution du turnover. La formule (1) ci-après représente le turnover du produit stocké dans le casier j/

$$\lambda(j) = (2s/K)^{1/2} j^{(s-1)/(s+1)} \quad 0 < j \leq 1 \quad (1)$$

avec:

s : c'est l'asymétrie de la courbe ABC.

K : c'est le rapport entre le coût de la commande et le coût de stockage de La EOQ.

j : c'est l'emplacement de produit dans le AS/RS.

1.4.3.2 L'analyse ABC :

L'analyse ABC classe tous les produits d'un stock en fonction de leur contribution à la demande totale, les produits "A" représentant les produits à volume élevé, "B" les produits à volume moyen, et "C" les produits à faible volume. Il est courant de constater qu'un petit pourcentage de produits représente un pourcentage élevé de la demande totale. La courbe "ABC" est un tracé du % de la demande cumulée classée en fonction du % de produits en stock.

$$A(i) = i^s \quad \text{pour} \quad 0 < s \leq 1 \quad 0 < i \leq 1 \quad (2)$$

Où i est le pourcentage de produits stockés

s est l'asymétrie de la courbe ABC

A(i) est le pourcentage cumulé de la demande en charges unitaires complètes.

1.4.3.3 La Quantité Economique de commande :

La Quantité Economique de commande EOQ (également appelée formule de Wilson) correspond à la quantité de produits commandés pour minimiser le coût annuel total de la gestion des stocks :

Chapitre 1 : Le stockage par classes comme méthodologie de stockage

La Formule de Wilson est développée en 1913. Cette formule repose sur les hypothèses suivantes:

- Le coût de passage de la commande est fixe.
- Le taux de la demande est connu, et réparti équitablement tout au long de l'année.
- Le délai de réapprovisionnement est fixe.
- Le prix d'achat à l'unité est constant ; il n'y a aucune réduction de prix sur des commandes en gros.

Introduisons les variables suivantes :

- K = le rapport entre le coût de la commande et le coût de stockage.
- $D(i)$ = taux de demande (produit par unité de temps) du produit i .
- $Q(i)$ = la quantité économique de commande du produit i .

En fonction de ces hypothèses, l'EOQ optimale de Wilson est :

$$Q(i) = (2 * K * D(i))^{1/2}$$

1.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons introduit toutes les notions dont nous aurons besoin dans la suite de ce mémoire. Nous avons commencé par présenter différentes formes d'AS/RS, en insistant sur les configurations compactes et multi-deep. Nous avons aussi parlé des méthodologies de stockage. Surtout le stockage par classes qui est l'objectif de ce travail. Dans le chapitre suivant, nous allons évoquer deux travaux scientifiques qui ont traité le problème de dimensionnement des classes. Nous allons aussi présenter plus en détail l'AS/RS à convoyeur gravitationnel puisque c'est cette forme que nous traiterons dans ce travail.

Chapitre 2 : Détermination des dimensions d'une classe dans un AS/RS

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter deux exemples tirés de la littérature de la manière de déterminer les dimensions des classes dans un AS/RS. Le premier exemple traite les AS/RS à charge unitaire [], qui constitue la configuration physique la plus étudiée dans la littérature, le second exemple est un AS/RS à profondeur multiple, il s'agit de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel a une seule machine []. Nous allons par la suite présenter la configuration d'AS/RS sur laquelle nous allons travailler, est qui est la forme de base de l'AS/RS à configuration gravitationnel.

2.2 Méthodologie de stockage :

Comme évoqué dans le chapitre 1, Il y a trois méthodologies de stockage.

- Le stockage dédié : Dans le stockage dédié, l'espace de stockage est partagé en blocs, chaque produit a sa propre place déterminée en avance.
- Le stockage aléatoire : Dans le stockage aléatoire, n'importe quel produit peut être stocké dans n'importe quel casier.
- Le stockage par classe : Le stockage par classe il lie les deux méthodologies de stockage précédentes (stockage dédié et stockage aléatoire) on stocke les produits aléatoirement dans chaque classe. Selon (Askin et Standridge 1993) les réductions du temps de cycle en adoptant un stockage par classe peuvent atteindre 40% par rapport au stockage aléatoire. Car cette méthodologie de stockage se base sur le paramètre **turnover** c'est à dire la rotation des produits dans une durée de temps donnée.

Dans ce qui suit nous allons présenter comment (Hausman, Schwarz, et Graves 1976b) ont déterminé les dimension de la classe optimales dans le cas d'un AS/RS classique à charge unitaire. Cette forme c'est la forme la plus simple des AS/RS.

2.3 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à charge unitaire :

La configuration AS/RS à charge unitaire a été présentée dans le chapitre 1. Dans cette configuration la machine S/R se déplace sur un rectangle (figure 2.1).

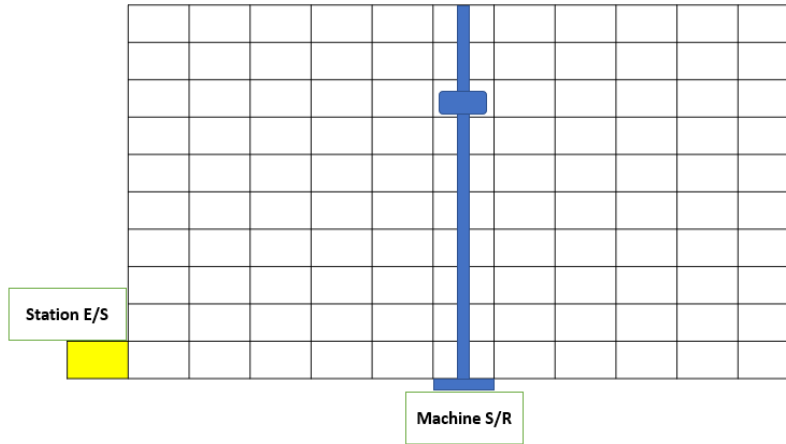


Figure 2. 1 Représentation discret d'un rack de stockage

Pour commencer, les auteurs ont réussi à déduire la valeur du turnover λ_j d'un produit, en fonction de son emplacement j dans le rack. Ils ont approximé la valeur discrète de turnover λ_j par une fonction continue $\lambda(j)$ en utilisant le phénomène "ABC" bien connu pour les stocks et le modèle EOQ de base qui ont été défini dans le chapitre 1.

Pour vérifier l'efficacité de la méthodologie de stockage qui se base sur le paramètre turnover. Les auteurs ont comparé les temps de cycle en appliquant les méthodologies de stockage suivant :

- Méthodologie aléatoire : Stocké le premier produit arrivant dans le casier le plus proche de la station d'entrée/sortie ;
- Méthodologie se basant sur le turnover : Stocké le premier produit ayant le plus grand turnover dans le casier le plus proche de la station d'entrée/sortie ;

Les auteurs ont considéré un AS/RS carré en temps, c'est à dire le temps de déplacement de la machine S/R à l'extrémité horizontale et à l'extrémité verticale sont égaux.

2.3.1 Affectation aléatoire :

Dans leurs analyses, les auteurs ont utilisé la règle de l'emplacement le plus proche de point E/S, souvent utilisée dans la pratique. La règle de l'emplacement le plus proche de E/S fonctionne comme suit : Juste avant le lancement du stockage d'une produit donnée, une liste de casiers libres est parcourue pour trouver celui qui est le plus proche dans le temps du point d'entrée/sortie. Le produit est alors stocké à cet emplacement, quel que soit son type et son turnover.

Compte tenu d'un taux de charge stable de la capacité de l'AS/RS dans le temps, la règle de l'emplacement ouvert le plus proche stocke les produits dans un sous-ensemble carré (en temps) du rack.

Dans le cas d'une affectation aléatoire du stockage, le temps moyen de déplacement unidirectionnel Tr d'une charge est :

$$Tr = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

N : capacité de la partie utilisée du rack.

y_i : temps de déplacement de la machine S/R entre le point E/S et l'emplacement i où $1 \leq i \leq N$.

2.3.2 Affectation en fonction du turnover :

Cette méthodologie est utilisée pour montrer que le temps de cycle est minimisé si la charge ayant le turnover le plus élevé est affectée à l'emplacement le plus proche (en temps). Alors les auteurs ont classé les charges dans l'ordre décroissant par rapport à leurs turnovers. C'est-à-dire la charge q_1 ayant le turnover le plus élevé λ_1 sera stockée à l'emplacement 1, la deuxième charge q_2 ayant le turnover λ_2 sera stockée à l'emplacement 2, etc. Sachant que $(\lambda_i \geq \lambda_{i+1})$ pour $(0 \leq i \leq N)$.

Le temps de déplacement unidirectionnel de la machine S/R, Tt , peut être évaluée par la formule suivante :

$$Tt = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}$$

N : capacité de rack.

y_i : temps de déplacement de la machine S/R entre le point E/S et l'emplacement i où $0 \leq i \leq N$.

λ_i : c'est le turnover du produit stocké dans l'emplacement i .

En utilisant la règle d'affectation au stockage aléatoire comme référence, la réduction en pourcentage du temps de parcours unidirectionnel prévu pour la machine S/R avec l'affectation basée sur le turnover It , serait

$$It = \frac{Tr - Tt}{Tr} \times 100$$

2.3.3 L'approximation continue du rack :

Dans le but de faciliter les calculs, le rack qui est à la base discrète, a été approximé par un rectangle continu (voir figure 2.2). Dans la représentation continue, les fonctions discrètes y_i et λ_i , ($i = \overline{1, N}$) sont approximées par des fonctions continues $y(i)$ et $\lambda(i)$. De plus, l'indice i devient lui-même continu sur l'intervalle $[0; 1]$. Le rack est représenté sous la forme d'un carré (voir figure 2.3) car les auteurs ont supposé que le rack soit carré en temps. Les coordonnées x_1 et x_2 de chaque point du carré sont les temps de parcours de la machine S/R horizontal et vertical, respectivement, pour qu'elle atteigne un point donné. Sans perte de généralité, ils choisissent une unité de mesure du temps de parcours pour obtenir un rack aux côtés unitaires.

Le pourcentage ($i\%$) de points les plus proches de la station d'E/S sont disposé dans un carré de coté \sqrt{i} .

$$y(i) = \sqrt{i}$$

$y(i)$ peut être vue comme la distribution du temps de déplacement de la machine S/R.

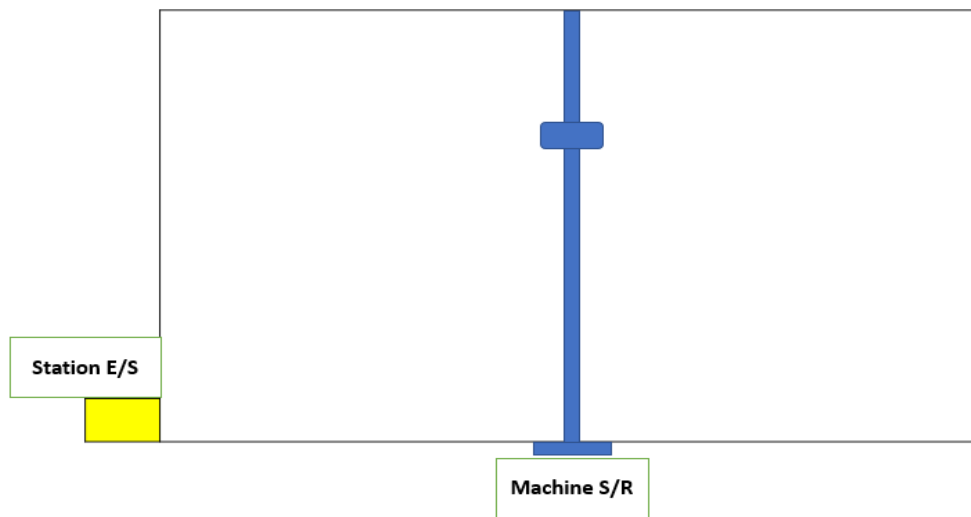


Figure 2. 2 Représentation continue d'un rack de stockage

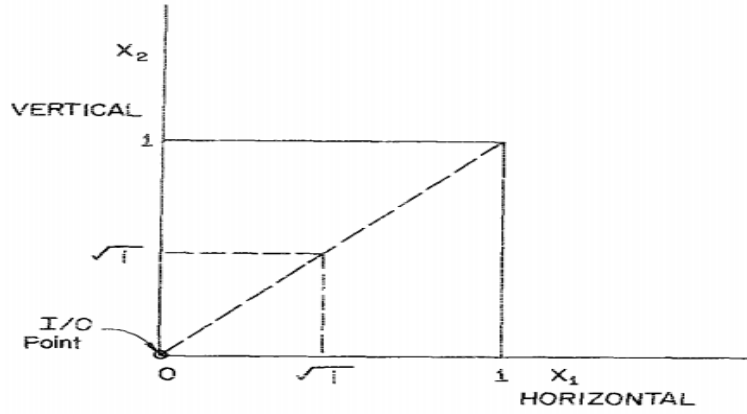


Figure 2. 3 Représentation continue de temps de déplacement de la machine S/R dans un rack de stockage

Et comme nous avons déjà expliqué, les auteurs ont estimé la valeur de turnover λ_j par :

$$\lambda(j) = \frac{\sqrt{\left(\frac{2s}{K}\right)}}{2} j^{\frac{(s-1)}{s+1}}, \quad 0 < j \leq 1$$

$\lambda(j)$: c'est le turnover de produit j .

s : c'est l'asymétrie de la courbe ABC.

K : c'est le rapport entre le coût de la commande et le coût de stockage de La EOQ.

- Les résultats obtenus:

$$Tr = E[y(i)] = \int_0^1 \sqrt{i} \, di = \frac{2}{3}$$

$$Tt = E[\lambda(j)] = \frac{\int_0^1 \lambda(j) \times y(j) \, dj}{\int_0^1 \lambda(j) \, dj} = \frac{4s}{5s + 1}$$

- L'amélioration en pourcentage de l'affectation en fonction turnover par rapport à l'affectation aléatoire du stockage est :

$$I_t = 100 \times \frac{\frac{2}{3} - \frac{4s}{5s+1}}{\frac{2}{3}} = 100 \times \frac{1-s}{5s+1}$$

La figure (Figure 2. 4) présente les valeurs de l'indice i pour les quatre différentes courbes ABC et les valeurs s correspondantes.

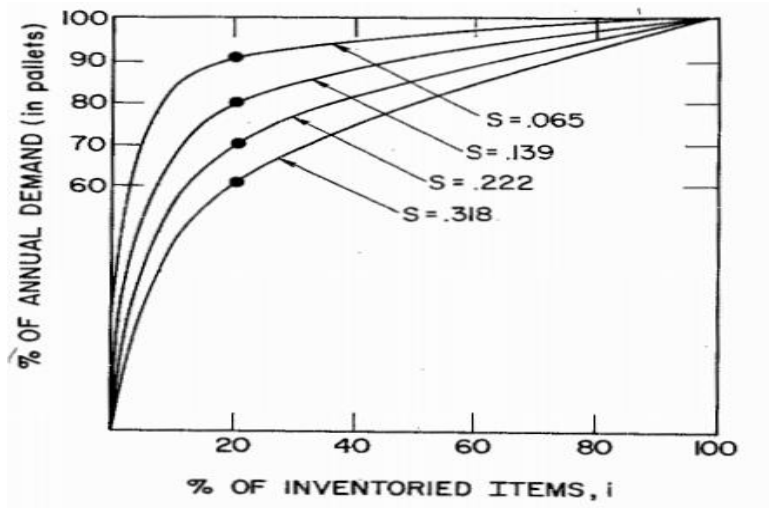


Figure 2. 4 La courbe ABC

Tableau 2. 1 Pourcentage d'amélioration de l'affectation basée sur le turnover par rapport à l'affectation aléatoire.

La courbe ABC	Paramètre "s" correspondant	It% (d'amélioration)
20%/60%	0.318	26.3%
20%/70%	0.222	36.9%
20%/80%	0.139	50.8%
20%/90%	0.065	70.6%

- 20 %/60 % signifie que 20 % des produits en stock représentent 60% de la demande totale ; et ainsi de suite. La valeur s correspondante peut être trouvée en résolvant

$$0.2^s = 0.6$$

C'est-à-dire

$$s \ln(0.2) = \ln(0.6)$$

D'où

$$s = 0.31739$$

Ce qui confirme le résultat dans la figure (Figure 2. 2).

Comme l'indique-le (tableau 2.1), pour des distributions de stocks typiques, le pourcentage de réduction des temps de déplacement des machine S/R varie entre 26 % et 71 %. L'amélioration augmente considérablement lorsque l'asymétrie de la distribution des stocks augmente.

2.3.4 Affectation stockage par classe :

« Il n'est pas réaliste de supposer que le turnover de chaque palette à stocker dans le système sera connu et/ou constant dans le temps » (Hausman, Schwarz, et Graves 1976b), qui ont développé une règle d'affectation du stockage qui permette de faire des hypothèses plus fiables concernant la rotation des charges, c'est une règle d'affectation du turnover basée sur les classes d'où le rack et les charges sont divisés en k classe basé sur le turnover des charges. Les charge dans chaque classe sont affectées aléatoirement telles que la première classe est réserver pour les charges a qui leur turnover élevé ainsi de suite.

Pour se faire il faut d'abord déterminer les dimensions de la première classe en considérant tout ce qui reste dans la deuxième classe comme représenté dans la (figure 2.5). Le symbole R représente la partition du carré unitaire de la première classe.

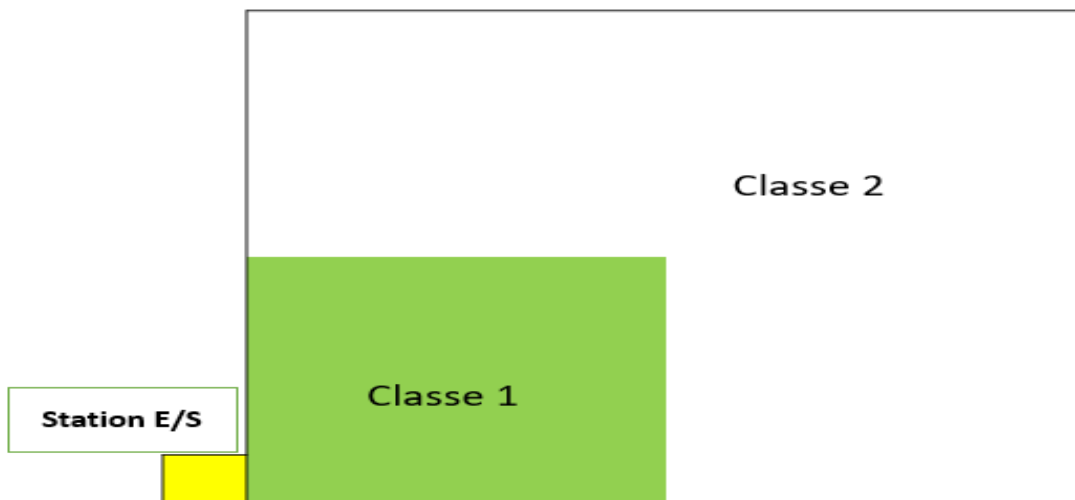


Figure 2. 5 Représentation continue dimensions de la première classe dans rack de stockage

Temps de déstockage un produit donné dans ce système :

$$T_2 = \frac{\int_{j=1}^{R^2} \lambda(j) \cdot \bar{y}_1 dj + \int_{j=R^2}^1 \lambda(j) \cdot \bar{y}_2 dj}{\int_0^1 \lambda(j) dj}$$

\bar{y}_k : Temps de déstockage moyen d'une charge dans la classe K

$$\bar{y}_1 = \frac{2}{3} \cdot R \quad \text{Et} \quad \bar{y}_2 = \frac{2}{3} (1 - R^3)/(1 - R^2).$$

En remplaçant dans la fonction T_2 devient

$$T_2 = \frac{2}{3} \left[R^{\frac{5s+1}{s+1}} + \frac{(1 - R^3) \left(1 - R^{\frac{4s}{s+1}} \right)}{1 - R^2} \right]$$

Pour trouver les dimensions optimales de la 1ere classe, les auteurs donnent à s différentes valeurs (Figure 2.4) afin de résoudre l'équation précédente numériquement.

Le (tableau 2.2) représente les différentes partition R optimale de la première classe pour chaque valeur de s.

Tableau 2. 2 représente dimensions optimale de la premier classe

Courbe ABC	R* (optimal partitionnement d'en 2 classes)	I% (amélioration par rapport à l'affectation aléatoire du stockage)	Fraction de l'amélioration maximale possible
20%/60%	0.408	18.1%	68.6%
20%/70%	0.355	25.5%	69.1%
20%/80%	0.285	35.9%	70.6%
20%/90%	0.181	52.9%	75.1%

Le système à deux classes permet d'obtenir environ 70 % du gain potentiel d'un système entièrement basé sur le turnover. L'amélioration obtenue, comme l'amélioration complète basée sur le turnover, dépend de la distribution des stocks. La distribution la plus asymétrique apporte la plus grande amélioration.

2.4 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel a un seul machin S/R :

De la même manière que (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a) ont déterminé les dimension du la classe optimale dans le cas d'un AS/RS classique à charge unitaire, (Yu et de Koster 2009b) ont déterminé les dimension de la classe optimale dans le cas d'un AS/RS compacte et multi-deep, il s'agit de l'AS/RS a convoyeur gravitationnel a une seule machine S/R. (Yu et de Koster 2009b) ont suivi les même étapes que (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a) mais dans ce cas le système se compose d'une seule machine pour les mouvement horizontal et vertical et son rack est composé par des profondeur contrôler par des convoyeur pour les mouvement en profondeur. Ce qui rend le système compliqué par rapporte à l'AS/RS à charge unitaire. Donc dans ce cas de système les dimensions optimales d'une classe seront sous forme d'un cube en temps. En considérant le cube qui a les dimensions th_1 , tv_1 , tc_1 c'est la première classe et tout qu'il reste la deuxième classe.

Le temps nécessaire à la machine S/R pour se rendre du point d'entrée/sortie à une position S/R pour prendre une unité de charge disponible. La charge unitaire est mise à la position S/R par le mécanisme de déplacement du convoyeur. Par conséquent, étant donné que les mouvements dans les trois dimensions sont indépendants, ce temps de déplacement, désigné par W , est le maximum des trois grandeurs suivantes :

- (a) Le temps nécessaire pour se déplacer horizontalement du point I/O à la position S/R (indiqué par X).
- (b) Le temps nécessaire pour se déplacer verticalement du point d'E/S à la position S/R (indiqué par Y).
- (c) Le temps nécessaire pour que le mécanisme de déplacement du convoyeur pour faire circuler la charge demandée de sa position initiale à la position S/R (indiqué par Z).

Le temps nécessaire à la machine S/R pour revenir au point d'E/S depuis la position S/R (indiqué par U).

C'est-à-dire $W = \max(\max(X, Y), Z)$ et $U = \max(X, Y)$.

Par conséquent, le temps de déplacement S/R attendu ESC peut être exprimé comme suit :

$$ESC = E(W) + E(U)$$

Avec la notation suivante :

L : La longueur horizontale

H : La hauteur verticale

S : La profondeur de rack

sc, sh, sv Sont les vitesses de déplacement de convoyeur à la profondeur et la machine S/R a les directions horizontal et vertical respectivement.

tc, th, tv Sont les temps de déplacement de convoyeur à l'extrémité profondeur et la machine S/R a les extrémité horizontal et vertical respectivement.

$V = tc * tv * th$ Le volume de rack en temps

$V1 = tc1 * tv1 * th1$ Le volume en temps de la première classe

$$G1 = \frac{V1}{V}$$

ESC : Le temps de cycle moyen de système ;

$ESC1$: Le temps de cycle moyen de la première classe ;

$ESC2$: Le temp de cycle moyen de deuxième classe ;

Les auteurs ont consulté les articles de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a), (Rosenblatt et Eynan 1989) (Eynan et Rosenblatt 1994) et ils ont déterminer que dans un système compact 3D l'ESC d'un AS/RS peut être exprimé comme suit :

ESC

$$= \frac{\int_{j \in R1} \lambda(j) [E(W|R1) + E(U|R1)] dj + \int_{j \in R2} \lambda(j) [E(W|R2) + E(U|R2)] dj}{\int_0^1 \lambda(j) dj}$$

Où Ri est l'ensemble des emplacements de stockage de la classe i , $i = 1, 2$, $E(A|Ri)$ est la valeur

attendue de A = (U ou W) lorsque l'emplacement demandé est dans la zone de classe i, i = 1, 2 et $\lambda(j)$ est le turnover de la jème unité de charge dans le rack.

En remplaçant $\lambda(j)$ par sa valeur :

$$\lambda(j) = (2s/K)1/2 j^{(s-1)/(s+1)}$$

ESC devient comme suit :

$$ESC = G1^{2s/(1+s)} \times (E(U|R1) + E(W|R1)) + \left(1 - G1^{\frac{2s}{1+s}}\right) \times (E(U|R2) + E(W|R2))$$

$$G1 = V1/V$$

- Les auteurs ont développé le modèle général suivant (désigné par GM) pour optimiser les limites du rack à deux classes :

$$\begin{aligned} \min ESC = & G1^{2s/(1+s)} \times (E(U|R1) + E(W|R1)) \\ & + \left(1 - G1^{\frac{2s}{1+s}}\right) \times (E(U|R2) + E(W|R2)) \end{aligned}$$

Sous les contraintes :

$$th1 \leq th2$$

$$tv1 \leq tv2$$

$$tc1 \leq tc2$$

$$tv1 th1 tc1 = G1$$

$$tv2 th2 tc2 = 1$$

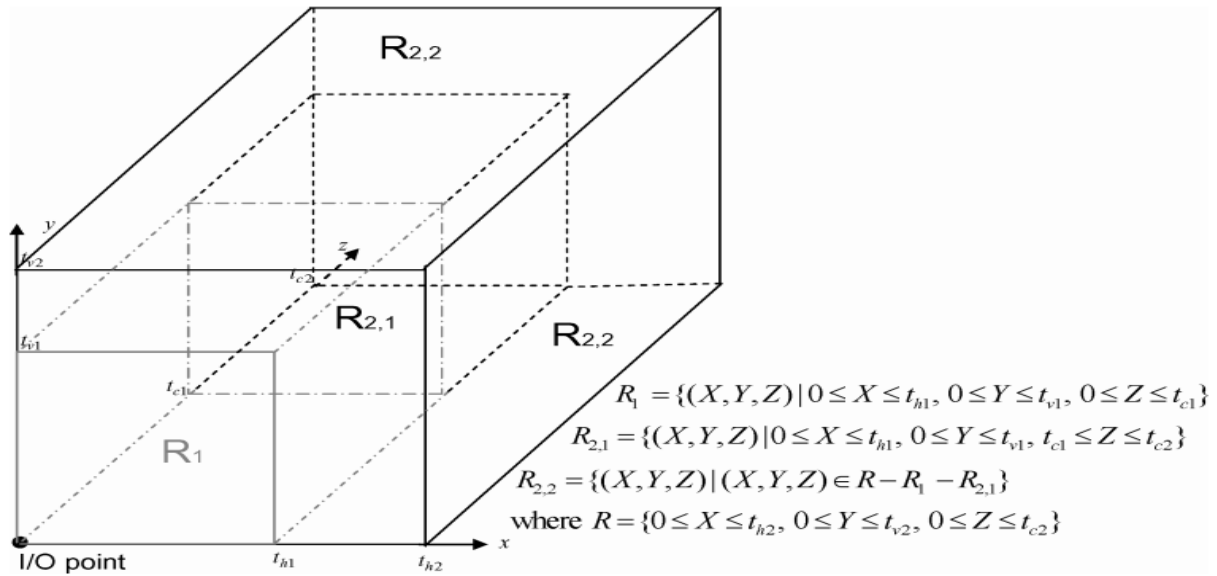


Figure 2. 6 Représentation continue dimensions de la première classe dans rack de stockage 3D

Tableau 2. 3 les dimensions optimales de première classe dans un rack 3D

s	Courbe ABC	$\overline{th1}^*$	$\overline{tc1}^*$	$G1^*$	\overline{ESC}^*	ESC^*	$Impro_{G1} \%$	$Impro_{G1=0.2} \%$
1	20%/20%				1.38	1.38	0	0
0.75	20%/30%	0.55	0.77	0.24	1.34	1.34	2.73	2.71
0.57	20%/40%	0.53	0.73	0.21	1.30	1.30	5.76	5.76
0.43	20%/50%	0.50	0.69	0.17	1.25	1.25	9.36	9.31
0.32	20%/60%	0.46	0.64	0.14	1.19	1.19	13.85	13.52
0.22	20%/70%	0.41	0.57	0.1	1.11	1.12	19.87	18.56
0.14	20%/80%	0.34	0.48	0.06	0.98	1.04	28.75	24.69
0.07	20%/90%	0.23	0.32	0.02	0.77	0.94	44.52	32.21

Ce tableau représente les résultats numériques pour vérifier l'efficacité des frontières optimales des zones. Les dimensions optimales des zones ($tv1^*, tv2^*, th1^*, th2^*, tc1^*, et tc2^*$) pour $G1 = 0.2$ (fixe) sont déterminées. Pour les dimensions de classe optimales $G1^*$ (optimale, variable), correspondant à différentes valeurs du paramètre d'asymétrie s de la courbe ABC. Et les différents ESC^* avec un $G1$ fixe ou \overline{ESC}^* avec un $G1^*$ optimal. Et comparer entre l'amélioration qui peut être obtenus avec un $G1$ fixe et $G1^*$ optimale.

Cet article détermine les limites optimales des zones de stockage basées sur deux classes pour un AS/RS 3D compact en minimisant le temps de déplacement moyen de la machine S/R. Cet article est le premier à étudier les problèmes de stockage basés sur les classes dans les systèmes de stockage compacts 3D. Les auteurs modélisent les temps de déplacement moyens pour les AS/RS compacts 3D où la politique de stockage basée sur les classes est mise en œuvre.

2.5 Les dimensions des classes dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel forme de base :

Dans ce qui suit, nous allons refaire le travail de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a) et (Yu et de Koster 2009b) sur un AS/RS à convoyeur gravitationnel forme de base qui a été défini dans le chapitre 1. Dans le cas d'un AS/RS classique à charge unitaire et l'AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine S/R, les dimensions de la première classe sont facile à déterminer car le point de repos de la machine S/R se trouve exactement au côté bas gauche de système, le point (0,0) est le point le plus proche de la station E/S, et le temps de cycle de la machine S/R se compose de deux temps :

- le temps d'allée du point de repos de la machine vers l'emplacement de la charge à déstocker et le temps de retour de l'emplacement de la charge à déstocker vers la station d'E/S et qui est le point de repos de la machine S/R, donc la classe 1 est un carré qui a pour sommet le point de repos de la machine S/R. Vu que les dimensions d'une classe dans ces systèmes sont considérées carré en temps, donc les auteurs ont diminué le nombre de variable de décisions à une variable dans l'AS/RS classique à charge unitaire et deux variable dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seul machine S/R. Contrairement à notre cas (AS/RS à convoyeur gravitationnel classique) le point de repos de la machine S/R se trouve exactement au milieu de système ($Th/2, Tv/2$) et le temps de cycle de la machine S/R se compose de trois temps qui sont :
 - Le temps de déplacement entre le point de repos de la machine S/R et l'emplacement de la charge à déstocker,
 - Le temps de déplacement entre l'emplacement de la charge à déstocker et le convoyeur de restockage. Ce temps est compté $2*m$ fois, de tel sorte que m soit le nombre de charges unitaire qui précède la charge

- Le temps entre l'emplacement de la charge a déstocké et le point E/S.

Alors pour déterminer les dimensions de la classe nous avons besoin de déterminer quatre variables de décision qui sont $th1, th2, tv1, tv2$. Ces quatre variables de décision forment des fonctions ou chaque fonction et définir dans un domaine particulier. Pour cela notre travail est compliqué par rapport au travail de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a) et (Yu et de Koster 2009b).

2.5.1 Formulation :

Le système se compose d'un seul rack à une longueur (L), une hauteur (H) et la longueur de convoyeur au profond S , forment trois dimensions orthogonales du système. Il contient Nl casiers horizontaux et Nh casiers verticaux. Chaque casier est formé de M emplacements de stockage (storage segments) numéroté de 0 (face de déstockage) à $M - 1$ (face de stockage). Les vitesses de la machine S/R dans la direction horizontale et verticale, sont désignées respectivement par sh , et sv .

Nous définissons $Th = L/sh$ comme la longueur (en temps) de la crémaillère, et $Tv = H/sv$ comme la hauteur (en temps) de la crémaillère. th et tv sont des variables de temps telles que $0 \leq th \leq Th, 0 \leq tv \leq Tv$.

Soient $th1, th2, tv1, tv2$ les dimensions de la première classe avec $th1$ est la borne inférieure verticale de classe, $th2$ est la borne supérieure verticale de la classe, $tv1$ est la borne inférieure horizontal de classe et $tv2$ est la borne supérieure horizontale de la classe.

$$th1 < th2 \leq Th \text{ et } tv1 < tv2 \leq Tv$$

En partant du principe que la surface de la face de déstockage du rack est donnée, $Th.Tv = Su$ est alors une constante (Su peut être considéré comme le nombre de bacs de déstockage du système en unités de temps carré) alors $(th2 - th1) \times (tv2 - tv1) = Su1$ représente la surface de la première classe.

Pour standardiser le système, on pose $Su \equiv 1$, il est démontré que les dimensions optimales d'un AS/RS gravitationnel sont carré en temps (Bozer et White 1984) c'est-à-dire $Th = Tv = 1$.

Soit $G1$ le rapport $\frac{Su1}{Su}$, comme $Su = 1$ alors $G1 = Su1$.

2.5.2 Modélisation :

L'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base contient deux types de temps de cycle différents : le temps de cycle a la face de stockage du rack pour la machine de stockage et le temps de cycle à la face de déstockage du rack pour la machine de déstockage. Le temps de cycle de la machine S/R dépend de la configuration du rack, de la capacité de stockage et du nombre de produits stockés. Dans notre travail ce que nous intéresse c'est le temps de cycle à la face de déstockage. Pour déstocker un produit qui se trouve dans une couche donnée, tous les produits le précédent dans le même casier seront déstockés et envoyés vers la machine de stockage à travers le convoyeur de restockage, pour être stockés à nouveau par la machine de stockage. Finalement, le produit désiré est récupéré.

Le temps de cycle de déstockage dans la première classe de l'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base est comme suit :

$$\overline{ESC1} = \overline{E1} + 2 * m * \overline{E2} + \overline{E3}$$

- E1 est le temps de transport entre le point de repos de la machine de déstockage et le point de déstockage d'une charge unitaire dans la première classe.
- E2 est le moyen de transport, entre le point de déstockage d'une charge unitaire dans la première classe et le convoyeur de restockage.
- E3 est le temps de transport entre le point de déstockage d'une charge unitaire dans la première classe et la station de livraison.

Dans ce qui suit nous allons expliquer comment allons calculer c'est paramètre :

2.5.2.1 Approche discrète :

La face de rack est composée d'une matrice de casiers (Figure 2.7), et donc le temps de transport à ses casiers représente un ensemble de valeurs discrètes donc « le temps moyen de déstockage exact peut être obtenu en sommant les temps de déstockage de tous les emplacements, et ensuite en divisant cette somme par le nombre d'emplacements » (Bozer et White 1984), ce modèle est un modèle exact du temps de déstockage.

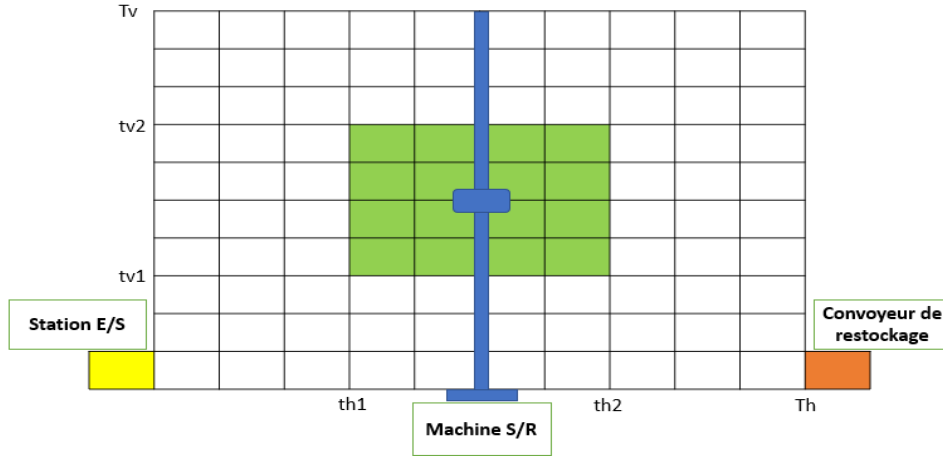


Figure 2. 7 représentation discrète de la face du rack

Calcul de E1 :

$$\overline{E1} = \frac{1}{N_1} \sum_{tv=tv1}^{tv2} \sum_{th=th1}^{th2} \max\left(\left|th - \frac{1}{2}\right|, \left|\frac{1}{2} - tv\right|\right)$$

Calcul de E2 :

$$\overline{E2} = \frac{1}{N_1} \sum_{tv=tv1}^{tv2} \sum_{th=th1}^{th2} \max((1 - th), tv)$$

Calcul de E3 :

$$\overline{E3} = \frac{1}{N_1} \sum_{tv=tv1}^{tv2} \sum_{th=th1}^{th2} \max(th, tv)$$

2.5.2.2 Approche continue :

Dans cette approche l'AS/RS sera représenté par un rectangle contenu (Figure 2.8). Les expressions dans l'approche contenue du temps de déstockage sont des expressions approchées, non exactes, basées sur l'hypothèse que la face du rack est continue. Mais elle nous permet d'utiliser des différentes méthodes d'optimisation pour résoudre notre problème d'optimisation.

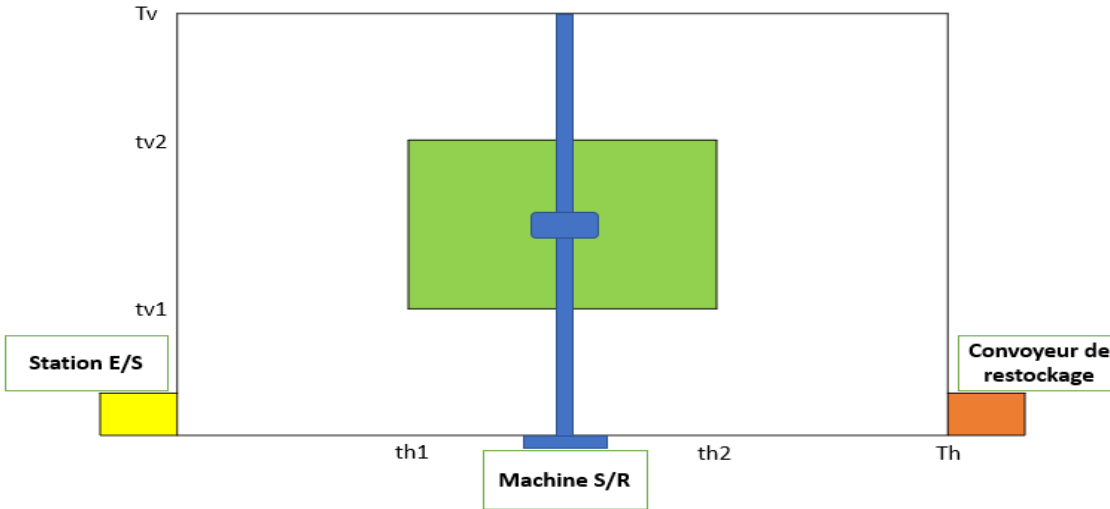


Figure 2. 8 représentation contenue de la face du rack

Calcul de E1 :

E1 est calculer avec la formule mathématique suivante :

$$E1 = \int_{tv1}^{tv2} \int_{th1}^{th2} \max\left(\left|th - \frac{1}{2}\right|, \left|\frac{1}{2} - tv\right|\right) dth dtv$$

Calcul de E2 :

E2 est calculer avec la formule mathématique suivante :

$$E2 = \int_{tv1}^{tv2} \int_{th1}^{th2} \max((1 - th), tv) dth dtv$$

Calcul de E3 :

E3 est calculer avec la formule mathématique suivante :

$$E3 = \int_{tv1}^{tv2} \int_{th1}^{th2} \max(th, tv) dth dtv$$

2.6 conclusions :

Dans ce chapitre nous avons étudié en détail deux des travaux les plus importants dans le domaine de la détermination de la taille de classe il s'agit : de travail de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976a) qui a déterminé les dimensions optimales d'une classe dans le cas d'un AS/RS à charge unitaire. et le travail de (Yu et de Koster 2009b) qui traite la détermination de dimension de la classe optimale dans le cas d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel avec une seule machine. Nous avons aussi déterminé les paramètres de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel classique. C'est sur ce type d'AS/RS que nous voulons déterminer les dimensions optimales de la classe, ce système a des particularités par rapport aux autres types sa particularité est qu'il comporte plusieurs stations importantes au lieu d'une seule station dans les cas que nous avons étudiés.

Chapitre 3 : Dimensions optimales de la classe I

3.1 Introduction :

Dans le chapitre précédent nous avons déterminé une approximation continue pour les temps de déplacement de la machine S/R sur la face de déstockage. Dans ce chapitre nous allons déterminer les une démarche pour trouver les dimensions optimales de la première classe dans l'AS/RS à convoyeur gravitationnel. Afin que nous puissions réaliser cela, nous avons d'abord modélisé le temps moyen de cycle dans le cas d'un stockage par classes.

3.2 Les domaines de temps pour les mouvements de la machine S/R

Dans le chapitre 2 nous avons déterminé les expressions mathématiques pour chaque'un des mouvements de la machine S/R dans la face de déstockage E_1, E_2, E_3 .

3.2.1 Domaines de E_1 :

L'expression mathématique de E_1 s'écrit comme suit :

$$E_1 = \int_{tv_1}^{tv_2} \int_{th_1}^{th_2} \max\left(\left|th - \frac{1}{2}\right|, \left|\frac{1}{2} - tv\right|\right) dth dtv$$

Pour trouver l'expression explicite de la fonction E_1 , on calcule l'intégrale ci-dessus qui nous ramène à une expression établie sur 90 domaines, car nous avons à comparer quatre variables. En tenant compte de la profondeur moyenne de la couche de déstockage (figure 3.1), on a pu restreindre la fonction E_1 sur seulement 8 domaines.

Ce qui veut dire que nous avons décidé de retenir les domaines dans le (tableau 3.1).

3.2.2 Domaines de E_2 :

L'expression mathématique de E_2 s'écrit comme suit :

$$E_2 = \int_{tv_1}^{tv_2} \int_{th_1}^{th_2} \max((1 - th), tv) dth dtv$$

Même cas pour le calcul de E_2 . Ce calcul nous ramène à une expression sur 6 domaines, et comme la position de la classe est plus proche du convoyeur de restockage donc nous aurons seulement une expression écrite sur quatre domaines (figure 3.1).

Ce qui veut dire que nous avons décidé de retenir les domaines dans le (tableau 3.1).

3.2.3 Domaines de E_3 :

L'expression mathématique de E_3 s'écrit comme suit :

$$E_3 = \int_{tv_1}^{tv_2} \int_{th_1}^{th_2} \max(th, tv) dt h dt v$$

Ce calcul nous ramène à une expression écrite sur six domaines possibles, et puisque la position de la classe est plus proche du convoyeur de restockage donc nous aurons seulement deux domaines possibles (figure 3.1).

Ce qui veut dire que nous avons décidé de retenir les domaines dans le (tableau 3.1).

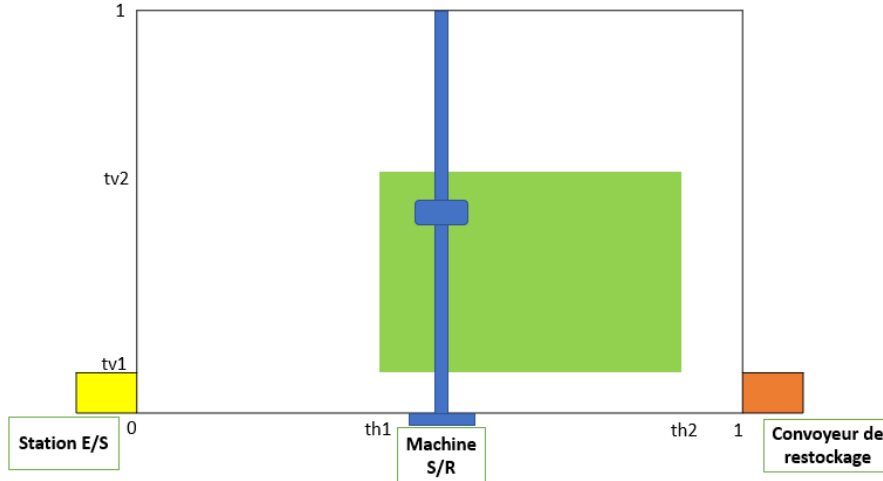


figure 3. 1 la position de la classe

Soit $t = (th_1, th_2, tv_1, tv_2) \in [0; 1]^4$.

Dans le tableau ci-dessous nous présentons les différents sous domaines de changement d'expressions des fonctions $E_i, (i = \overline{1,3})$

Tableau 3. 1 les domaines obtenus en comparant les variables (th_1, th_2, tv_1, tv_2) dans chaque expression E_i

Localisé (E_1)	Restockage (E_2)	Déstockage (E_3)
$D_{1,1} = \left\{ t: -\left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \leq \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) \right\}$	$D_{2,1} = \{t: tv_1 \leq (1 - th_2) < (1 - th_1) < tv_2\}$	$D_{3,1} = \{t: tv_1 < tv_2 < th_1 < th_2\}$
$D_{1,2} = \left\{ t: -\left(\frac{1}{2} - tv_2\right) \leq \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) \leq \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \leq \frac{1}{2} - tv_1 \right\}$	$D_{2,2} = \{t: tv_1 \leq (1 - th_2) < tv_2 \leq (1 - th_1)\}$	
$D_{1,3} = \left\{ t: -\left(\frac{1}{2} - tv_2\right) \leq \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) \leq \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \right\}$	$D_{2,3} = \{t: (1 - th_2) < tv_1 < tv_2 \leq (1 - th_1)\}$	
$D_{1,4} = \left\{ t: -\left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \right\}$	$D_{2,4} = \{t: (1 - th_2) < tv_1 < (1 - th_1) < tv_2\}$	
$D_{1,5} = \left\{ t: \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) \leq \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) \leq -\left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \leq \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) \right\}$	$D_{2,1} = \{t: tv_1 \leq (1 - th_2) < (1 - th_1) < tv_2\}$	$D_{3,2} = \{t: tv_1 < th_1 \leq tv_2 < th_2\}$
$D_{1,6} = \left\{ t: \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < -\left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \leq \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) \right\}$	$D_{2,2} = \{t: tv_1 \leq (1 - th_2) < tv_2 \leq (1 - th_1)\}$	
$D_{1,7} = \left\{ t: \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < -\left(th_1 - \frac{1}{2}\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \right\}$	$D_{2,3} = \{t: (1 - th_2) < tv_1 < tv_2 \leq (1 - th_1)\}$	
$D_{1,8} = \left\{ t: \left(\frac{1}{2} - tv_2\right) \leq \left(th_1 - \frac{1}{2}\right) \leq -\left(\frac{1}{2} - tv_2\right) < \left(\frac{1}{2} - tv_1\right) < \left(th_2 - \frac{1}{2}\right) \right\}$	$D_{2,4} = \{t: (1 - th_2) < tv_1 < (1 - th_1) < tv_2\}$	

Il est clair que :

- Les domaines $D_{1,i}$, ($i = \overline{1,4}$) sont inclus dans $D_{3,1}$.
- Les domaines $D_{1,i}$, ($i = \overline{5,8}$) sont inclus dans $D_{3,2}$.
- Les domaines $D_{1,1}$ et $D_{1,5}$ sont inclus dans $D_{2,1}$.
- Les domaines $D_{1,2}$ et $D_{1,6}$ sont inclus dans $D_{2,2}$.
- Les domaines $D_{1,3}$ et $D_{1,7}$ sont inclus dans $D_{2,3}$.

$$E_2 = \left\{ \begin{array}{l} 2 * m \left(-\frac{(1-th2)^3}{6} + \frac{(1-th1)^3}{6} - tv1 * \frac{-(1-th2)^2 + (1-th1)^2}{2} + tv2^2 * \frac{-th1+th2}{2} \right) \\ \quad \text{si } tv1 < (1-th2) < (1-th1) < tv2 \\ \left(\frac{tv2^3}{6} - \frac{(1-th2)^3}{6} - tv1 * \frac{tv2^2 - (1-th2)^2}{2} + tv2^2 * \frac{tv2-1+th2}{2} + \frac{(tv2-tv1)*(-tv2^2 + (1-th1)^2)}{2} \right) \\ \quad \text{si } tv1 < (1-th2) < tv2 < (1-th1) \\ \left(-\frac{tv1^3}{6} + \frac{tv2^3}{6} - \frac{(1-th2)*(-tv1^2 + tv2^2)}{2} + (1-th1)^2 * \frac{tv2-tv1}{2} \right) \\ \quad \text{si } (1-th2) < tv1 < tv2 < (1-th1) \\ \left(-\frac{tv1^3}{6} + \frac{(1-th1)^3}{6} - \frac{(1-th2)*(-tv1^2 + (1-th1)^2)}{2} + (1-th1)^2 * \frac{1-th1-tv1}{2} + \frac{(-th1+th2)*\left(\left(\frac{1}{2}-tv1\right)^2 - (1-th1)^2\right)}{2} \right) \end{array} \right.$$

$$E_3 = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{1}{2} * th1^2 * tv1 - \frac{1}{2} * th1^2 * tv2 - \frac{1}{2} * th2^2 * tv1 + \frac{1}{2} * th2^2 * tv2 \right) \\ \quad \text{si } tv1 < tv2 < th1 < th2 \\ \left(-\frac{th1^3}{6} + \frac{tv2^3}{6} - tv1 * \frac{-th1^2 + tv2^2}{2} + tv2^2 * \frac{tv2-th1}{2} + \frac{(tv2-tv1)*(th2^2 - tv2^2)}{2} \right) \\ \quad \text{si } tv1 < th1 < tv2 < th2 \end{array} \right.$$

3.3 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans la première classe :

- Posons :

$$ESC1 = E1 + 2 * m * E2 + E3$$

- Le temps de déstockage moyen dans la première classe

$$\overline{ESC1} = \frac{ESC1}{(th2 - th1) * (tv2 - tv1)}$$

3.4 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans la deuxième classe :

- Le temps de déstockage dans la deuxième classe

$$ESC2 = ESCR - ESC1$$

Avec $ESCR$ est le temps de cycle moyen de tout le system avec la méthodologie de stockage aléatoire $ESCR = 1 + \frac{4*m}{3}$

- Le temps moyen de déstockage dans la deuxième classe

$$\overline{ESC2} = \frac{ESC2}{1 - (th2 - th1) * (tv2 - tv1)}$$

Les expressions suivantes représentent les temps moyens de déstockage dans la première classe et la deuxième classe respectivement :

3.5 L'expression mathématique de temps de cycle moyen dans un rack suit une méthodologie de stockage par deux classes :

D'après les article de (Rosenblatt et Eynan 1989) et (Eynan et Rosenblatt 1994) l'équation de temps de cycle basé sur une méthodologie de stockage par deux classes :

$$\overline{ESC} = \frac{\int_0^{G1} \lambda(j) * \overline{ESC}1 dj + \int_{G1}^1 \lambda(j) * \overline{ESC}2 dj}{\int_0^1 \lambda(j) dj}$$

En calculant cet intégral, l'expression de temps de cycle moyen dans la face de déstockage deviens comme suivante :

$$\overline{ESC} = G1^{\frac{2s}{1+s}} \times (\overline{ESC}1) + \left(1 - G1^{\frac{2s}{1+s}}\right) \times (\overline{ESC}2)$$

3.6 Les dimensions optimales de la première classe :

Les dimensions optimales de la classe dépendent de plusieurs paramètres qui sont :

- Le paramètre m est le paramètre le plus important, il représente la couche sur laquelle on déstocke un produit. Cette couche dépend de la variété des produits stockés dans le système.
- Le paramètre s est l'asymétrie de la cure ABC elle mesure l'asymétrie de la distribution des demandes des produit.
- Le paramètre G qui représente la taille de la classe.

3.6.1 Formulation du problème :

Nous sommes en présence d'un problème d'optimisation, où l'objectif est de minimiser le temps de cycle, et nos variables de décision sont les dimensions de la classe.

Le problème à optimiser

$$\min \overline{ESC} = G1^{\frac{2s}{1+s}} \times (\overline{ESC}1) + \left(1 - G1^{\frac{2s}{1+s}}\right) \times (\overline{ESC}2)$$

Sous les contraintes

$$th_1 < th_2$$

$$tv_1 < tv_2$$

$$th_2 \leq 1$$

$$tv_2 \leq 1$$

$$tv_2 \leq th_2$$

$$tv_1 \leq th_1$$

$$G_1 = (th_2 - th_1) \times (tv_2 - tv_1)$$

Pour résoudre ce problème d'optimisation non linéaire avec des contraintes d'inégalité on a utilisé la fonction *NLPSolve* de *Maple* sur chaque domaine et pour des valeurs différentes des paramètres *s* et *m*. Nous avons obtenu les résultats affichés dans le tableau suivant (tableau 3.2).

Tableau 3. 2 les dimensions optimales de la première classe pour chaque valeur de *s* et *m*

<i>m</i>	<i>s</i>	D_i	th_1	th_2	tv_1	tv_2	G_1	<i>ESCR</i>	\overline{ESC}	Le gain%
2	0,318	$D_{1,2}$	0,4675	1	0	0,4436	0,236217	3,666667	3,2268	0,119964
	0,222	$D_{1,2}$	0,5615	1	0	0,3862	0,1693487	3,666667	3,06	0,165455
	0,139	$D_{1,2}$	0,6474	1	0	0,3105	0,1094823	3,666667	2,834	0,227091
	0,065	$D_{1,2}$	0,7752	1	0	0,198	0,0445104	3,666667	2,4733	0,325464
3	0,318	$D_{1,2}$	0,536	1	0	0,4266	0,1979424	5	4,3213	0,13574
	0,222	$D_{1,2}$	0,596	1	0	0,3714	0,1500456	5	4,057	0,1886
	0,139	$D_{1,2}$	0,6754	1	0	0,2984	0,09686064	5	3,6931	0,26138
	0,065	$D_{1,2}$	0,7936	1	0	0,1897	0,03915408	5	3,1021	0,37958
4	0,318	$D_{1,2}$	0,5525	1	0	0,4202	0,1880395	6,333333	5,415	0,145
	0,222	$D_{1,2}$	0,6103	1	0	0,3659	0,14259123	6,333333	5,0521	0,2023
	0,139	$D_{1,2}$	0,6869	1	0	0,2939	0,09202009	6,333333	4,5498	0,281611
	0,065	$D_{1,2}$	0,8012	1	0	0,1866	0,03709608	6,333333	3,7296	0,411116

Les résultats obtenus dans le (tableau 3. 3) montrent que pour tous les valeurs s et m les variables de décisions (th_1, th_2, tv_1, tv_2) appartiennent au domaine $D_{1,2}$. La couche moyenne m est directement proportionnelle au gain i.e pour des valeurs grandes de m on va obtenir un gain élevé par rapport au stockage aléatoire, et pour la valeur du s à chaque fois la distribution est plus asymétrie (s est petit) on va obtenir un gain élevé par rapport au stockage aléatoire. On remarque que les dimensions de la première classe forment un rectangle de longueur $(th_2 - th_1)$ et de largeur $(tv_2 - tv_1)$.

3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons déterminé les domaines des mouvements de la machine S/R dans la face de déstockage. Grace a ces domaines nous avons réussi à déterminer les dimensions optimales de la première classe d'un système à deux classes qui est basé sur le turnover. Cette classe représente le temps de cycle optimale d'un AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base. Le système à deux classes qui est basé sur le turnover nous fait gagner un gain remarquable par rapport au stockage aléatoire.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés à l'adaptation de la méthodologie de stockage par classe, dans un système automatisé de stockage/déstockage (AS/RS) et de qu'il s'agit de l'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base. Ce dernier se composé principalement de : racks de stockage 3D composés à leurs tours d'un ensemble de casiers a profondeur multiple avec un certain nombre d'emplacements pour contenir les charge unitaires, il se compose aussi de deux face dans deux côtés opposer une face pour le stockage des charge unitaire et l'autre face pour le déstockage des charge unitaire, dans la face de stockage se trouve la machine de stockage, la station d'entrer et le convoyeur de restockage, et dans la face de déstockage se trouve une machine de déstockage, une station de sortir et le convoyeur de restockage, il se compose aussi des convoyeurs commander par gravité qui grasse a lui les charges unitaire se déplace de la face de stockage vers la face de déstockage.

Nous avons commencé, en premier chapitre par définir les deux familles des AS/RS a profondeur unitaire et a profondeur multiple avec leurs déférente, et à définir les trois méthodologies de stockage (aléatoire, dédié et par classe) avec leurs déférente.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté en détail deux modèles près de la littérature concernant la définition des dimensions optimales de la classe une dans les AS/RS à savoir le travail de (Hausman, Schwarz, et Graves 1976b) qui a traité l'AS/RS a charge unitaire, le travail de (Yu et de Koster 2009a) qui a traité l'AS/RS a convoyeur gravitationnel a une seule machine.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté le modèle de temps moyen de simple cycle quand qu'il s'agit de méthodologie de stockage par classe, ce modèle a été optimisé afin de trouver les dimensions optimales de la classe 1.

Références

1. Askin , R., & Standridge, C. (1993). *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*. New York.
2. Southeast University, N. (2013). *Chine Brevet n° CN103723422A*.
3. Bozer, Yavuz A., et John A. White. 1984. « Travel-time models for automated storage/retrieval systems ». *IIE transactions* 16 (4): 329-38.
4. Eynan, Amit, et Meir J. Rosenblatt. 1994. « Establishing zones in single-command class-based rectangular AS/RS ». *IIE transactions* 26 (1): 38-46.
5. Gue, Kevin R., et Byung Soo Kim. 2007. « Puzzle-based storage systems ». *Naval Research Logistics (NRL)* 54 (5): 556-67.
6. Hausman, Warren H., Leroy B. Schwarz, et Stephen C. Graves. 1976a. « Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems. » *Management Science* 22 (6): 629-38. <https://doi.org/10.1287/mnsc.22.6.629>.
7. Rosenblatt, Meir J., et Amit Eynan. 1989. « Note—Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage/retrieval systems ». *Management Science* 35 (12): 1519-24.
8. Sari, Zaki, et Nadir Hakim Bessenouci. 2012. « Design & modeling of a single machine flow rack AS/RS ».
9. Yu, Yugang, et René BM de Koster. 2009a. « Optimal zone boundaries for two-class-based compact three-dimensional automated storage and retrieval systems ». *IIE Transactions* 41 (3): 194-208.
10. Yu, Yugang, et Rene de Koster. 2009b. « Optimal zone boundaries for two-class-based compact three-dimensional automated storage and retrieval systems ». *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)* 41 (3): 194-208. <https://doi.org/10.1080/07408170802375778>.
11. Zaerpour, Nima. 2013. « Efficient management of compact storage systems ».

Résumé

Dans ce travail nous nous intéressons à l'adaptation de la méthodologie de stockage par classe, dans un système automatisé de stockage/déstockage (AS/RS) et de qu'il s'agit de l'AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base. Nous présenterons initialement des définitions, la configuration et la modélisation du temps de cycle a la face de déstockage d'un AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base. Nous focalisons notre travail plus précisément sur l'optimisation des dimensions de la première classe pour minimiser le temps de cycle de la machine de déstockage. On a fait une approximation contenue de temps de cycle afin qu'en puis optimiser les dimensions de la première classe. A l'aide de la fonction NLPsolve de Maple qui résoudre les problèmes d'optimisation non linéaire on a réussi à déterminer dimensions optimales de la première classe.

Mots-Clés : AS/RS Stockage/Déstockage, AS/RS a convoyeur gravitationnel forme de base, machine S/R, stockage par classe, Modélisation, Optimisation, turnover.

Abstract

In this work we are interested in the adaptation of the methodology of storage by class, in an automated system of storage/retrieval (AS/RS) and that it is about the AS/RS with gravitational conveyor basic form. We will initially present definitions, configuration and modeling of the cycle time at the retrieval side of a basic form gravity conveyor AS/RS. Specifically, we focus our work on optimizing the dimensions of the first class to minimize the cycle time of the de-stacking machine. A contained approximation of the cycle time was made in order to optimize the dimensions of the first class. Using the NLPsolve function of Maple, which solves nonlinear optimization problems, we managed to determine the optimal dimensions of the first class.

Keywords : AS / RS Storage / Destocking, AS / RS with gravity conveyor basic form, S / R machine, storage by class, Modeling, Optimization, turnover.

ملخص

في هذا العمل، نحن مهتمون بتكييف منهجية التخزين حسب الفئة، في نظام تخزين واسترجاع الآلي، وهذا يتعلق بنظام التخزين والاسترجاع الآلي مع رفوف الجاذبية التقليدية. سنقدم في البداية تعريفات وتكوين ونمذجة وقت الدورة على واجهة استرجاع المخزن لنظام التخزين والاسترجاع آلي مع رفوف الجاذبية التقليدية. نحن نركز عملنا بشكل خاص على تحسين أبعاد الفئة الأولى لتقليل وقت الدورة لآلة استرجاع المخزون. لقد أجرينا تقديرًا تقريبيًا لأوقات الدورات بحيث نقوم بعد ذلك بتحسين أبعاد الفئة الأولى. نجحنا في تحديد الأبعاد المثلى للفئة الأولى بمساعدة الوظيفة التي تحل مشاكل التحسين غير الخطي الخاصة ببرنامج .maple

الكلمات الدالة: نظام التخزين والاسترجاع الآلي، التخزين / الاسترجاع، نظام التخزين والاسترجاع الآلي مع رفوف الجاذبية التقليدية، آلة التخزين / الاسترجاع، التخزين حسب الفئة، النمذجة، التحسين، معدل الدوران.