

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –



MEMOIRE

Préparé pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de production

Par : BERNOU Salah-Eddine Oussama

Intitulé

Utilisation d'un AS/RS à navette dans la gestion d'un Warehouse

Encadrant : Mr. Maliki Fouad

Président : Mme. Ghomri Latefa

Examineur : Mme. Kouloughli Sihem

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1. Chapitre 1 : Introduction aux systèmes de stockage/déstockage automatiques AS/RS | 3 |
| 1.1 Introduction | 4 |
| 1.2 Définition, fonction, composition et l'utilité d'un AS/RS | 4 |
| 1.2.1 Définition | 4 |
| 1.2.2 Fonction | 5 |
| 1.2.3 Composition | 5 |
| 1.2.4 Terminologie | 5 |
| 1.2.5 Utilité | 7 |
| 1.2.6 Inconvénients | 8 |
| 1.3 Les types des AS/RS | 9 |
| 1.3.1 Les systèmes classiques | 9 |
| 1.3.2 Les AVS/RS | 12 |
| 1.4 Conception | 14 |
| 1.5 Méthodologie de stockage | 14 |
| 1.5.1 Stockage dédié | 14 |
| 1.5.2 Stockage aléatoire ouvert | 14 |
| 1.5.3 Stockage aléatoire par classe | 15 |
| 1.6 Mesure de performance | 15 |
| 1.7 Etat de l'art | 16 |
| 1.8 Conclusion | 17 |
| 2 Chapitre 2 : Optimisation des dimensions d'un AS/RS à étagères profonds | 18 |
| 2.1 Introduction | 19 |
| 2.2 Description d'un AS/RS à étagères profondes | 19 |
| 2.3 Fonctionnement d'un AS/RS à étagères profondes | 20 |
| 2.4 Expression analytique | 21 |
| 2.5 Formulation du problème | 22 |
| 2.5.1 Contraintes | 22 |
| 2.5.2 Démonstration | 23 |
| 2.5.3 Changement de variable | 24 |
| 2.5.4 Domaine de définition | 25 |
| 2.6 Résolution de problème | 26 |
| 2.7 Conclusion | 27 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3 | Chapitre 3 : Interprétation de résultats | 28 |
| 3.1 | Introduction | 29 |
| 3.2 | Valeurs minima | 29 |
| 3.3 | Situation globale de minima | 29 |
| 3.4 | Représentations graphiques | 29 |
| 3.5 | Conclusion..... | 35 |
| 4 | Conclusion générale | 37 |
| 5 | Références | 38 |

Liste des tableaux :

Table 1: Représentation de résultats en fonction de N

29

Liste des figures:

| | |
|---|----|
| Figure 1 : AS/RS à charge unitaire | 9 |
| Figure 2: AS/RS multi allées | 10 |
| Figure 3: AS/RS à racks glissants..... | 10 |
| Figure 4: AS/RS à mini charge | 11 |
| Figure 5: AS/RS à carrousel | 11 |
| Figure 6: AS/RS à personne embarquée | 12 |
| Figure 7: Navette (Shuttle) | 12 |
| Figure 8: AS/RS multi deep..... | 13 |
| Figure 9: Représente AS/RS Deep Lane..... | 19 |
| Figure 10: Configuration du système interne | 20 |
| Figure 11: Représentation1 3D pour N = 1000..... | 30 |
| Figure 12: Représentation2 3D pour N = 1000..... | 30 |
| Figure 13: Représentation3 3D pour N = 1000..... | 31 |
| Figure 14: Représentation1 3D pour N = 10000..... | 32 |
| Figure 15: Représentation2 3D pour N = 10000..... | 32 |
| Figure 16: Représentation3 3D pour N = 10000..... | 33 |
| Figure 17: Représentation1 3D pour N = 100000..... | 33 |
| Figure 18: Représentation2 3D pour N = 100000..... | 34 |
| Figure 19: Représentation3 3D pour N = 100000..... | 34 |

Remerciement

J'ai l'honneur dans cette prestigieuse occasion d'adresser mes sincères remerciements à toute personne qui m'a formé, aidé, qui ont été collaborés pour donné le maximum pour cette formation et pour les étudiants de cette filière, à toute personne quel veut voir l'amélioration de niveau de bagage d'expertise dans notre entourage, je tiens mes chaleureux remerciements et je profite pour vous dire que je suis très content de vous connaître et que l'honneur face à votre connaissance.

A toute personne aspirant à l'amélioration du niveau et de bagage d'expertise dans notre entourage, je tiens à présenter mes chaleureux remerciements et je profite pour exprimer administration et respect à son égard.

Que dieu soit loué et vénéré pour la force et le courage qui ont pavé le chemin vers l'accomplissement de nos études et pour l'aboutissement à ce mémoire.

Je dédie mes remerciement à mon encadreur F.Maliki d'être chargé par la direction de notre mémoire et d'être toujours accueillant depuis le début, d'avoir donné des conseils, des directives, de la confiance pour mettre en action les différentes tâches de notre travail.

J'adresse mes remerciements aussi à Mme.GHOMRI Latefa et Mme KOULOUGHLI Sihem d'avoir accepté d'être des membres de jury et pour l'évaluation de notre travail.

Je tient à remercier aussi mes parents tout d'abord à tous leur sacrifice pour que j'arrive à ce moment là, sont mes bras, mes pensées et mes efforts.

Je remercie aussi tout mes amis et camarades, qui m'ont aidé et d'être debout avec moi depuis le début, et lesquels ont ma donné de l'aide à chaque fois que j'avais besoins.

Alors je profite pour cette occasion de remercier mon cher ami FOUHAL Aymen pour son aide à la réaliser ce document, sans oublier de remercier mon cher ami et mon cher cerveau BOUCHIKHI Taha Youcef pour sa motivation continue et pour son accompagnement durant ma formation et être toujours devant moi.

Introduction générale

Introduction générale

Avec l'avènement du commerce électronique, et dépendamment avec la crise mondiale du COVID-19, les entrepôts ont subis une charge, ce qui veut dire un changement dans leurs environnements. Les services d'entreposage sont de plus en plus demandés. En revanche, le processus le plus laborieux et le plus coûteux c'est la préparation des commandes, est trop répétitif, souffre généralement d'une mauvaise ergonomie et nécessite une main-d'œuvre de haute qualité pour se préparer au travail, généralement difficile à obtenir. Par conséquent, il n'est pas surprenant que les systèmes et processus d'entreposage soient des candidats clés pour l'automatisation.

Les AS / RS sont largement utilisés dans diverses industries en tant qu'élément important du système de fabrication flexible. Le but principal de l'introduction de l'AS / RS est d'éliminer les déplacements à pied, qui représentent 70% du temps de recherche manuelle (Lee 1997).

Ces dernières années, en raison des principaux avantages offerts par les systèmes de stockage/déstockage automatisés (AS/RS), tels que les délais des opérations de stockage/déstockage, temps de réponse aux commandes, des économies de main-d'œuvre et d'espace au sol. Ils sont devenus le centre d'attention de nombreuses entreprises. Des opérations d'entrepôt plus fiables, réduisant les erreurs de traitement et améliorant les niveaux de performance.

Les systèmes AVS / R (système de stockage et de récupération basé sur des véhicules autonomes ou des navettes) ont donné un grand coup de pouce dans l'entreposage. Ces systèmes utilisent des racks avec des allées et déploient des navettes autonomes qui circulent en profondeur.

Les caractéristiques de ces systèmes de stockage sont la grande quantité de chaque produit et la combinaison limitée des stocks. Ils sont organisés par des étagères profonds et utilisés pour stocker des produits similaires.

Dans notre mémoire, on cible à optimiser le temps de cycle d'un AS/RS (Deep Lane) selon une meilleure configuration du design. Dont, la profondeur qui jouit un rôle direct d'effet sur le cycle. La détermination de la profondeur de canal optimale de l'unité de stockage entrant affectera les performances globales en termes d'espace et de temps, ainsi que la disposition de la zone de stockage, le choix du mode de stockage et l'équipement approprié.

Dans notre premier chapitre, on pose une généralité sur les AS/RS, on les définit et on les classe, ensuite on va parler sur les critères de performances d'un système de stockage et déstockage automatique, et finissons par un état de l'art qui doit inclure des différentes recherches similaires.

Dans le deuxième chapitre, on cible à optimiser le temps de déplacement en variant les paramètres de dimensions d'un système de stockage/déstockage pour trouver les dimensions optimales, en travaillant avec une expression analytique développé par Manzini et al [8], et on ajoute pour l'expression le temps de déplacement vertical pour qu'on peut trouver les trois dimensions optimales avec une relaxation sur cette dernière.

Dans le troisième chapitre, on obtient les résultats finaux et on va faire une représentation graphique avec Maple.

1.Chapitre 1 : Introduction aux systèmes de stockage/déstockage automatiques AS/RS

1.1 Introduction

Les AS/RS sont des systèmes de stockage et déstockage automatiques servent à améliorer les activités des entrepôts afin de réduire les coûts de stockage et de manutention, réduire les risques dans un entrepôt, réduire le temps de réponse pour une commande et bien sûr gérer facilement l'ensemble de produits dans le stock.

Le stockage est parmi les systèmes automatisés qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement des systèmes de production. Ce dernier doit être le plus petit possible (afin de minimiser l'investissement initial, le nombre de produits stockés, les durées de stockage). En même temps, il doit réagir très rapidement à une demande de stockage ou de déstockage, pour minimiser les temps d'attente au niveau de la production.

Le système de stockage/récupération automatique (AS/RS) a été adopté il y a de nombreuses années, non seulement comme substitut aux systèmes de stockage traditionnels, mais également comme partie intégrante de la production de systèmes de stockage. Ils peuvent augmenter la productivité des organisations de fabrication et de distribution, réduire les coûts de stockage et améliorer le flux d'articles et la gestion des ressources. Ils ont une grande flexibilité d'interfaçage avec les autres composants du FMS (système de transport, contrôle, etc.), et peuvent gérer divers articles (outils, matériaux, palettes, produits, support...) de fabrication, d'entreposage et de demandes de service pour les applications de distribution. De plus, ils utilisent le moins d'espace. L'efficacité des AS/RS rend ces derniers un composant essentiel dans un entrepôt, ils permettent d'obtenir une grande capacité de stockage, et livrer des lots de produits de grandes quantités.

Un système de stockage et déstockage automatique contient des outils de transport et de manutention et des rayonnages de palettisation pour le stockage des produits. Il est géré par un système informatique de contrôle et d'information. Les composants automatiques sont connectés entre eux pour pouvoir coordonner les opérations qui sont effectuées par les différentes machines. Les AS/RS sont nombreux, chacun est spécifié par ces machines et outils de manutention, par son type de concept de rayonnage de palettisation et par sa fonctionnalité.

Dans ce chapitre, on va définir un AS/RS. On va voir de quoi il est composé et quels sont les différents avantages et inconvénients pour son utilisation. On va faire une classification des différents AS/RS, après on va passer par sa conception et parler sur la méthodologie de stockage, on va citer les mesures de performances d'un AS/RS, après on va passer par un état de l'art et finir par une conclusion.

1.2 Définition, fonction, composition et l'utilité d'un AS/RS

1.2.1 Définition

« Les AS / RS sont largement utilisés dans diverses industries en tant qu'élément important du système de fabrication flexible. Le but principal de l'introduction de l'AS / RS est d'éliminer les déplacements à pied, qui représentent 70% du temps de recherche manuelle » (Lee 1997).

Selon Materials Handling Institute [29], un système automatisé de stockage/déstockage est défini par comme étant une combinaison d'équipements et de systèmes de contrôle qui manipule, stocke, et déstocke des matériaux avec précision, exactitude et célérité, sous un certain degré d'automatisation.

1.2.2 Fonction

La fonction d'un AS/RS (système de stockage/déstockage automatique) ne se limite pas juste au stockage. A pour fonction de stockage de produits, palettes et plusieurs types d'articles, et il le met sous contrôle à l'aide des outils de contrôle. Il gère automatiquement l'ensemble de stockage, à l'aide d'un système informatique qui est connectés avec le système pour bien organiser sa gestion de stock et facilement aussi, ce dernier donne l'ordre aux différents outils d'automatisation et de manutention pour faire des opérations de stockage et déstockage, et pour déterminer le chemin de déplacements nécessaires pour le produit nécessaires et dans le temps nécessaire. Un AS/RS peut se déplacer et stocker ou bien récupérer les palettes/produits à l'aide des outils de manutention, d'automatisation et dernièrement robotisation.

Un système automatisé de stockage/déstockage (AS / RS) a pour fonction de recevoir, identifier, classer, mettre en stock, déstocker, emballer des produits. Il sert aussi à emmagasiner les produits en cours de production, la matière première, les pièces détachées, les palettes, les supports, les outils...

1.2.3 Composition

Un système de stockage/déstockage automatique est composé de :

- ❖ Un point d'entrée/sortie des palettes (dépôt/livraison).
- ❖ Outils de manutentions qui transportent les palettes vers/depus et dans le système.
- ❖ Machine de stockage/déstockage.
- ❖ Outils de contrôle qui donne les informations nécessaires sur l'ensemble de tous les produits stockés, livrés et approvisionnés.
- ❖ Un système informatique qui gère le système et qui représente aussi un système d'information.
- ❖ Allées ou des couloirs où circulent les machines de stockage/déstockage.

Un système automatisé de stockage/déstockage est composé d'une série d'allées avec des étagères de stockage de part et d'autre, en général il y a une machine de stockage et de déstockage par allée et un point d'entrées/sorties, La supervision et le contrôle est fait à l'aide d'un système de contrôle qui assure le bon fonctionnement du système.

1.2.4 Terminologie

- ❖ Casier : c'est l'espace nécessaire pour stocker un produit, palette, charge unitaire ... Comme il peut contenir un seul emplacement, il peut contenir aussi deux emplacements

lorsqu'on parle sur les systèmes classiques. Pour les AVS/RS, un casier contenir plusieurs emplacements dans la profondeur.

- ❖ Allée : c'est l'espace nécessaire où circule une machine de stockage/déstockage ou bien qui sépare deux racks voisins. Les allées sont apparues en dehors de système, mais sont appartiennent au système.
- ❖ Etagère : c'est l'ensemble des casiers forment un niveau horizontal du rack. Chaque étagère représente un niveau de système. Généralement, les étagères qu'existent dans un AS/RS sont les mêmes et ont la même configuration.
- ❖ Couloire : trouvé dans les systèmes profonds dans un étagère d'une façon horizontale. Il est considéré pour assurer le passage de la navette d'un casier à autre.
- ❖ Couche : c'est l'ensemble des emplacements dans un casier, qui doivent former une profondeur, l'un après l'autre, qui débute avec le premier emplacement d'un casier apparait depuis le couloir et finira avec un emplacement au bout de la profondeur.
- ❖ Baie : l'ensemble de casiers du sol au plafond en formant une colonne. Pour mieux détailler, dans le cas de notre étude, c'est l'ensemble des emplacements qui se trouvent verticalement du sol au plafond l'un après l'autre.
- ❖ Rangée : c'est l'ensemble de baies lesquels viennent l'un après l'autre, en formant une face extérieure qui doit être apparaitre dans l'allée dans les systèmes classiques. Dans les systèmes profonds seulement la première rangée qui doit être apparue et peut contienne le couloir de passage de la navette.
- ❖ Machine S/R : (Storage/Retrieval machine). C'est la machine automatique de stockage et déstockage. Connaitre aussi par 'Transtockeur' dans le domaine commercial. C'est une grue mobile qui sert à stocker et déstocker les palettes ou bien les charges unitaires, et les transporte vers leurs casiers ou bien vers la station entrée/sortie.
- ❖ Station P/D : (*Pickup/Deposit station*). C'est la station entrée/sortie, ou bien la station Dépôt/Livraison). Trouvée au sol et l'extérieur du rack dans les systèmes classiques, et dans chaque niveau dans un AS/RS profond ou bien une colonne où circule l'élévateur.
- ❖ Elévateur : c'est une machine automatique qui contient un convoyeur à accumulateur, et qui sert à transporter les charges unitaires et les navettes d'un niveau à l'autre, juste verticalement.
- ❖ Navette : (Shuttle) C'est une plateforme mobile automatique, contient un satellite, et qui transporte les palettes et les charges unitaires dans un niveau du rack. Circule horizontalement au niveau de couloir. Elle détermine la couche nécessaire où se faire un

stockage/déstockage. Connectée avec l'élévateur et déplacer entre l'emplacement de la couche et l'emplacement de station E/S.

- ❖ Satellite : une plateforme mobile aussi, transportée par la navette, elle déplace dans la profondeur des couches où se trouve les emplacements de stockage, sert à transporter les palettes et faire les opérations de stockage/déstockage, en déplaçant sous les palettes dans la profondeur, horizontalement dans le sens inverse de navette dans un niveau.

1.2.5 Utilité

Un système AS/RS garantir beaucoup d'avantage pour le domaine de production, il est utile pour :

- ❖ Diminution de l'espace requis pour le stockage : un entreposage sans un AS/RS consomme beaucoup d'espace, comparant avec un stockage basé sur un système AS/RS qui garantir l'espace pour mettre en place une(des) autre(s) zone(s) de stockage ou bien pour laisser l'espace pour mieux augmenter sa productivité, et qui donne la possibilité pour entreposer dans un certain petit espace.
- ❖ Augmenter sa capacité de stockage : un AS/RS garantir l'augmentation de la capacité en double et en plusieurs fois, profitant de l'espace tridimensionnel en hauteur et profondeur, longueur et largeur du même espace.
- ❖ Gérer et contrôler mieux son stocke : un AS/RS mis sous contrôle tout l'ensemble des produits stockés dans le système, et donne les informations nécessaires et précises sur le tout du stockage (quantité, produits présents, le temps lequel le produit est stocker/déstocker, ...etc.), pour bien faciliter la gestion en donnant l'ordre au fur et à mesure ou bien une métaheuristique qui traite des tâches répétitives qui doit être ordonnancer automatiquement.
- ❖ Améliorer l'ordonnancement des demandes : grâce à un système de contrôle et d'informations précis, l'ordonnancement des taches de stockage/déstockage peut être optimiser.
- ❖ Réduction de temps de réponse : un AS/RS donne la possibilité d'optimiser le parcours de la machine S/R entre l'emplacement de casier exécuter et la station P/D le minimum possible.
- ❖ Réduire le taux de stockage : lorsqu'un AS/RS garantir l'espace pour d'autres stockages, et une bonne gestion de stock, le taux de stockage va se réduire évidemment.
- ❖ Augmentation de flux de déstockage : grâce à un temps de réponse vite, la quantité de produits quittent le système par rapport au temps doit être augmentée. Donc ils nous

garanties un critère de performance important pour les AS/RS, et ça ce qu'on le trouve très important aux yeux des managers des entrepôts lorsqu'ils voient que la rotation de la marchandise dans leur entrepôt roule bien.

- ❖ Réduction du risque de rupture de stock : un AS/RS garanti toujours une bonne gestion de stock ce qui nous conduit vers l'ignorance de risque de rupture de stock.
- ❖ Réduction de la main d'œuvre : lorsque l'automatisation du système est élevée, la main d'œuvre doit être diminuée. Les outils de transport et de manutention ont donné une grande efficacité lors du remplacement de l'être humain dans le système. Même pour le stockage à température modérée ou froide, de préférence pour tout le monde d'éviter la circulation. Des nouveaux systèmes sont apparus qui se basent sur des robots AGV et qui consistent à éliminer toute circulation à pied des travailleurs.
- ❖ Diminuer le coût de fonctionnement : lorsque la gestion devient plus facile, les pertes de marchandises n'existent plus, la main d'œuvre réduite, petit temps de réponse et un grand flux de produits sortent depuis le système, les AS/RS garantissent un grand bénéfice avec un petit coût de fonctionnement.
- ❖ Augmenter la sécurité : comme un AS/RS est un endroit fermé, il permet d'offrir mieux de sécurité dans un entrepôt. La sécurité est un critère important pour commercialiser son service dans le domaine de l'entreposage.
- ❖ Diminuer la détérioration des produits : lorsque les produits sont exécutés sans intervention humaine, automatiquement les produits sont traités de façon précise et exacte, sans faute. La détérioration des produits sera presque éliminée.
- ❖ Augmenter le rendement de la production : pour le côté de la production, les AS/RS donnent l'avantage pour planifier mieux sa production, en basant sur des critères offerts par l'AS/RS comme le flux de produits qui quittent le système.
- ❖ Détournement de stockage : un AS/RS assure la bonne gestion comme nous avons dit, le temps de remplacer les produits stockés par des nouveaux produits dans le système doit être réduit, alors les produits restent stockés dans le système pour le minimum possible de temps.

1.2.6 Inconvénients

Les AS/RS sont très avantageux, mais pour mettre en place ce système il est nécessaire de planifier à long terme avant le lancement de projet, car :

- ❖ Une fois le système est placé, il est difficile de modifier ou placer un autre système d'une part.

- ❖ Et d'une autre part, l'investissement initial est très cher.

1.3 Les types des AS/RS

Les systèmes automatiques de stockage/déstockage sont de nombreux types, on peut les classer souvent deux catégories différentes. La première pour les systèmes classiques, et la deuxième catégorie sont des systèmes AVS/RS (Autonomous Vehicle Storage/Retrieval System).

1.3.1 Les systèmes classiques

Les systèmes classiques sont les systèmes anciens dans le domaine et qui sont mises en marche dans la plupart des entrepôts, et sont les suivants :

1.3.1.1 AS/RS à charge unitaire

Sont utilisés pour stocker des charges unitaires dans des palettes ou des conteneurs standard. La charge est généralement supérieure à 250 kg/unité. Habituellement, le système est contrôlé par ordinateur. Équipé d'une machine de stockage/récupération S/R.



Figure 1 : AS/RS à charge unitaire

1.3.1.2 AS/RS multi allées

Est une variation d'un AS/RS à charge unitaire, contient plusieurs allées qui sont reliées à une allée principale, la machine S/R circule dans les allées en transportant des palettes vers la station P/D ou vers leur emplacement nécessaire. Les casiers peuvent être à double emplacement (deux charges dans le même casier).

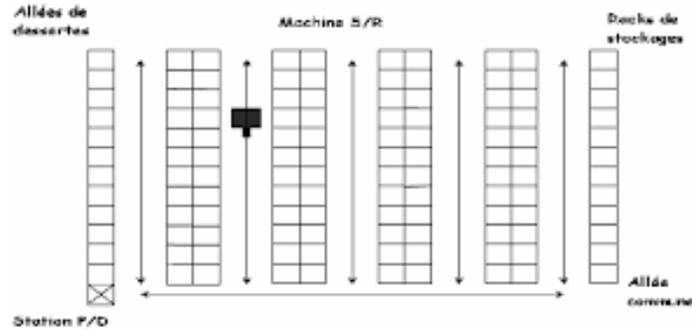


Figure 2: AS/RS multi allées

1.3.1.3 AS/RS à racks glissants

Est une variation d'un AS/RS multi allée, les racks peuvent se déplacer à l'aide d'une raille et un contrôle par ordinateur ou micro-contrôleur, en créant et supprimant des allée dans le bon moment pour la circulation de la machine S/R et les opérations S/R, en créant l'allée nécessaire pour arriver au bon emplacement. Ce type garantit mieux l'espace, et une capacité supérieure qu'un AS/RS multi-allée.

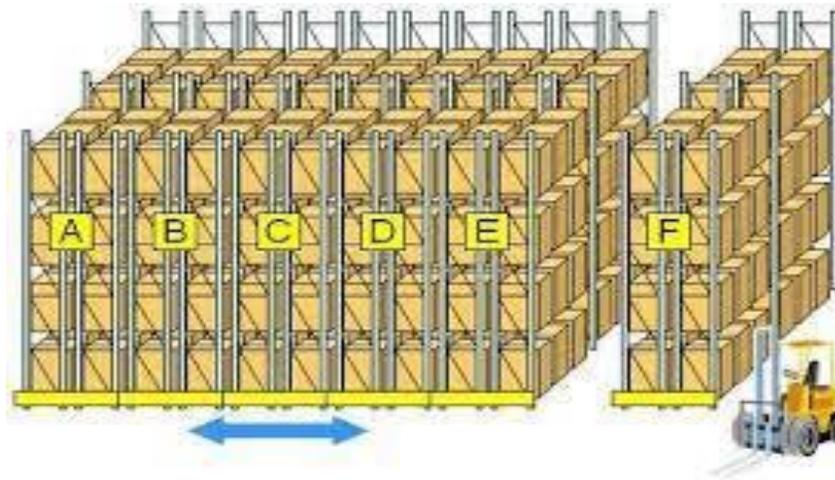


Figure 3: AS/RS à racks glissants

1.3.1.4 AS/RS à mini charge

C'est pour stocker des petites charges, utilisé dans les magasins beaucoup plus, il est basé sur des contenaires et qui contiennent plusieurs produits, ce dernier va déplacer vers l'opérateur qui doit faire le traitement lorsqu'il est sélectionné.

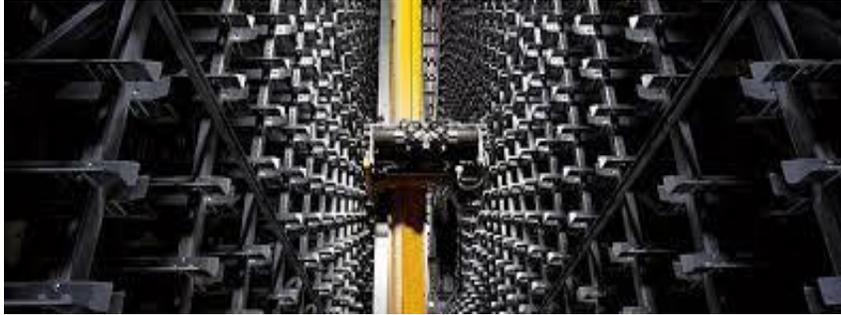


Figure 4: AS/RS à mini charge

1.3.1.5 AS/RS à carrousel

Il est considéré comme un système dédié pour le stockage à mini charge aussi, il facilite la sélection des produits lorsqu'il avait des étagères mobiles qui tournent, basée sur des rails, des moteurs rotatifs qui assurent le mouvement, contrôlé par ordinateur ou micro-contrôleur. Ce système permet de sélectionner tout un étagère et travailler sur ceci, le temps de recherche des produits est réduit lorsque ces étagères déplacent ce qu'il veut dire un temps de déplacement à pied est nulle pour les opérateurs qui travaillent sur le système.



Figure 5: AS/RS à carrousel

1.3.1.6 AS/RS à personne embarqué

Un système qui se base sur un opérateur au lieu de la machine S/R, les opérations S/R sont faites manuellement, ce système est utile lorsqu'on a besoin d'une intuition humaine dans les différentes opération de stockage et déstockage.



Figure 6: AS/RS à personne embarquée

1.3.2 Les AVS/RS

Autonomous Vehicle Storage/Retrieval System, sont les systèmes profonds qui permettent une haute capacité de stockage, grace à la profondeur de ces casiers plusieurs produits sont stockés dans le meme casier. On connait aussi les SBS/RS (Shuttle Based Satellite Storage/Retrieval System) qui sont des AVS/RS aussi et basée sur une navette équipé d'un satellite.



Figure 7: Navette (Shuttle)

1.3.2.1 AS/RS à convoyeur gravitationnel

Est un AS/RS profond qui contient un rayonnage de paletisation équipé avec un convoyeur gravitationnel et qui doit être ponché d'une façon que les charges peuvent se circuler à l'intérieur de la profondeur, ce système utilise généralement deux machines S/R lorsque les opérations S/R sont de différentes façades, comme on peut trouver un autre genre de ce type lorsque les opérations S/R sont exécutées dans la même façade alors dans ce cas une seule machine S/R est utilisée pour accomplir la mission. Lorsque un AS/RS est profond nécessite une certaine intelligence du système pour qu'il peut gérer l'exécution des produits stockés profondément dans le système. C'est pour ça un AS/RS gravitationnel nécessite un casier pour le restockage.

1.3.2.2 AS/RS Deep Lane

Considérer comme un style de SBS/RS, ce type profond n'utilise pas des machines S/R car les opérations S/R sont faites à l'intérieur du système. Les mouvements verticaux sont assurés par un ascenseur en déplaçant entre les niveaux, la navette circule horizontalement dans un couloir unique dans chaque niveau, le satellite transporté par la navette circule aussi horizontalement vers la profondeur en donnant l'ordre par sa navette.

1.3.2.3 AS/RS Multi Deep

C'est le même principe qu'un Deep Lane, mais la différence c'est que ce système contient un couloir principal dans chaque niveau et des couloirs secondaires aussi, qui nous conduisent vers plusieurs profondeurs dans le même niveau.



Figure 8: AS/RS multi deep

1.3.2.4 AS/RS Live Cube

Appelé aussi un AS/RS 3D, c'est le système le plus intelligent, n'est pas un SBS/RS car ses navettes ne contiennent pas des satellites, sont des navettes bidirectionnelles, elles peuvent circuler

avec plus de liberté dans le système, plusieurs navettes peuvent circuler dans le même niveau et indépendamment, il est utilisé dans les parkings intelligents beaucoup plus, il répond à toutes les exigences et sa configuration ne dépend plus avec les lois de stockage (FIFO, LIFO).

1.4 Conception

Avant de passer à la conception d'un AS/RS il faut savoir les informations et les critères estimés pour y avoir dans l'AS/RS et lesquels sont des paramètres pour la conception pour savoir mettre en compte les outils, procédures, le matériel nécessaire, la superficie du lot terrain exigée, les dimensions tridimensionnelles, et tout ce qui est relié avec notre système. Selon le *Material Handling System Institute*, on cite les paramètres suivants :

- ❖ Dimensions de la charge : largeur, hauteur, profondeur, poids.
- ❖ Dimensions du casier : largeur, hauteur, profondeur.
- ❖ Nombre total de casiers.
- ❖ Structure de l'étagère : charge utile, charge admissible, ...
- ❖ Rendement : le nombre de stockage/déstockage par unité de temps.
- ❖ Nombre de machine S/R, d'élévateur, de navettes, d'allée, d'étagères, ...
- ❖ Durée de cycle : cycle simple, cycle double, cycle multi-adresses, ...
- ❖ Taux d'utilisation des machines.

1.5 Méthodologie de stockage

Avant d'utiliser un AS/RS, il faut estimer pour quelle méthodologie de stockage que ce système fonctionne avec, pour cela on a trois méthodes pour stocker l'ensemble des produits dans le système.

1.5.1 Stockage dédié

L'ensemble de volume du système est partagé à un certain nombre d'aires de stockage selon le nombre de produits stockés dans le système. Chaque type de produit est stocké dans sa propre aire de stockage, pour faciliter la gestion de stock et le contrôle aussi. L'inconvénient c'est que ces aires de stockage nécessitent un certain espace pour chacune, donc l'augmentation de l'espace de stockage est assurée. D'autre part, le système devient moins flexible grâce à cette méthodologie, car on ne peut pas ajouter un nouveau type de produit dans l'ensemble de stockage et même les nouvelles quantités des fois la capacité maximale est atteinte facilement.

1.5.2 Stockage aléatoire ouvert

Il sert à stocker n'importe quel produit dans n'importe quel casier, c'est totalement aléatoire. Pour l'appliquer il faut mettre en place un système de contrôle très élaboré qui sert à mémoriser tous les emplacements des produits stockés dans le système et même les emplacements vides

aussi, et des heuristiques pour exécuter les différentes opérations de déstockage. Le stockage aléatoire augmente la capacité de stockage des produits jusqu'à 40 %. Le stockage aléatoire ouvert donne une grande flexibilité pour le système.

1.5.3 Stockage aléatoire par classe

C'est un stockage aléatoire aussi mais qui sert à subdiviser l'espace total de stockage à plusieurs zones de stockage lesquels sont appelés des classes, le nombre de ces classes est réduit le minimum possible, si non, on peut tomber dans une problématique correspond celle du stockage dédié. L'essentiel de cette pratique sert à diminuer le temps de cycle du système d'environ 40 %, et pas seulement la capacité de stocker plus de produits. Pour faire, la première subdivision ou la première classe vient au premier soit la plus proche classe à la station P/D et quel contient les produits qui ne durent pas longtemps ou bien d'autre part les types de produits qui sont beaucoup plus exécuter que les autres produits, alors les opérations S/R sur ces produits sont très fréquentes et représentent la majorité de temps de fonctionnement des machines S/R et la réduction du temps de cycle de ces produits réduire 40% du temps de réponse de notre système. Pour la deuxième classe, elle contient les produits qui sont moins fréquents que les produits de la première classe, et ainsi de suite, et c'est la même chose pour les classes qui viennent au suivant, jusqu'à la dernière classe qui contient les produits qui durent longtemps dans le système. Selon la politique du stockage par classes, les produits dans l'entrepôt sont divisés en groupes basés sur leur fréquence d'entrée/sortie. Ces groupes de produits sont assignés à une région (classe) où le nombre de régions est égal au nombre de groupes. L'attribution des groupes d'articles aux régions est faite selon la fréquence d'entrée/sortie. Ainsi, la région dont découle le plus faible temps moyen de déstockage (restockages compris) est assignée au groupe d'articles avec la fréquence la plus élevée. Ce processus continue jusqu'à ce que la région donnant le plus fort temps moyen de déstockage soit assignée au groupe d'articles avec la plus basse fréquence.

1.6 Mesure de performance

- ❖ *Capacité de stockage* : c'est la limite maximale de contenir le maximum nombre possible de produits dans le système.
- ❖ *Densité de stockage* : c'est un taux qu'on peut le calculer, c'est l'espace total destiné au stockage de produits sur l'ensemble de tout l'espace tridimensionnel consommé par le système.
- ❖ *Flux de stockage/déstockage* : c'est le taux des produits entrants/sortants du système par rapport à la notion du temps.
- ❖ *Utilisation* : c'est le taux du temps de fonctionnement du système par rapport au temps que le système est disponible.

- ❖ *Disponibilité* : temps d'utilisation du système sur le temps travail normal de la journée.
- ❖ *Temps de cycle* : c'est le temps de réponse du système, ou bien c'est le temps du parcours de la machine S/R pour effectuer une opération de stockage/déstockage.

1.7 Etat de l'art

Les AS/RS sont considérés comme un vaste domaine de recherche, des recherches similaires ont été effectuées sur plusieurs types des AS/RS. Les recherches établies dans ce domaine sont pour ajustement des performances dans le but de développement. Lorsqu'on parle sur les performances dans un AS/RS, on parle sur le temps de réponse de système, ou bien on parle sur les paramètres de dimensions nécessaires pour ce système, ou pour savoir la capacité maximale de notre système, pour minimiser les coûts et la consommation d'énergies aussi. Les études sur les systèmes classiques sont existées d'une majoritaire dans le domaine.

Ghomri et al [6] ont développé une expression analytique pour optimiser le temps de cycle d'un AS/RS multi allées pour simple et double cycle, et d'un casier à l'autre, Kouloughli et al [7] ont utilisé cette expression avec une relaxation de l'expression pour optimiser le temps de cycle d'un AS/RS multi allées.

Accorsi et al [1] ont optimisé le temps de cycle d'un AS/RS à étagères profonds, Antonio et al [3], Erken et al [4] ont optimisé les frontières de classes de stockage, Martin et al [5] ont évalué la performance d'un AS/RS à étagère profond en utilisant le réseau de file d'attente pour travailler sur le temps discret. Manzini et al [8] ont développé des modèles mathématiques pour optimiser les dimensions d'un niveau d'un AS/RS à étagères profonds pour plusieurs configurations. René et al [12] aussi ont travaillé sur les dimensions optimales du même système. Nima Zaepour et al [13] ont travaillé sur l'optimisation de frontières de classes pour un AS/RS Live Cube. Sari et al [10] ont évalué les performances d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel, Meghilli et al [9] ont optimisé les frontières de stockage par classe pour le même système.

Les études établies sur les AVS/RS dans la littérature est plus récente et remonte à 2002, lorsque Malmborg et al [25] mette en place les premières conceptions sur les outils qui sont utilisés dans un AVS/RS. La contribution publiée la plus récente est présentée par Ekren et al [23] lorsqu'il a proposé une matrice géométrique comme solution en travaillant avec les réseaux de file d'attente. Les études sur l'AVS/RS distinguent deux solutions différentes : la configuration dite de niveau à niveau et la configuration de niveau à captif. Dans la première, les véhicules se déplacent d'un niveau à l'autre des racks de stockage à l'aide d'ascenseurs (Malmborg et al [25]). Dans la configuration captive par niveau, chaque véhicule est dédié à un seul niveau et les ascenseurs sont utilisés uniquement pour déplacer les charges unitaires vers les niveaux de destination (Heragu et al [26], Marchet et al [27]).

Marchet et al [28] identifient des études liées à la conception de la configuration de rack AVS/RS et se concentrent principalement sur les systèmes avec une configuration de niveau à niveau et une charge unitaire palettisée comme unité de manutention. En particulier, Marchet et al [28] se sont concentrés sur la configuration à étages et le développement d'un modèle basé sur les coûts pour déterminer la disposition du système. L'analyse de validation a utilisé une approche de simulation.

Malmborg et al [25] a présenté un modèle permettant d'estimer l'utilisation des véhicules et le temps de cycle en fonction du nombre de colonnes de stockage, de niveaux, de véhicules et d'ascenseurs dans un AVS/RS de niveau à niveau. D'autres contributions, principalement basées sur l'adoption de la simulation, se trouvent dans Fukunari et al [24] lorsqu'ils ont fait une simulation pour démontrer l'effet du temps de cycle sur le total de système entier (AVS/RS). Malmborg et al [25], Ekren et al [22] qui certifient l'identification des paramètres de dimensions en basant sur l'effet sur le système avec une simulation, Ekren et Heragu [20] simulent déterminer les meilleures configurations d'un système AVS/RS. Ekren et al [21] comparent les performances de deux systèmes.

Des contributions sur le temps de cycle sont présentées par certains auteurs, comme l'expliquent et le classent Marchet et al [28], mais tous ces auteurs n'abordent pas les AVS/RS pour voies profondes, c'est-à-dire les AVS/RS qui utilisent le stockage dans la profondeur des casiers.

Sari et al [14] et Sari [15] propose un modèle exact et un autre approché du temps de cycle pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel ont été développé. Le modèle approché est basé sur une approche continue, où le rack est supposé continu. Le modèle exact est basé sur une approche discrète. Les expressions des deux approches sont comparées via la simulation. S multi allées en considérant que l'ensemble des racks représentent un espace continu.

Guezzen et al [17] ont développé deux modèles analytiques continus de temps moyen de simple cycle pour un AS/RS à rack glissants. Dans le premier modèle les auteurs considèrent le cas où le temps de glissement des racks est inférieur au temps de déplacement le long de l'allée principale. Dans le deuxième modèle, ils ont considéré le cas où le temps de glissement des racks est supérieur au temps de déplacement le long de l'allée principale.

Dans Kouloughli et al [16], les auteurs ont fixé l'une des trois dimensions du l'AS/RS multi allées et déterminé les deux dimensions optimales restantes.

Dans Sari et al [18], les auteurs se sont intéressés à développer une expression analytique pour le temps de cycle d'un nouveau type d'AS/RS à profondeur multiple composé d'une seule machine S/R et de convoyeurs gravitationnels.

Azouz [19] s'est intéressé à l'optimisation des dimensions du rack d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel pour un temps de cycle minimal, les résultats obtenus ont permis de développer une solution analytique et de définir un optimum sur une large fourchette de configurations.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a bien expliqué et défini les différentes notions d'un système de stockage et déstockage automatique, les différents types, on a mis des détails sur leurs principaux composants, les méthodes de stockage, leur concept, la façon comment ils fonctionnent, les avantages et les inconvénients pour l'utilisation d'un AS/RS. Tout ça pour qu'on peut passer à notre deuxième chapitre, il faut bien comprendre comment ils marchent ses systèmes pour pouvoir comprendre d'autres détails dans le second chapitre, alors on peut dire que c'est une initiation dans le domaine.

2 Chapitre 2 : Optimisation des dimensions d'un AS/RS à étagères profonds

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, on vise à comprendre les détails sur un AS/RS à étagères profondes (Deep-Lane) et son fonctionnement, pour qu'on peut analyser l'expression analytique proposé par Manzini et al [8], notre but est de développer cette fonction pour qu'elle représente les trois paramètres de dimensions pour les déplacements dans un AS/RS Deep-Lane. Après que cette fonction soit développée, on vise à réduire ses variables et optimiser cette fonction pour déterminer les paramètres de volume tridimensionnel optimales avant de construire un système de stockage/déstockage profond. D'autrement, on peut dire qu'on minimise le temps de parcours ou bien on maximise l'espace de stockage d'une façon que le temps de cycle soit le plus petit minimum possible.

2.2 Description d'un AS/RS à étagères profondes

Un AS/RS à étagères profond est constitué par un seul rack qui contient plusieurs étagères et plusieurs casiers avec plusieurs couches de profondeur, on dirait que c'est une variation des AS/RS à charge unitaires qui sont attachés l'un à l'autre sans aucun espace pour les allées de circulation de la machine S/R avec une absence de cette dernière dans le système de stockage/déstockage automatique, car d'autres équipements de manutention sont essentiels et sont chargés d'effectuer les opérations nécessaires de transport des palettes et de stockage/déstockage. L'élévateurs sont chargés pour effectuer les transports verticaux, les navettes pour le transport horizontal, le satellite aussi transporte horizontalement mais effectue aussi les opérations de stockage/déstockage qui arrivent dans la profondeur des casiers au sein de système.

Dans un AS/RS Deep Lane plusieurs nombres d'élévateurs et de navettes avec satellites, on peut trouver plusieurs élévateurs avec plusieurs stations P/D, comme on peut trouver un seul élévateur avec une seule stations. Le nombre des navettes est égal au nombre de satellites dans le système et peut ce nombre être optimisé.



Figure 9: Représente AS/RS Deep Lane

2.3 Fonctionnement d'un AS/RS à étagères profondes

A l'état initial, l'élévateur se trouve dans la station P/D. Les navettes dans ces points de repos qui sont les points plus proches au chemin d'élévateurs. Chaque navette est portée d'un satellite.

Pour un stockage, l'élévateur réceptionne la charge unitaire dans la station P/D, il monte verticalement et freine dans l'étagère nécessaire, il passe la charge pour la navette qui se trouve dans son point de repos prêt de l'élévateur, le satellite fixe la charge dans la navette qui fait son rôle de transport jusqu'à le casier nécessaire pour faire un stop, le satellite qui la navette en prenant la charge dans la profondeur du casier pour la décharge dans l'emplacement nécessaire et revienne dans la navette qui se revienne aussi dans son point de repos.

Pour un déstockage, l'élévateur monte à l'étagère nécessaire et donne l'ordre à la navette pour faire un déstockage, elle part au casier nécessaire et dans l'arrivée le satellite quitte la navette et revenir la charge unitaire ciblés et il monte sur la navette pour revenir à l'élévateur et fait lui passer la charge. L'élévateur prend la charge et descend avec elle jusqu'à la station P/D pour déposer la charge qui va sortir du système.

Dans le temps de repos, la navette prend le satellite pour les divers casiers pour gérer l'ensemble de stockage des charges.

Pour la configuration, on suppose que dans chaque étagère y a un couloir pour la circulation de la navette. L'entrée et la sortie dans l'étagère se trouve dans le même point et que la profondeur est supposée non séparer. La figure suivante représente la configuration d'une étagère :

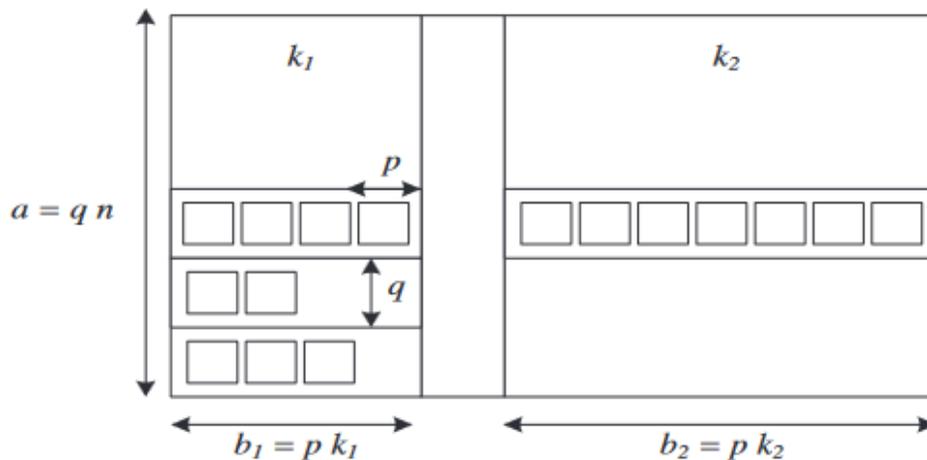


Figure 10: Configuration du système interne

2.4 Expression analytique

Dans notre travail, nous mettrons en cible le système de stockage/déstockage automatique à étagère profondes.

L'expression analytique est développée par Manzini et al [8] en fonction des deux paramètres de dimensions horizontaux pour un seul niveau. Nous estimons de formuler une expression avec trois paramètres de dimensions pour optimiser tout l'ensemble du système entier.

Voici l'expression analytique formulée par Manzini et al [8] :

$$TC = 2 \left(\frac{a}{2 \times V_x} + \frac{p(k+1)}{2 \times V_y} \right) + 2Tf$$

Tel que : Tf est un temps d'une opération de charge/décharge.

Cette expression vise à optimiser les dimensions d'un seul niveau (étagère), les mouvements verticaux sont totalement négligés.

Alors on va innover cette formule pour qu'on ajoute les déplacements verticaux aussi, les temps de charge/décharge (Tf) sont considérés dans les autres temps c'est pour ça on va l'ignorer.

Notre expression contient trois variables :

k : nombre d'emplacements dans la profondeur du casier.

n : nombre de casiers dans un couloir.

m : nombre d'étagère.

L'écriture de l'expression est la suivante :

$$TC = 2 \left(\frac{a}{2 \times V_x} + \frac{p(k+1)}{2 \times V_y} + \frac{c}{2 \times V_z} \right)$$

Tel que :

a = q.n

b = p.(k+1)

c = h.m

Notation :

a : Longueur de l'allée transversal (parcours de la navette)

b : Longueur de la profondeur des casier (parcours du satellite)

c : La hauteur du système (parcours de l'élèveur)

q : largeur de casier

p : longueur d'une profondeur dans un casier

h : hauteur de casier

Vx : vitesse de la navette (constante)

Vy : vitesse de satellite (constante)

Vz : vitesse d'élèveur (constante)

La première formule est développée par Manzini et al [8] et qui servent à résumer mathématiquement les déplacements horizontaux de la navette et de satellite dans un seul niveau seulement, avec une seule navette dans un étage (tier-captive), une seule probabilité d'accès à tous les casiers d'étagères et même le nombre d'emplacements dans la profondeur.

Il prend en considération T_f pour ajoute le temps dont le satellite doit être stoppé pour charger/décharger une charge dans la profondeur, est multiplié fois deux (x2) car ce temps est répété aussi lors de la réception/passage par/pour l'élévateur. Les expressions pour les déplacements aussi sont multipliées fois deux par-ce-que le parcours de déplacements doit être un aller et un retour, donc la navette elle va et vienne, et la même chose pour le satellite lorsqu'il quitte la navette en prendre en charge sa mission dans la profondeur.

En modifiant la première formule pour obtenir la deuxième, on a résumé les trois paramètres de dimensions dans une seule formule mathématique multiplié fois deux (x2) pour que les déplacements dans les trois sens soient un aller et un retour aussi pour que les machines vassent et reviennent. Chaque niveau à sa propre navette, les probabilités d'accès aux étagères sont égales, les probabilités d'accès aux casiers aussi sont égales. On ignore le temps de chargement/déchargement (T_f) pour qu'il n'existe plus dans notre formule, alors cela ne change rien par rapport à l'optimisation, mais le temps de cycle réelle dans le terrain est logiquement supérieur car ce temps de chargement/déchargement est considéré dans la réalité.

La chose la plus importante dans ces paramètres de dimensions c'est la profondeur, dans le fait que nous savons qu'elle est la profondeur optimale d'un système AVS/RS, alors on a l'information la plus importante par rapport au design tant qu'un paramètre de dimension.

2.5 Formulation du problème

2.5.1 Contraintes

Comme tout un système réel, les caractéristiques sont des informations qui mettre en limite les outputs de fonctionnement, ces limites-là sont considérées comme des contraintes dans la modélisation mathématique de ce système. Dans notre cas, la capacité maximale en nombre d'emplacements ou bien quel volume total est dédié pour les emplacements de stockage sont des contraintes qui relient trois variables. Le volume total est représenté par V et la capacité maximale est représentée par N .

Pour optimiser l'expression analytique, nous considérons les contraintes suivantes :

$$k.n.m > 0 ;$$

Les variables « k », « n », « m » représentent des nombres entiers naturels.

Le volume tridimensionnel est représenté comme suit :

$$V = (a) \times (b) \times (c) = (n \times q) \times (p \times (k+1)) \times (m \times h) \quad [m^3]$$

$$N = (n) \times (k) \times (m) \quad [\text{nombre total de produits stockés}]$$

2.5.2 Démonstration

Dans cette partie on va expliquer comment l'expression mathématique est formulée est comment elle égale au temps de cycle.

Le temps de déplacement horizontal d'un point de repos à un casier c'est :

$$T(x) = 2 \left(\frac{1}{a \times V_x} \times \sum_{i=0}^n i \times q \right) = 2 \left(\frac{1}{a \times V_x} \int_0^a x \cdot dx \right) = 2 \left(\frac{1}{a \times V_x} \cdot \left(\frac{a^2}{2} \right) \right)$$

Cette formule résume le temps de parcours horizontal dans l'axe de « x », parcouru par la navette en allant vers un casier quoi que ce soit la distance parcourue est égale à « a ». L'ensemble des casiers dans le passage multipliés fois la largeur de casier, c-à-d qu'elle passe par un casier veut dire qu'elle a déjà parcouru sa largeur « q », « $\sum_{i=0}^n i \times q$ », c'est la distance parcourue par la navette « $\int_0^a x \cdot dx$ ». Lorsque « x » égal « a » l'intégral de la distance parcourue par la lavette égal « $\frac{a^2}{2}$ ». « V_x » c'est la vitesse de la navette, c'est la distance sur le temps, et « $\frac{1}{a \times V_x}$ », c-à-d, le temps sur la distance au carré.

Alors en finir pour trouver le temps de cycle lorsqu'en multiplie fois deux car la navette fait un parcours d'un aller et retour.

Le temps de déplacement horizontal pour un emplacement en quittant la navette c'est :

$$T(y) = 2 \left(\frac{1}{b \times V_y} \times \sum_{j=1}^{k+1} j \times p \right) = 2 \left(\frac{1}{b \times V_y} \int_0^b y \cdot dy \right) = 2 \left(\frac{1}{b \times V_y} \cdot \left(\frac{b^2}{2} \right) \right)$$

Cette formule résume le temps de parcours horizontal dans l'axe de « x », parcouru par le satellite en allant vers un emplacement en quittant la navette quoi que ce soit la distance parcourue est égale à « b ».

L'ensemble des emplacements dans le passage multipliés fois la profondeur d'un emplacement, c-à-d qu'il passe par un emplacement veut dire qu'il a déjà parcouru sa largeur « p », « $\sum_{j=1}^{k+1} j \times p$ », c'est la distance parcourue par le satellite « $\int_0^b y \cdot dy$ ».

Le couloir de déplacement de la navette est considéré comme un emplacement de démarrage ou d'arrivée par le satellite c'est pour ça on ajoute « 1 » pour le variant « k », (k+1). C'est la seule chose qu'on peut dire qu'elle est différente par rapport aux autres formules de déplacements.

Lorsque « y » égal « b » l'intégral de la distance parcourue par le satellite égal « $\frac{b^2}{2}$ ». « V_y » c'est la vitesse de satellite, c'est la distance sur le temps, et « $\frac{1}{b \times V_y}$ », c-à-d, le temps sur la distance au carré.

Alors en finir pour trouver le temps de cycle lorsqu'en multiplie fois deux car le satellite fait un parcours d'un aller et retour aussi.

Le temps de déplacement vertical du station P/D à une étagère :

$$T(z) = 2 \left(\frac{1}{c \times V_z} \times \sum_{l=0}^m l \times h \right) = 2 \left(\frac{1}{c \times V_z} \int_0^c z \cdot dz \right) = 2 \left(\frac{1}{c \times V_z} \cdot \left(\frac{c^2}{2} \right) \right)$$

On fait la même chose que pour les deux autres déplacements.

Cette formule résume le temps parcouru vertical dans l'axe de « z », parcouru par l'élévateur en allant vers une étagère quoi que ce soit la distance parcourue est égale à « c ». L'ensemble des étagères dans le passage multipliés fois la hauteur de casier, c-à-d qu'il passe par une étagère veut dire qu'il a déjà parcouru sa hauteur « h », « $\sum_{l=0}^m l \times h$ », c'est la distance parcourue par l'élévateur « $\int_0^c z \cdot dz$ ». Lorsque « z » égal « c » l'intégral de la distance parcourue par la lavette égal « $\frac{c^2}{2}$ ». « Vz » c'est la vitesse de l'élévateur, c'est la distance sur le temps, et « $\frac{1}{c \times V_z}$ », c-à-d, le temps sur la distance au carré.

Alors en finir pour trouver le temps de cycle lorsqu'en multiplie fois deux car l'élévateur fait un parcours d'un aller et retour.

On estime des valeurs exactes pour représenter la fonction objective en fonction de nombres entiers et de variables :

$$q = 1.2 \text{ m.}$$

$$p = 1.5 \text{ m.}$$

$$h = 1.8 \text{ m.}$$

$$V = 100 \times 30 = 3000 \text{ m}^3 \text{ (par exemple)}$$

$$N = \text{nombre totale d'emplacements (1000 palettes par exemple)}$$

$$V_x = 2 \text{ m/s.}$$

$$V_y = 1 \text{ m/s.}$$

$$V_z = 2 \text{ m/s.}$$

$$TC = 2 \left(\frac{q \cdot n}{2 \times V_x} + \frac{p(k+1)}{2 \times V_y} + \frac{h \cdot m}{2 \times V_z} \right) = 2 \left(\frac{1.2 \times n}{4} + \frac{1.5 \times (k+1)}{2} + \frac{1.8 \times m}{4} \right)$$

Cette formule est prête pour continuer notre travail.

2.5.3 Changement de variable

Dans le changement de variable, la meilleure chose est de faire revenir à nos contraintes, qui relient nos variables entre eux, et pour pouvoir relaxer la fonction en remplaçant une variable par les autres qui restent dans la formule.

$$V = (a) \times (b) \times (c) = (n \times q) \times (p \times (k+1)) \times (m \times h).$$

$$N = n \times k \times m.$$

$$\text{Donc : } m = \frac{N}{(n \times k)}$$

Alors :

$$TC = 2\left(\frac{1.2 \times n}{4} + \frac{1.5 \times (k+1)}{2} + \frac{1.8 \times N}{4(n \times k)}\right)$$

Alors, en ce moment-là, la formule devienne représentante pour les trois dimensions en fonction des autres variables et la capacité maximale de système.

On peut remplacer n par x et k par y, l'expression analytique devienne :

$$TC = 2\left(\frac{1.2 \times x}{4} + \frac{1.5 \times (y+1)}{2} + \frac{1.8 \times N}{4(xy)}\right)$$

Dans cette étape, on est arrivé à transformer un problème réel à une fonction mathématique, pour continue le reste de travail, on dirait nous sommes dans un exercice de travaux pratiques d'optimisation et on veut détecter les extremums de cette fonction.

2.5.4 Domaine de définition

Lorsqu'on parle sur une chose réelle, les conditions peuvent être changés pour prendre en considération certains choses.

Dans notre cas, le nombres des casiers, d'étagères et d'emplacements sont des nombres naturels, dans le résultat de notre travail par exemple on obtient des nombres réels comme extremums, mais on prend comme résultat le chiffre avant la virgule, les chiffres après la virgule ne seront pas considérés car on veut un chiffre naturel pas réel.

Les variables x et y représentent des nombres de casiers et d'emplacements en tant que paramètres de dimensions, elles sont positives, naturelles et non nulles, donc le domaine d'étude de la fonction TC est :

$$D =]0, +\infty [*]0, +\infty [= N^{*+} ; \text{ et :}$$

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ y \rightarrow 0}}(TC) = +\infty ; \quad \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}}(TC) = +\infty ;$$

TC possède un minimum sur D.

La fonction TC est définie pour : $x > 0$ et $y > 0$ et elle tend vers $+\infty$ quand x ou y tendent vers 0 ou vers $+\infty$. Elle est strictement positive sur son domaine de définition. Donc elle admet un minimum qui est atteint en un point (x^*, y^*) , avec $x^* > 0$ et $y^* > 0$, et ce minimum est strictement positif.

2.6 Résolution de problème

Notre problème réel est de trouver les extrémums locaux de la fonction TC.

Afin de rechercher ces extrémums nous voulons déterminer la nature de ces extrémums, est ce que ce sont des minimums, maximums ou bien des points selles. Pour y arriver on utilise la théorie de Stewart (2006).

Théorème de Stewart (2006) :

Soit $f(x, y)$ une fonction définie sur $D \subset \mathbb{R}^2$.

Un point $(x_0, y_0) \in D$. Est dit point critique pour la fonction f si :

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = 0 ; \quad \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) = 0 ;$$

Soit (x_0, y_0) un point critique :

$$r = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x_0, y_0)$$

$$t = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x_0, y_0)$$

$$s = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x_0, y_0)$$

Si $rt - s^2 > 0$, et $r > 0$, alors : (x_0, y_0) est un minimum local.

Si $rt - s^2 > 0$, et $r < 0$, alors : (x_0, y_0) est un maximum local.

Si $rt - s^2 < 0$, et $r > 0$, alors : (x_0, y_0) est un point selle ou col.

Si $rt - s^2 = 0$, et $r > 0$, nous ne pouvons rien dire.

Alors en pratiquant sur notre expression TC, on obtient :

$$r = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x_0, y_0) = 2\left(\frac{1.8 \times N}{4(x^2y)} + \frac{1.2}{4}\right)' = \frac{1.8 \times N}{(x^3y)}$$

$$t = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x_0, y_0) = 2\left(\frac{1.8 \times N}{4(xy^2)} + \frac{1.5}{2}\right)' = \frac{1.8 \times N}{(y^3x)}$$

$$s = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x_0, y_0) = 2\left(\frac{1.8 \times N}{4(x^2y^2)}\right).$$

Pour les racines partielles on a :

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = 2\left(\frac{1.8 \times N}{4(x^2y)} + \frac{1.2}{4}\right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) = 2\left(\frac{1.8 \times N}{4(xy^2)} + \frac{1.5}{2}\right)$$

Exemple d'application :

On prend un exemple pour que le nombre d'emplacements total dans le système soit 1000 palettes.

La résolution du système : $\begin{cases} 2 \left(0.3 + \frac{1800}{4x^2y} \right) = 0 \\ 2 \left(0.75 + \frac{1800}{4xy^2} \right) = 0 \end{cases}$ donne une solution réelle positive.

$$(x_0, y_0) \approx (15.536161; 6.214465)$$

$$(TC_0) = 14.732546 \text{ s}$$

On conclure : $z = \frac{N}{xy} \approx 10$ niveaux (Nombre d'étagères).

Le nombre des emplacements pour le stockage dans un rack est bien sur naturel et positif.

Les nombres cherchés sont approximatifs lorsque sont naturels $\begin{cases} x = 15 \\ y = 6 \\ z = 10 \end{cases}$

Pour dix étagères (10), quinze casiers (15) et six emplacements (6) dans la profondeur, c'est les dimensions pour près de mille (1000) palettes comme capacité de stockage, et qu'on peut dire que optimales ou bien approximatives, car les résultats obtenus sont naturels.

Pour le temps de cycle optimal, pour 1000 palettes est égal à 14,73 secondes. Ce qu'il veut dire quatre opérations par minute pour le débit de système.

2.7 Conclusion

Dans la fin de ce chapitre, en arrivant à optimiser la fonction du temps de déplacement TC en fonction de paramètres de nombre d'emplacements/casiers/étagères pour remplacer les paramètres tridimensionnelles et en fonction de nombres maximales d'emplacements pour le stockage afin de changer les variables et relaxer la fonction objective ou bien l'expression analytique, pour y arriver à notre objectif lequel consiste à ajouter un paramètre pour les déplacements verticaux à la considération pour la fonction TC, et optimiser cette dernière pour déterminer les trois dimensions optimaux en proposant un nombre d'emplacements maximal pour le stockage.

Le chapitre suivant contient des résultats qui nous guide à comprendre l'espace de recherche et le comportement de cette fonction analytique du temps de déplacement en fonction du nombre total d'emplacements de stockage.

3 Chapitre 3 : Interprétation de résultats

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a parlé sur l'optimisation de la fonction TC et on a expliqué pour quelle raison est fait ce travail. Dans ce chapitre, on va voir les résultats interprétés par Maple, on va citer un tableau qui représente les temps différents temps de cycle TC par rapport à la valeur de la capacité maximale, avec des représentations graphiques en 3D pour vérifier le comportement d'extremums en variant le nombre total de la capacité maximale.

3.2 Valeurs minima

Dans cette partie, les résultats des points critiques sont présentés juste si en variant la valeur maximale de la capacité de stockage. L'unité de mesure pour cette valeur maximale de capacité de stockage est en nombre de palettes maximales représentée par N. On prend les valeurs pour que N = 1000 palettes N = 10 000 palettes N = 100 000 palettes

On résume les résultats de tous les exemples de valeurs de N dans le tableau suivant :

| N (Nbr palettes) | x_0 | y_0 | z_0 | TC_0 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1000 | 15.53616252 | 6.21446466 | 10.35744227 | 14.73254627 |
| 10 000 | 33.47164749 | 13.38865901 | 22.31443166 | 30.87448275 |
| 100 000 | 72.11247851 | 28.84499140 | 48.07498569 | 65.65123066 |

Table 1: Représentation de résultats en fonction de N

Les résultats sont résumés dans le tableau précédent, x_0, y_0, z_0 et TC_0 sont optimales pour les trois capacités maximales proposées comme des exemples.

3.3 Situation globale de minima

On peut remarquer d'après les résultats du tableau qu'à chaque fois le nombre de palettes N est multipliés fois dix (x10) les dimensions tridimensionnelles optimales ainsi que le temps de cycle optimal sont multipliés fois deux (x2).

Dans cette partie, on a déterminé comment les paramètres sont reliés entre eux, c'est important de savoir cette information comme relation entre les paramètres avant de lancer un projet de conception d'un AS/RS et savoir son cahier de charge.

3.4 Représentations graphiques

Cette partie est destinée aux représentations graphiques pour les résultats obtenus, pour représenter la disposition des extremums de la fonction TC.

Les graphes suivants représentent les valeurs de paramètres tridimensionnelles.

- Pour $N = 1000$ palettes.

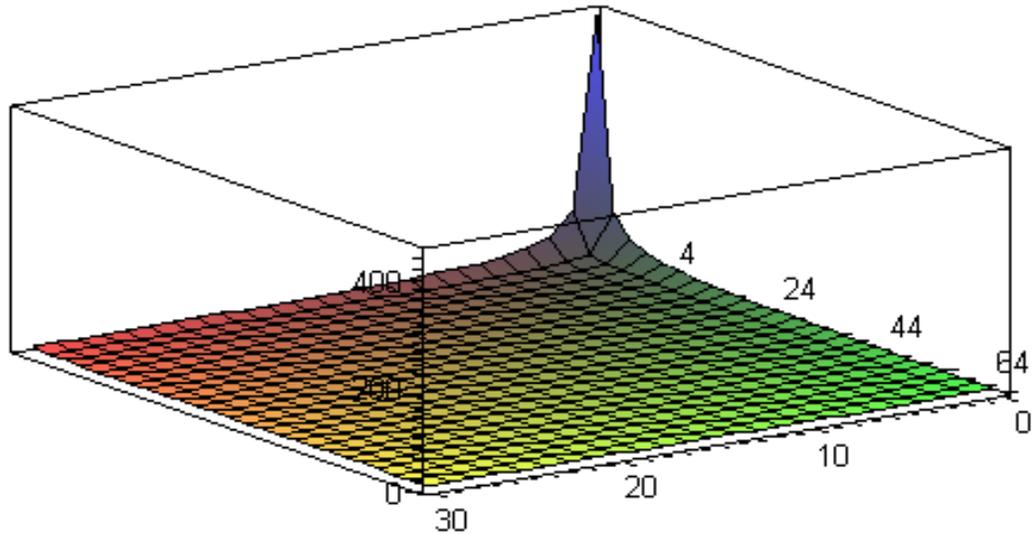


Figure 11:Représentation1 3D pour $N = 1000$

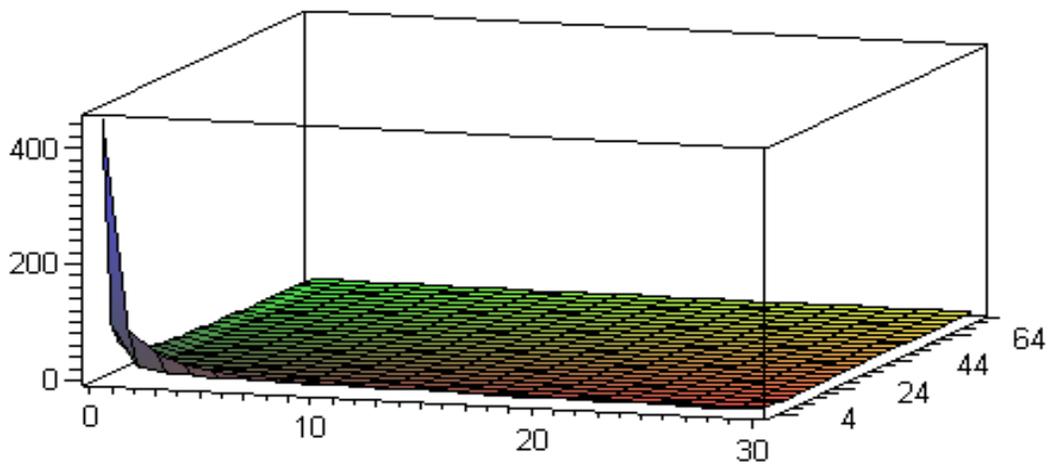


Figure 12:Représentation2 3D pour $N = 1000$

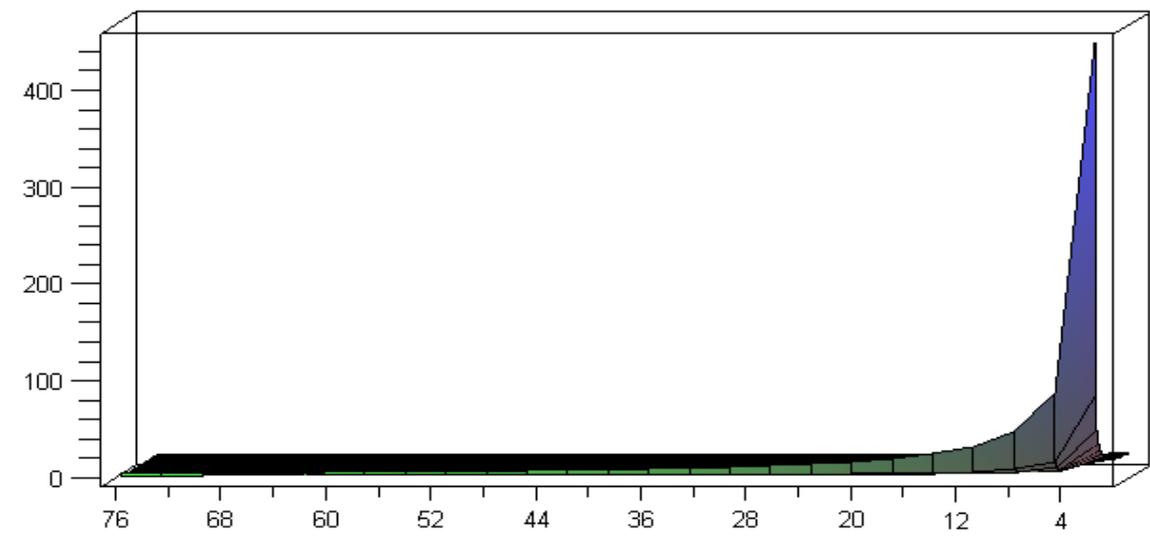


Figure 13: Représentation 3D pour $N = 1000$

Les figures 3,4 et 5 représentent graphiquement comment les différents paramètres de dimensions sont liés entre eux lorsque la capacité maximale est égale à 1000 palettes, à chaque fois que les deux paramètres horizontaux sont de petites valeurs le nombre d'étagères sera plus élevé, et le contraire lorsque le nombre d'étagères est de petite valeur, la superficie entre les paramètres x et y doit être élargir.

Pour les figures restantes (6,7,8,9,10 et 11) sont presque la même chose, juste que pour les figures 6,7 et 8 c'est pour 10 000 palettes, et les figures 9,10 et 11 c'est pour 100 000 palettes.

Lorsque la capacité est élevée, les dimensions seraient logiquement augmentées.

- Pour $N = 10\ 000$ palettes.

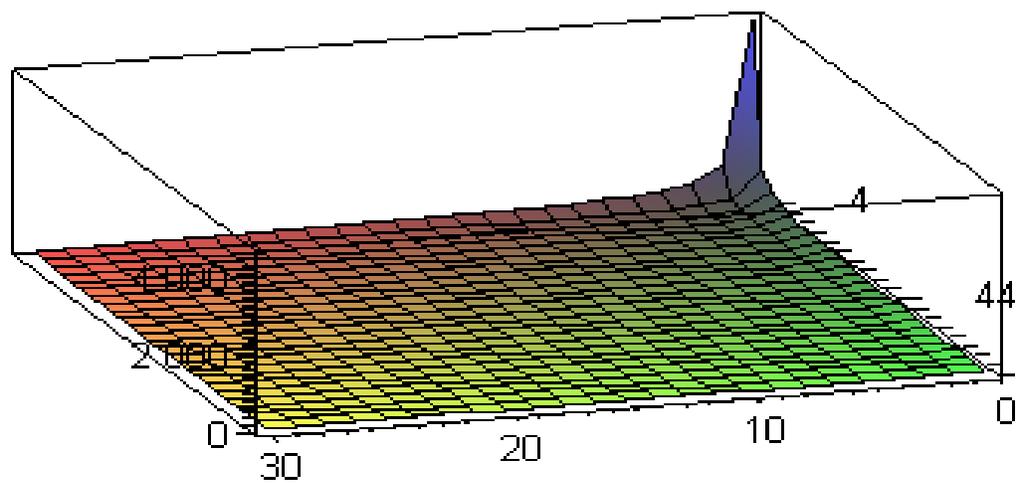


Figure 14:Représentation1 3D pour N = 10000

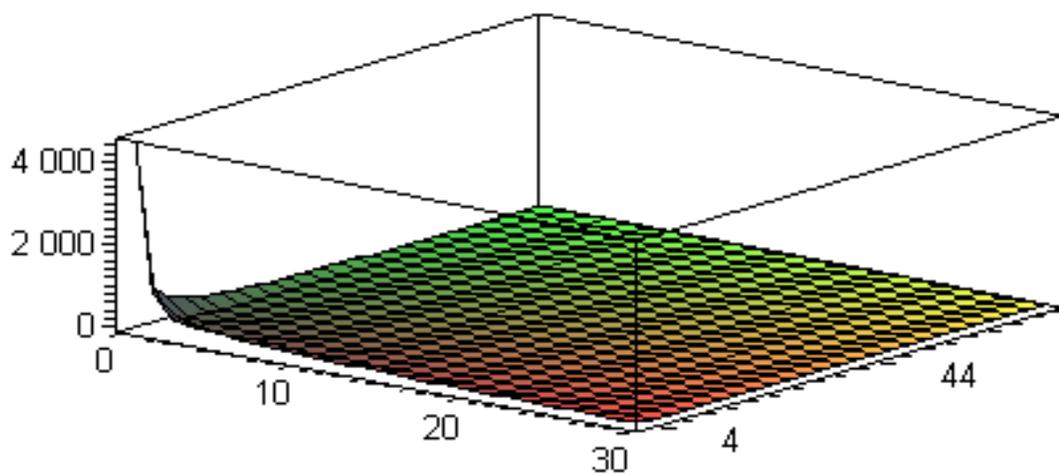


Figure 15:Représentation2 3D pour N = 10000

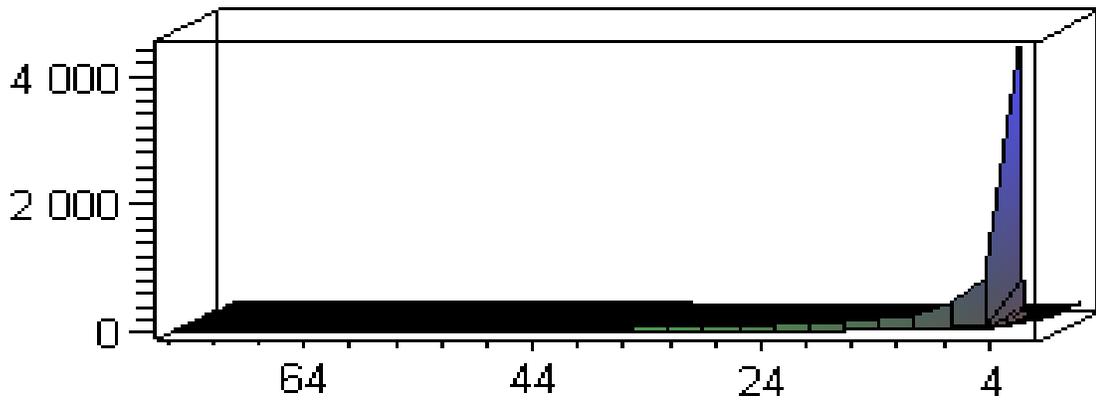


Figure 16:Représentation3 3D pour N = 10000

- Pour N = 100 000 palettes.

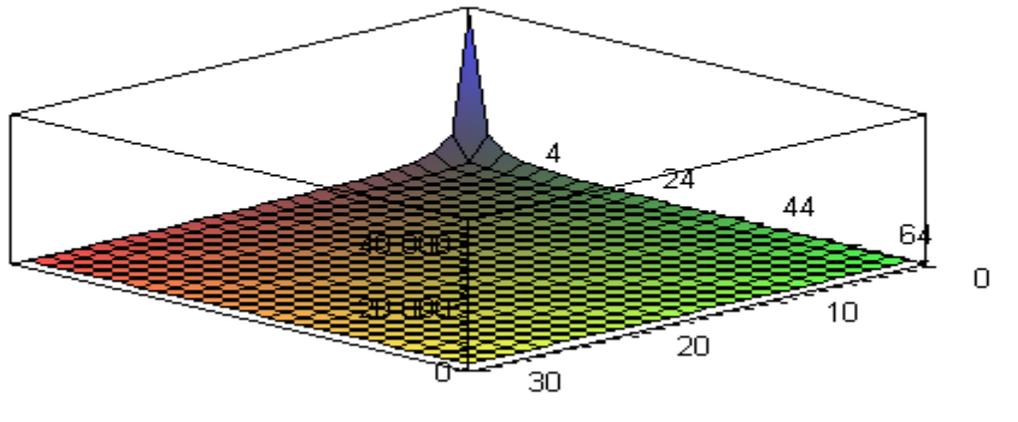


Figure 17:Représentation1 3D pour N = 100000

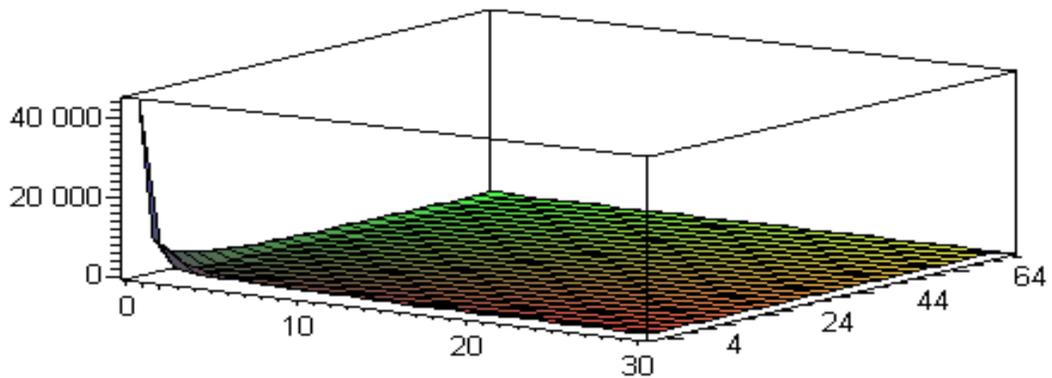


Figure 18:Représentation2 3D pour N = 100000

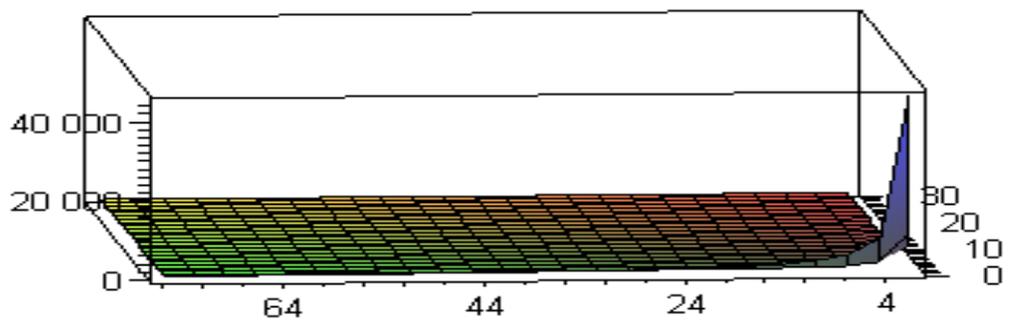


Figure 19:Représentation3 3D pour N = 100000

A chaque fois, le critère de capacité varie, la variation des paramètres de dimensions serait plus large aussi.

Chaque nombre 'N' a trois représentations (1,2 et 3), pour bien éclairer les trois dimensions à chaque fois en fonction des nombres de ces axes seulement.

Ces dernières représentations graphiques, peuvent être utilisé comme un guide pour fixe ses dimensions voulus, ou bien pour comparer les performances de deux AVS/RS qui ont presque les mêmes caractéristiques de vitesse comme ce système est supposé.

Peut aussi utiliser pour savoir quelle performance faut avoir pour son AS/RS ou bien quels sont les paramètres de dimensions nécessaires pour atteint tel performances.

3.5 Conclusion

D'après ce qu'on a vu dans ce chapitre, à chaque fois qu'on va augmenter la capacité dix fois plus à chaque fois les autres paramètres tel que le nombre de casiers ou bien le temps de cycle seraient doublés aussi.

On conclure aussi que la profondeur optimale pour le système doit être inférieur par rapport aux deux autres paramètres de la longueur et la hauteur, car le déplacement dans la profondeur dure plus longtemps que d'autre part dans le système.

Les graphes représentent la relation entre les trois paramètres en voyant ces extremums. Ils peuvent représenter un guide pour un entrepôt qui va introduit un nouveau système AVS/RS Deep-Lane, pour permettre manipuler les paramètres de dimensions dans la conception du système par rapport à la notion du temps de cycle voulu. Ou bien, on peut dire que pour certains critères de dimensions voulu quel soit le temps de cycle obtenu. Ou bien pour comparer les performances de deux AVS/RS qui ont presque les mêmes caractéristiques de vitesse.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le temps de cycle est un paramètre de performance très important dans le domaine des AS/RS, il influe sur d'autres paramètres tel que le taux d'utilisation, débit de système... Les dimensions tridimensionnelles optimaux de parcours dans le système donne un temps de cycle minimum, pour cela on conclure que la forme tridimensionnelle d'un AS/RS dans l'espace est considérée comme un critère de performance aussi lorsqu'elle diminue le temps de cycle le minimum possible.

Comme notre travail est l'optimisation des dimensions d'un AS/RS à étagères profondes, le temps de cycle est un paramètre de performance pour la gestion de stocks dans un entrepôt, le temps de réponse sur une commande d'un client est un critère très important pour un manager d'un entrepôt. Le tournage de stocks, est un critère de performance très connu dans la gestion d'entrepôt, lorsque les systèmes de stockage/déstockage automatiques ont un grand débit de sorties, le bon tournage des stocks doit effectivement assurer.

Tanque nous sommes étudiés et réalisés un travail sur ce sujet, nous bénéficions une connaissance générale et large sur les AS/RS passant par le premier chapitre. On a vu aussi comment définir mathématiquement un système en fonction de ses paramètres de dimensions à partir du comportement de fonctionnement du système, ce qui nous obtient la chance d'avoir une expertise spéciale dans le domaine après y avoir concentrer dans le deuxième chapitre. Cette expertise est enrichie dans le troisième chapitre en voyant les représentations graphiques en comprenant mieux quelques détails sur l'optimalité des dimensions d'un systèmes.

Les études sur les AS/RS ont mis une valeur ajoutée dans le domaine de l'industrie et de la production et ont confirmé les performances nécessaires estimés dans les différents champs d'application, à savoir la gestion de stock, le temps de cycle et la sécurité.

Les figures qui contiennent les dernières représentations peuvent représenter un guide pour un entrepôt qui va introduit un nouveau système AVS/RS Deep-Lane, pour permettre manipuler les paramètres de dimensions dans la conception du système par rapport à la notion du temps de cycle voulu. On peut dire que ce travail peut exister aux seins de bureaux des entrepôts techniques pour établir des solutions à vendre pour des entrepôt clients.

En finissant par conclure que n'importe quelles dimensions optimales de n'importe quel système, sont dépendent avec la vitesse de déplacement dans les trois paramètres de dimensions dans le système. Ils dépendent entre eux bien sûr, et lorsque on augmente la capacité totale, les longueurs des dimensions seraient logiquement élargies.

Références

- [1] Accorsi, Riccardo, Giulia Baruffaldi, et Riccardo Manzini. 2017. « Design and Manage Deep Lane Storage System Layout. An Iterative Decision-Support Model ». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- [2] Azadeh, Kaveh, M. B. M. de Koster, et Debjit Roy. 2017. « Robotized Warehouse Systems, Developments and Research Opportunities ». *SSRN Electronic Journal*.
- [3] D'Antonio, Gianluca et al. 2018a. « Analytical Models for the Evaluation of Deep-Lane Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System Performance ». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- [4] Ekren, B.Y., Z. Sari, et T. Lerher. 2015. « Warehouse Design under Class-Based Storage Policy of Shuttle-Based Storage and Retrieval System ». *IFAC-PapersOnLine*
- [5] Epp, Martin. « Performance Evaluation of Shuttle-Based Storage and Retrieval Systems Using Discrete-Time Queueing Network Models ».
- [6] Ghomri Latefa, Zaki Sari, Amine Guezzen, et Tewfik Sari. 2009. « Continuous Models for Single and Dual Cycle Times of a Multi Aisle Automated Storage and Retrieval System ». *IFAC Proceedings Volumes*
- [7] Kouloughli, Sihem, Zaki Sari, et Tewfik Sari. 2010a. « Optimisation des dimensions d'un AS/RS multi-allée basée sur un modèle analytique du temps de simple cycle ». *Journal Européen des Systèmes Automatisés*
- [8] Manzini, Riccardo et al. 2016. « Travel Time Models for Deep-Lane Unit-Load Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System (AVS/RS) ». *International Journal of Production Research*
- [9] Meghelli Nihad, Zaki Sari, Olivier Cardin, et Pierre Castagna. 2010. « EVALUATION DE LA PERFORMANCE D'UN STOCKAGE PAR CLASSES DANS LE CONTEXTE DU STOCKAGE EN AS/RS A CONVOYEURS GRAVITATIONNELS ».
- [10] Sari, Zaki. « MODELISATION, ANALYSE ET EVALUATION DES PERFORMANCES D'UN AS/RS A CONVOYEUR GRAVITATIONNEL ».
- [11] Sari Zaki, Latefa Ghomri, Banu Y Ekren, et Tone Lerher. « Experimental Validation of Travel Time Models for Shuttle-Based Automated Storage and Retrieval System ».

- [12] Tappia Elena, Debjit Roy, René de Koster, et Marco Melacini. 2017. « Modeling, Analysis, and Design Insights for Shuttle-Based Compact Storage Systems ». *Transportation Science*
- [13] Zaerpour, Nima, Yugang Yu, et René B. M. de Koster. 2017. « Response Time Analysis of a Live-Cube Compact Storage System with Two Storage Classes ». *IIE Transactions*
- [14] Sari. Z, “Modélisation, analyse et évaluation des performances d’un AS/RS à convoyeur gravitationnel”. Thèse de doctorat d’état, Université de Tlemcen Algérie, 2003.
- [15] Sari Z., C.Saygin, and N.Ghouali, 2005 «Travel-Time Models for Flow-Rack Automated Storage and Retrieval Systems» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [16] Kouloughli.S, Sari.Z. 2011« Optimisation de deux dimensions d’un AS/RS multi allées en fixant la troisième pour minimiser le temps de cycle ». Acte des 7èmes conférences internationale de conception et production intégrée CPI 11. Hammamet.
- [17] Guezzan A.H. Sari Z., Ghomri L. 2011 «Continuous Model for Single Cycle Times of a Mobile Racks Automated Storage and Retrieval System» conference MISC’ 11
- [18] Sari Z., Kouloughli S. 2010 « Modélisation des temps de cycle d’un AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine S/R » conférence internationale de modélisation et simulation, Hammamet Tunisie.
- [19] Azzouz, A., (2001) Optimisation des dimensions d’un AS/RS à convoyeur gravitationnel pour un temps de cycle minimum. Thèse de Magister. Université de Tlemcen. Algérie.
- [20] Ekren, B. Y., and S. S. Heragu. 2010.“Simulation-based Regression Analysis for the Rack Configuration of an Autonomous VehicleStorage and Retrieval System.”*International Journal of Production Research*48.
- [21] Ekren, B. Y., and S. S. Heragu. 2011.“Performance Comparison of Two Material Handling Systems: AVS/RS and CBAS/RS.” *International Journal of Production Research*50.
- [22] Ekren, B. Y., S. S. Heragu, A. Krishnamurthy, and C. J. Malmberg. 2010.“Simulation Based Experimental Design to Identify Factors Affecting Performance of AVS/RS.” *Computers & Industrial Engineering*58.
- [23] Ekren, B. Y., S. S. Heragu, A. Krishnamurthy, and C. J. Malmberg. 2014.“Matrix-geometric Solution for Semi-open Queuing Net-work Model of Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System.”*Computers and Industrial Engineering*68.
- [24] Fukunari, M., and C. J. Malmberg. 2008.“An Efficient Cycle Time Model for Autonomous Vehicle Storage and Retrieval systems.”*International Journal of Production Research*46.
- [25] Malmberg, C. J. 2002. “Conceptualizing Tools for Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems”. *International Journal of Production Research*40.

[26] Heragu, S. S., X. Cai, A. Krishnamurthy, and C. J. Malmborg. 2011. "Analytical Models for Analysis of Automated Warehouse Material Handling Systems". International Journal of Production Research 49.

[27] Marchet, G., M. Melacini, S. Perotti, and E. Tappia. 2012. "Analytical Model to Estimate Performances of Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems for Product Totes." International Journal of Production Research 50.

[28] Marchet, G., M. Melacini, S. Perotti, and E. Tappia. 2013. "Development of a Framework for the Design of Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems." International Journal of Production Research 51.

[29] Materials Handling Institute.

Résumé

Ce travail consiste à formuler l'expression analytique de déplacement pour un AS/RS à étagères profondes pour pouvoir optimiser les paramètres de dimensions et minimiser automatiquement le temps de parcours TC. L'expression est formulée par Manzini et al [8], nous avons ajouté un troisième paramètre de déplacement pour pouvoir optimiser tout l'ensemble de système.

Mots clés : AS/RS, AVS/RS, SBS/RS, Optimisation, Critères de dimensions, Temps de cycle.

Abstract

This work consists in formulating the analytical displacement expression for a deep-shelf AS/RS in order to optimize the dimensional parameters and automatically minimize the TC cycle time. The expression is formulated by Manzini et al [8], we added a third displacement parameter to be able to optimize the whole system.

Keys-words: AS/RS, AVS/RS, SBS/RS, Optimization, Dimension criteria, Cycle time.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى إيجاد معادلة رياضية تلخص سيرورة تنقل البضائع داخل نظام التخزين و الإستخراج ذاتي التحكم ذو طوابق عميقة بغية مناقشتها و التي تمثل أيضا وقت التخزين أو الإستخراج الذي يستغرقه النظام للإجابة على مهمة واحدة. الهدف هو استعمال المعادلة المدونة من طرف مانزيني (8) و تطويرها لتلخص لنا كيفية التنقل في الأبعاد الثلاث ليتم طرح إشكالية طول المسالك في الأبعاد الثلاثة للحصول على أفضل وقت ممكن للإستجابة.

الكلمات المفتاحية: وقت السعي, معايير البعد, التحسين, ن.ت./إ.ذ, ع.ذ.ت./إ.ن, ع.م.م.ت./إ.ذ