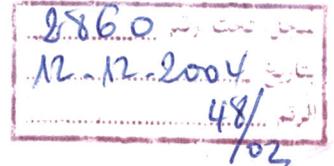


Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABOU-BEKR BELKAID
Tlemcen, Algérie
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Electronique

MEMOIRE DE MAGISTER
Signaux et Systèmes

Présenté par :

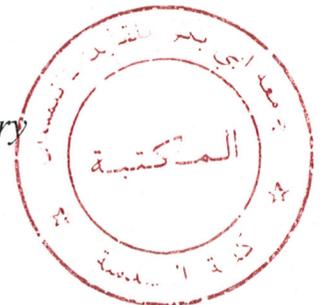
Melle. GAOUAR Nihed



THEME

**IMPLEMENTATION & SIMULATION D'UNE
HEURISTIQUE DE STOCKAGE/DÉSTOCKAGE EN
VUE DE REDUIRE LE TEMPS DE CYCLE D'UN
AS/RS À CONVOYEUR GRAVITATIONNEL**

Soutenu le 24 Novembre 2004 Devant le Jury



Président :

B. CHERKI

Maître de conférence à l'Université A. B. Tlemcen.

Examineurs :

**A. CHEIKH
K. BELKADI**

Maître de conférence à l'Université A. B. Tlemcen.
Chargé de cours à l'U.S.T.O. Oran.

Encadreurs :

**N. GHOUALI
Z. SARI**

Professeur à l'Université A. B. Tlemcen.
Chargé de cours à l'Université A. B. Tlemcen.

*Je dédie
ce modeste travail
à toute ma famille.*



Hubert

RÉSUMÉ

Les systèmes automatisés de stockage/déstockage à convoyeur gravitationnel permettent, de par leur conception, de minimiser l'espace utilisé par la suppression des allées entre étagères. Par contre leur temps de cycle reste moyen et est dans la plupart des cas plus long que celui d'un AS/RS à charge unitaire. L'une des solutions que nous avons trouvée pour minimiser le temps de cycle est d'utiliser une heuristique de stockage/déstockage.

Ce travail concerne le développement, l'implémentation et la simulation d'une heuristique de stockage/déstockage en vue de réduire le temps de cycle du système AS/R à convoyeur gravitationnel. Nous avons implémenté l'heuristique de stockage/déstockage du système dans un programme de simulation, en utilisant ARENA/SIMAN.

L'heuristique a permis une grande amélioration du temps de cycle de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel, ainsi ses performances globales sont devenues supérieures à celles de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel utilisant le stockage aléatoire.

The flow rack automated storage retrieval systems make it possible, from their design, to minimize the space used by the removal of the aisles between racks. On the other hand their cycle time remains average and is in the majority of the case longer than that of the unit load AS/RS. One of the solutions which we found to minimize the cycle time is to use heuristics of storage/retrieval.

This work relates to the development, the implementation and the simulation of heuristics of storage/retrieval in order to reduce the cycle time of the flow rack AS/R system. We implemented the heuristics of storage/retrieval of the system in a simulation program, by using ARENA/SIMAN.

The heuristics allowed a great improvement of the cycle time of the flow rack AS/RS, thus its total performances became higher than those of the flow rack AS/RS using random storage.

Table des Matières

Remerciements	iv
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre 1	5
Introduction Aux Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage	
1. Introduction.....	5
2. Système automatisé de stockage/déstockage AS/RS.....	6
3. AS/RS Composants et Terminologie.....	7
3.1. La structure de stockage	7
3.2. La machine de stockage/déstockage (S/R)	8
3.3. Les stations de dépôt/livraison	10
3.4. Les modules de stockage	10
3.5. Système de contrôle.....	10
4. Types d'AS/RS.....	11
4.1. Les AS/RS à charge unitaire.....	11
4.2. Les AS/RS multi allées.....	12
4.3. Les AS/RS à racks glissants	13
4.4. Les AS/RS à mini charge	13
4.5. Les AS/RS à carrousel.....	14
4.6. Les AS/RS à personne embarquée	15
4.7. Les AS/RS à étagères profondes	15
4.8. Les AS/RS à convoyeur gravitationnel	16
5. Méthodologies de stockage.....	17
5.1. Stockage dédié.....	17
5.2. Stockage aléatoire ouvert	17
5.3. Stockage aléatoire par classe	17

6. Planification du Système.....	18
7. Critères d'exécution.....	20
7.1. La capacité de stockage	20
7.2. La production du système.....	21
7.3. L'utilisation	21
7.4. La fiabilité en temps de bon fonctionnement	21
8. L'évaluation des performances des AS/RS dans la littérature.....	22
9. Conclusion.....	22
Chapitre 2	23
Les Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage À Convoyeur Gravitationnel	
1. Introduction.....	23
2. Système AS/R à Convoyeur Gravitationnel.....	24
2.1. Composantes.....	24
2.2. Fonctionnement du système AS/R à Convoyeur Gravitationnel.....	26
3. Modélisation des temps de transport d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel.....	27
4. Analyse des taux de fonctionnement des machines S/R d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel.....	31
5. Conclusion.....	38
Chapitre 3	39
Heuristique De Stockage/Déstockage Du Système AS/R À Convoyeur Gravitationnel	
1. Introduction.....	39
2. Heuristique pour le stockage/déstockage dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel.....	40
3. Procédure de stockage.....	41
4. Procédure de déstockage.....	48
5. Conclusion.....	49

Chapitre 4	50
Implémentation & Simulation de l'Heuristique de Stockage/Déstockage	
1. Introduction.....	50
2. Simulation, ARENA/SIMAN.....	51
2.1. Définition de la simulation	51
2.2. ARENA/SIMAN	52
2.3. Objectifs de la simulation	53
2.4. Réalisation d'un projet de simulation.....	53
3. Modélisation et implémentation de l'heuristique de stockage/déstockage pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel.....	53
3.1. Modélisation et implémentation du système	54
3.2. Calcul du temps de déstockage.....	60
3.3. Calcul de la valeur moyenne du temps de déstockage	60
3.4. Description du programme de simulation	64
4. Conclusion.....	64
Chapitre 5	65
Résultats & Interprétations, Comparaison	
1. Introduction.....	65
2. Vérification du programme de simulation.....	66
3. Comparaison entre stockage/déstockage aléatoire et l'heuristique de stockage/déstockage.....	69
4. Type de produit.....	71
5. Taille du système.....	74
6. Taux de charge.....	79
7. Conclusion.....	80
CONCLUSION GÉNÉRALE	81
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	83

Table des illustrations

Chapitre 1	5
Introduction Aux Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage	
Figure 1.1. : Structure d'un système AS/R (AS/RS à charge unitaire)	8
Figure 1.2. : (a) Les machines de stockage/déstockage (S/R), (b) les plateaux constitués de mécanisme de navette.....	9
Figure 1.3. : Modules de stockage.	10
Figure 1.4. : AS/RS à charge unitaire.....	12
Figure 1.5. : AS/RS multi allées.	12
Figure 1.6. : AS/RS à racks glissants.....	13
Figure 1.7. : AS/RS à mini charge.	14
Figure 1.8. : AS/RS à carrousel.	14
Figure 1.9. : AS/RS à personne embarquée.	15
Figure 1.10. : AS/RS à étagères profondes.	16
Figure 1.11. : AS/RS à convoyeur gravitationnel.	16
Chapitre 2	23
Les Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage À Convoyeur Gravitationnel	
Figure 2.1. : Configuration AS/RS à Convoyeur Gravitationnel.....	25
Figure 2.2. : Face de stockage du rack.....	32
Figure 2.3. : Face de déstockage du rack.....	33
Figure 2.4. : Face de stockage du rack.....	34
Figure 2.5. : Face de déstockage du rack.....	35
Chapitre 3	39
Heuristique De Stockage/Déstockage Du Système AS/R À Convoyeur Gravitationnel	
Organigramme 3.1.....	41
Organigramme 3.2 : 1 ^{ère} Priorité.....	44
Organigramme 3.3 : 2 ^{ème} Priorité.....	45
Organigramme 3.4 : 3 ^{ème} Priorité.....	46
Organigramme 3.5 : Procédure de Stockage.....	47
Organigramme 3.6 : Procédure de Déstockage.	48

Chapitre 450

Implémentation & Simulation de l'Heuristique de Stockage/Déstockage

Figure 4.1. : Le module ReadWrite et sa boîte de dialogue. 54
Figure 4.2. : La boîte de dialogue du module File. 55
Organigramme 4.1. 56
Organigramme 4.2. 59
Figure 4.3. 62
Figure 4.4. 62
Figure 4.5. 62
Figure 4.6. 62
Figure 4.7. 62
Figure 4.8. 62
Figure 4.9. : Procédure de Stockage, (a) Priorité 1, (b) Priorité 2 et (c) Priorité 3. 63
Figure 4.10. : Procédure de Déstockage. 63

Chapitre 565

Résultats & Interprétations, Comparaison

Figure 5.1 : Face avant du rack. 66
Figure 5.2 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 types de produit, à taux faible. 67
Figure 5.3 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 types de produit, à taux élevé. 68
Figure 5.4 : Temps moyen de déstockage par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 36 casiers à 8 couches. 69
Figure 5.5 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 36 casiers à 8 couches. 70
Figure 5.6 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé et à taux faible. 71
Figure 5.7 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 49 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé et à taux faible. 72
Figure 5.8 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 100 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé. 73
Figure 5.9 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers, pour 50, 100 et 200 types d'entités différentes. 75
Figure 5.10 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 49 casiers, pour 100 et 600 types d'entités différentes. 76
Figure 5.11 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 100 casiers, pour 100 et 800 entités différentes. 77

Figure 5.12 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel, pour 100 types d'entités différentes. 78

Figure 5.13 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 et 100 types d'entités différentes. 79

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à remercier Dieu Tous Puissant de m'avoir donné la patience et la volonté de continuer et d'arriver à réaliser mon rêve, الحمد لله.

A l'issue de ce travail qui a été conçu dans le Laboratoire d'Automatique de l'Université d'Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, sous la direction de Mr N. GHOUALI et Mr Z. SARI ; à qui, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements les plus sincères et ma profonde gratitude pour leurs aides si précieuses.

Je tiens à remercier Mr N. GHOUALI, Professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'être mon encadreur sans aucune hésitation, malgré son emploi du temps bien chargé. Je lui en suis reconnaissante pour tout cela et bien plus.

Que Mr Z. SARI, Chargé de cours à l'Université de Tlemcen, trouve en ces quelques lignes, ma profonde gratitude et mon grand respect pour son aide, son dévouement pour le travail et ses précieux conseils si éclairés, je lui dois beaucoup, il est un modèle pour moi.

Un grand merci à Mr B. CHERKI, Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier Mr A. CHEIKH, Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'expertiser ce modeste travail.

Je remercie vivement Mr K. BELKADI, Chargé de cours à l'U.S.T.O., pour avoir accepté d'expertiser ce travail et sa participation au Jury.

J'exprime l'assurance de ma considération distinguée à l'ensemble des membres du jury.

Je remercie les membres du Laboratoire d'Automatique de Tlemcen, en particulier toute l'Equipe de Productique. Ainsi que les membres de l'A.P.I.

J'ai aussi le plaisir de remercier l'ensemble de mes professeurs et enseignants qui ont contribué à ma formation.

Je tiens à remercier tous les membres de ma famille pour la patience, les sacrifices, les encouragements, la gentillesse et le soutien qu'ils m'ont prodigués tous au long de ce travail. Je citerai en particulier mon père, ma mère et mon grand frère, sans eux je n'aurais pas pu achever mon travail.

Je remercie mon oncle A. HENAOUI pour son aide si précieuse, il accourait chaque fois que j'avais besoin de lui.

Je tiens à remercier l'ensemble de mes amis. Plus précisément, A. KAZI TANI, D. CHIALI, H. TOUAOULA, L. GHOMRI, L. KAOUALAL et N. HEIDILI, je les remercie pour leur soutien moral

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis toujours, l'homme travaille pour survivre, il fabrique (produit) pour se nourrir et se vêtir. Au cours du temps, l'activité artisanale était susceptible au changement pour satisfaire les divers besoins de l'homme. Au jour d'aujourd'hui, la production artisanale a été remplacée par des systèmes de production plus développés et sophistiqués, d'où les systèmes flexibles de fabrication (*Flexible Manufacturing Systems, FMS*). Les premières installations de FMS ont été faites aux États-Unis autour de 1967. Ces systèmes initiaux ont effectué des opérations d'usinage sur des familles des pièces à l'aide des machines à commande numérique. En 1981, la population des FMS était évaluée à environ 25 aux États-Unis, 40 au Japon, et 50 en Europe [JABLONSKI 85]. Au début de 1985, le nombre d'installation des systèmes flexibles de production avait atteint une estimation de 300 dans le monde [GROOVER 87].

Un système flexible de fabrication (*Flexible Manufacturing Systems, FMS*) permet à une section de production de répondre rapidement et économiquement, d'une façon intégrée, aux changements cruciaux de son environnement de fonctionnement. Il est capable de traiter un certain nombre de pièces différentes de travail automatiquement et dans n'importe quel ordre. De tels systèmes comportent typiquement : des stations de travail (par exemple, machines-outils, stations d'assemblage, robots, ...etc.), des équipements de manutention et de transport (par exemple, robots, convoyeurs, véhicules autoguidés ...etc.), d'un système automatisé de stockage/déstockage, d'un système de communication et d'un système sophistiqué de gestion par ordinateur.

La flexibilité d'un système de production se caractérise par sa capacité d'adaptation à la production des nouveaux produits pour lesquels le système n'a pas été étudié. Cela suppose une adaptation totale du système de production au produit courant (de la distribution des flux discrets de composants aux opérations qu'effectuent les moyens de production sur le produit) [DRAGHICI 98].

Un FMS se caractérise par son haut degré d'automatisation des machines et des systèmes de transport, sa capacité flexible de fabrication, son utilisation élevée d'équipement, un délai d'exécution court, un stock d'en-cours (*WIP*) réduit, une réponse améliorée du marché, une fabrication 'juste à temps' (*Just-in-Time*), une fabrication simplifiée, une commande de gestion améliorée, une haute qualité, un marché amélioré, une image crédibleetc.

Néanmoins, les FMS nécessitent une grande gestion de support, de matériel, de palette, de produit...

En plus, au jour d'aujourd'hui, les stocks dans la plupart des systèmes de fabrication sont maintenus à niveau bas, afin de minimiser tous les facteurs provoquant des surcoûts. Pendant le stockage, un produit stocké consomme de l'espace, du temps et de l'argent. Cependant, la réduction des stocks a mené à de plus petits systèmes de stockage, ce qui a créé des besoins d'accès rapide aux matériaux stockés.

Par conséquent, un FMS requiert un système de stockage pour entreposer ses charges. Ces systèmes de stockage doivent être conçus de telle sorte qu'ils peuvent fournir des charges de tous genres (outils, matériaux, palettes, produits...) avec des temps de réponse rapide pour entretenir les demandes de fabrication, d'entreposage, et des applications de distribution ainsi qu'une utilisation minimale d'espace.

Les systèmes automatisés de stockage/déstockage (*Automated Storage/Retrieval System, AS/RS*) ont été adoptés non seulement comme solution de rechange aux systèmes conventionnels de stockage mais également comme une partie intégrante des systèmes de fabrication. L'utilisation de l'AS/RS a des avantages :

- Amélioration de la productivité dans des organismes modernes de fabrication et de distribution,
- Amélioration du coût de stock,
- Amélioration du cheminement des matériaux, de la gestion de ressource,
- Economie en coût de main d'œuvre,
- Amélioration de l'écoulement et de la gestion des stocks,
- Utilisation élevée de l'espace de flux,
- Sécurité et rotation du stock accrues,
- Flexibilité de l'interface avec d'autres composantes des FMS (les systèmes de transport, de contrôle, ...etc.),
- Réalisation du concept de *Just-in-Time* par une réponse rapide à une demande (produit, support, palette ...etc.) au moment souhaité. [ALLEN 92], [MHI 77]

Depuis qu'un AS/RS a été présenté dans les années 50, la technologie a de plus en plus avancé, au delà de sa fonction originale.

Pendant les trois dernières décennies beaucoup de types d'AS/RS ont été développés pour étendre tout le domaine de leur fonctionnement et pour être employés pour tout genre de produits, des composants électroniques très petits au grand véhicule, par toute la chaîne industrielle, de la matière première entreposée aux applications de distribution. Les différents types d'AS/RS existent selon la taille et le volume des articles à manipuler, les méthodes de stockage et déstockage, et l'interaction entre les machines de stockage/déstockage et l'ouvrier. Il existe différents types d'AS/RS les plus importants sont : les AS/RS à charge unitaire, à

mini charge, à personne à bord, à étagère profonde, à convoyeur gravitationnel, à rack glissant, à multi allées... L'AS/RS à charge unitaire représente le système générique. Les autres systèmes représentent des variations de ce système.

L'utilisation des AS/RS a une importance fondamentale dans les systèmes de production. L'amélioration des performances de ces types d'AS/RS a toujours été un sujet de développement continu. Tous ces types d'AS/RS n'ont pas été étudiés avec le même intérêt que les AS/RS à charge unitaire, qui sont très bien connus et modélisés. Cependant, les autres types d'AS/RS comme les AS/RS à convoyeur gravitationnel ne sont pas beaucoup décrits dans la littérature. Parmi les performances étudiées, le temps de cycle de la machine de stockage/déstockage.

L'AS/RS à convoyeur gravitationnel (*Flow Rack Automated Storage/Retrival System*) est très peu étudié. Ce type d'AS/RS est utilisé dans l'industrie agro-alimentaire où un seul type de produits, ou très peu de produits différents, y sont stockés. Les mêmes produits sont stockés dans les casiers et le déstockage se fait suivant la règle FIFO. Cette façon de l'utiliser limite considérablement son champ d'application.

Au sein de notre équipe de productique (L.A.T), plusieurs travaux ont concerné ce type d'AS/RS. Le but étant de faire une investigation des performances de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel en stockage purement aléatoire. Dans le cas où ces performances sont intéressantes, le champ d'application de cet AS/RS s'élargira vers d'autre application et pourra concurrencer l'AS/RS à charge unitaire qui est actuellement le système le plus utilisé dans l'industrie et les services.

SARI et al. [SARI 01], [SARI 03] ont établi les expressions des temps de cycle des machines de stockage/déstockage, afin d'évaluer ses performances et de déterminer son comportement. Les résultats obtenus ont permis de montrer qu'en terme d'espace utilisé par rapport à la capacité de stockage l'AS/RS à convoyeur gravitationnel est beaucoup plus performant que l'AS/RS à charge unitaire. Par contre en terme de temps de cycle l'AS/RS à convoyeur gravitationnel présente des temps de cycle plus longs. Il est donc nécessaire d'améliorer ces temps de cycle pour pouvoir utiliser ce système dans les mêmes applications que l'AS/RS à charge unitaire.

AZZOUZ et al. [AZZOUZ 00], [AZZOUZ 01] ont considéré l'optimisation des dimensions du rack de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel en vue de minimiser ce temps. Les résultats ont permis d'analyser, de développer une solution analytique et de définir l'optimalité du système sur une large plage de configurations et de fonctionnements. Néanmoins, le temps moyen de déstockage reste moyen.

Pour notre part, l'objectif de notre travail est essentiellement de minimiser ce temps de déstockage et l'un des meilleurs moyens qui a été utilisé est de développer et d'utiliser une heuristique de stockage/déstockage, ainsi améliorer les performances du système AS/R à convoyeur gravitationnel. De ce fait, nous avons utilisé le logiciel ARENA/SIMAN pour

implémenter notre heuristique, d'étudier le comportement du système et d'analyser ses résultats.

La simulation représente une étape importante dans l'étude d'un système de production. Elle nous apporte la connaissance du fonctionnement du système sur une période appropriée, afin de juger son comportement. Ces informations sur le fonctionnement du système considéré sont utiles, elles lui permettent d'établir les meilleures politiques pour atteindre les objectifs attendus.

La portée de ce mémoire est d'étudier l'AS/RS à convoyeur gravitationnel, plus précisément le temps moyen de déstockage. Nous avons partagé ce travail en cinq chapitres. Le premier chapitre représente une introduction aux systèmes automatisés de stockage/déstockage où nous parlons des différents aspects des AS/RS, de sa fonctionnalité, de ses composants aux différents types d'AS/RS existants, ...

Avant d'entamer le sujet de notre travail, dans le deuxième chapitre, nous avons fait un résumé des travaux établis par SARI et al. [SARI 01], [SARI 03] sur les systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel. Une description détaillée du système de ses composants à son fonctionnement, ainsi que, de la modélisation des temps de transport des machines de stockage et de déstockage de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel. Et enfin, une analyse des taux de fonctionnement des machines S/R du système AS/R à convoyeur gravitationnel a suivi.

Les chapitres qui suivent, représentent le cœur de notre travail. En chapitre 3, nous allons présenter l'heuristique de stockage/déstockage pour l'AS/RS à convoyeur gravitationnel où une description détaillée de l'heuristique, des procédures de stockage et de déstockage va être donnée. Dans le chapitre 4, nous allons implémenter l'heuristique de stockage/déstockage du système dans un programme de simulation, en utilisant le logiciel de simulation des systèmes de production ARENA/SIMAN, après avoir parlé de la simulation et les avantages d'utiliser un logiciel de simulation tel que le logiciel ARENA dans des systèmes de production. La structure d'ARENA fournit une grande flexibilité et facilité d'utilisation pour un chercheur.

Enfin, l'interprétation des résultats obtenus de la simulation ainsi que les conclusions de cette étude sont présentées dans le dernier chapitre, une comparaison va être faite entre les performances d'un stockage/déstockage purement aléatoire et les performances de l'heuristique de stockage/déstockage pour un système donné, par rapport au temps moyen de déstockage. En plus, nous allons voir ce que peut avoir cette heuristique comme impact sur la diversité des produits stockés au niveau temps.

Chapitre 1

Introduction Aux Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage.

1. Introduction	5
2. Système automatisé de stockage/déstockage AS/RS	6
3. AS/RS Composants et Terminologie	7
4. Types d'AS/RS	11
5. Méthodologies de stockage.....	17
6. Planification du Système	18
7. Critères d'exécution.....	20
8. L'évaluation des performances des AS/RS dans la littérature	21
9. Conclusion.....	22

1. Introduction :

Les systèmes flexibles de production (*Flexible Manufacturing System, FMS*) ont fait leur apparition dans le domaine industriel il y'a de cela plusieurs décennies. Ils visent à améliorer la productivité, réduire les stocks d'encours et amortir les perturbations sur les systèmes. Les FMS sont composés essentiellement de stations de travail (elles aussi, composées de machines à commande numérique, de systèmes de manutention, de magasins d'outils et de systèmes automatiques d'inspection), d'un système automatisé de stockage/déstockage connecté par un système de transport, le tout est contrôlé par un système de contrôle à base de microprocesseur [ASKIN 93].

Les systèmes automatisés de stockage/déstockage (*Automated Storage/Retrieval System, AS/RS*) sont adoptés dans les FMS pour diverses raisons telles que l'augmentation de la capacité de stockage, le contrôle de l'inventaire en temps réel, l'augmentation de la sécurité dans les zones industrielles, la flexibilité de l'interface avec les autres composantes des FMS (les systèmes de transport, de contrôle, ...etc.), la réalisation du concept de *Just-in-Time* par une réponse rapide à une demande (produit, support, palette ...etc.) au moment souhaité.

Le système AS/R se compose d'une série de racks de stockage desservis par des allées où circulent une ou plusieurs machines de stockage/déstockage (S/R), habituellement une machine S/R par allée. Les machines S/R sont utilisées pour stocker ou déstocker des matériaux des racks. L'AS/RS a une ou plusieurs stations d'entrée/sortie référencées sous le nom de station de dépôt/livraison (P/D). Le transfert des matériaux entre les stations de dépôt/livraison et les autres équipements de production peut être manuel ou automatique grâce aux systèmes automatisés de transport, tel qu'un système de convoyeur ou d'AGV.

Les systèmes AS/R ont été conçus de telles sortes qu'ils peuvent traiter et manipuler la variété des produits en stockage, en dimensions et en volumes, plusieurs types de système AS/R ont été développés pendant les trois dernières décennies. Plusieurs catégories importantes de systèmes AS/R peuvent être distinguées, les systèmes AS/R à charge unitaire représente le système générique, les systèmes AS/R à mini charge, les systèmes AS/R à personne à bord, les systèmes AS/R à étagère profonde, les systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel, les systèmes AS/R à rack glissant, les systèmes AS/R multi allées... ne sont que des variations du premier.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le système AS/R en traitant ses différents aspects. Nous parlerons de sa conception, à l'évaluation de ses performances, des différentes composantes et des différents types d'AS/RS qui peuvent exister.

2. Système automatisé de stockage/déstockage AS/RS :

Un système automatisé de stockage/déstockage (*Automated Storage & Retrieval System, AS/RS*) est défini par *Materials Handling Institute [MHI 77]* dans les termes suivants :

Une combinaison d'équipements et de systèmes contrôle qui manipule, stocke, et déstocke des matériaux avec précision, exactitude et célérité sous un certain degré d'automatisation.

Les systèmes AS/R sont prévus pour chaque application de stockage, de transport et de déstockage, ils ont pour fonction de recevoir, identifier, classer, mettre en stock, déstocker, emballer, emmagasiner les produits en cours de production, la matière première, les produits finis, les pièces détachées, les palettes, les supports, les outils, les produits à retravailler.... Leur complexité s'étend des systèmes d'un mécanisme relativement petit qui est commandé manuellement, aux très grands systèmes commandés par ordinateur qui sont entièrement intégrés aux autres opérations d'usine et d'entrepôt.

Les différentes compagnies ont différentes raisons d'installer un système automatisé pour stocker des produits. Une liste d'objectifs possibles qu'une compagnie peut vouloir atteindre en installant un système automatisé de stockage/déstockage est présentée ci-dessous :

- Augmenter la capacité de stockage ;
- Augmenter l'utilisation de surface au sol ;

- Récupérer l'espace pour des installations de fabrication ;
- Améliorer la sécurité et réduire le chapardage ;
- Réduire le coût de la main d'oeuvre dans des opérations de stockage ;
- Augmenter la productivité main d'oeuvre dans des opérations de stockage ;
- Améliorer la sûreté dans la fonction de stockage ;
- Améliorer le contrôle des stocks ;
- Augmenter la rotation du stock ;
- Production juste à temps (JIT) ;
- Grande flexibilité de fonctionnement ;
- Améliorer le service client. [MHI 77]

Malgré les intérêts qu'offrent les systèmes AS/R, ils présentent quelques inconvénients dont les plus importants sont :

- Les AS/RS, une fois installés sont très difficiles à modifier ;
- 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 varie entre 2 et 3 millions de Dollars US [HARNISCHFEGER 81]

3. AS/RS Composants et Terminologie :

Tous les systèmes automatisés de stockage/déstockage se composent de certains blocs fonctionnels de base, utilisés pour presque toutes les catégories AS/RS décrites par la suite. Ces composants sont :

1. Structure de stockage ;
2. Machine de stockage/déstockage (S/R) ;
3. Stations de dépôt/livraison ;
4. Modules de stockage (par exemple, charges unitaires de palettes) ;
5. Système de contrôle.

3.1. La structure de stockage :

La structure de stockage est le cadre fabriqué en acier qui soutient les charges contenues dans l'AS/RS. La structure doit posséder la force et la rigidité suffisantes pour qu'elle ne fléchisse pas aux poids des charges ou aux autres forces appliquées sur le cadre. Les différents compartiments de stockage dans la structure doivent être conçus pour accepter et pour tenir les modules de stockage utilisés pour contenir les matériaux stockés. Les terminologies utilisées sont les suivantes :

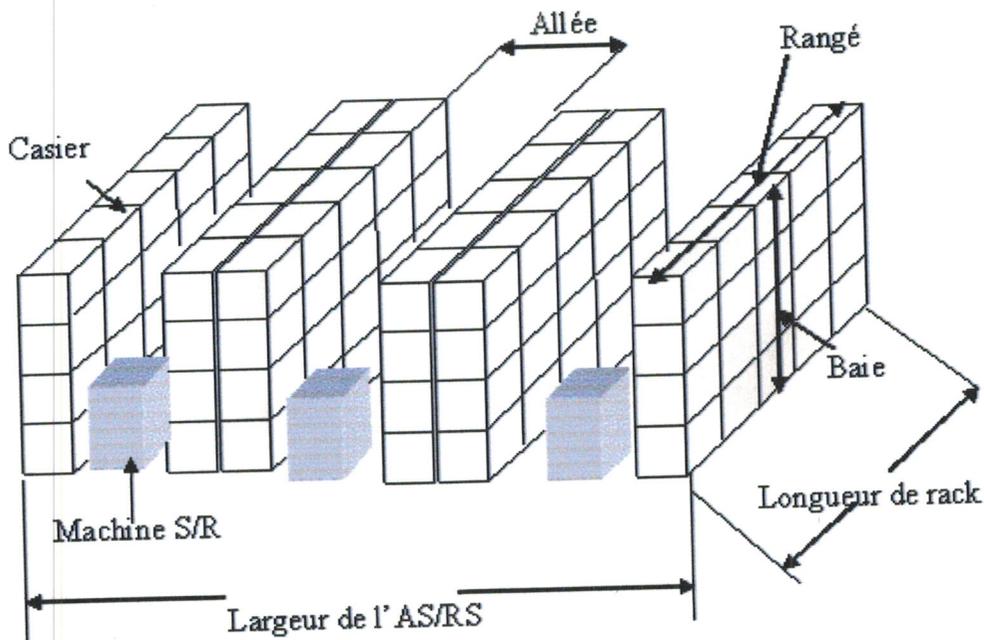


Figure 1.1 : Structure d'un système AS/R (AS/RS à charge unitaire).

- Casier : Le casier est l'unité de stockage de base. C'est l'espace tridimensionnel nécessaire au stockage d'une charge unique ou d'un ensemble de charges.
- Baie : C'est la colonne formée de l'ensemble de casiers allant du sol au plafond.
- Rangée : C'est l'ensemble de casiers formés par des baies placées les unes à la suite des autres.
- Etagère : C'est la structure formant une rangée.
- Allée : L'allée est l'espace entre deux rangées où circule la machine de stockage/déstockage.

3.2. La machine de stockage/déstockage (S/R) :

La machine de stockage/déstockage (*Storage/Retrieval machine, S/R machine*) sert à stocker/déstocker les produits. Une machine S/R opère en simple cycle si la tâche requise est une opération soit de stockage soit de déstockage, et elle opère en double cycle si elle effectue une tâche composée, c.à d, stocker et déstocker des produits. Pour effectuer ces fonctions, la machine S/R doit être capable de glisser horizontalement et verticalement pour aligner son

plateau (qui porte le produit) avec le casier, et elle doit également tirer ou pousser le produit dans le casier.

La machine S/R se compose d'une armature droite rigide dans laquelle est montée un système de rail pour le mouvement vertical du plateau. Des roues sont attachées à la base de l'armature pour permettre le glissement horizontal le long d'un système de rail installé en bas de l'allée. Un rail parallèle, situé au dessus de la structure de stockage, est utilisé pour maintenir l'alignement de l'armature à la structure.

Le plateau est constitué d'un mécanisme de navette pour déposer et extraire les produits de leurs casiers de stockage. La conception du système de navette doit permettre aux produits de transiter du plateau de la machine S/R à la station de P/D et vice versa. Le plateau et la navette sont positionnés dans l'AS/RS et actionnés automatiquement. Certaines machines S/R ont un opérateur humain à leur bord, ces machines sont utilisées dans les systèmes AS/R à personne embarquée.

Pour accomplir les mouvements désirés de la machine (S/R), trois commandes sont exigées : horizontale, verticale, et navette. Sa vitesse horizontale est d'environ $152m/mn$ ($500pieds/mn$) le long de l'allée et sa vitesse verticale ou d'ascenseur est d'environ $30m/mn$ ($100pieds/mn$) [GROOVER 87]. Ces vitesses déterminent le temps requis par le plateau pour transporter de la station de (P/D) à un endroit particulier dans le rack de stockage.

Les machines S/R peuvent avoir des hauteurs de $6m$ à $40m$ et supporter des charges de $50kg$ à $5tonnes$ [SINGH 96]. La figure 1.2 représente des machines de stockage/déstockage et des plateaux avec des mécanismes de navette.

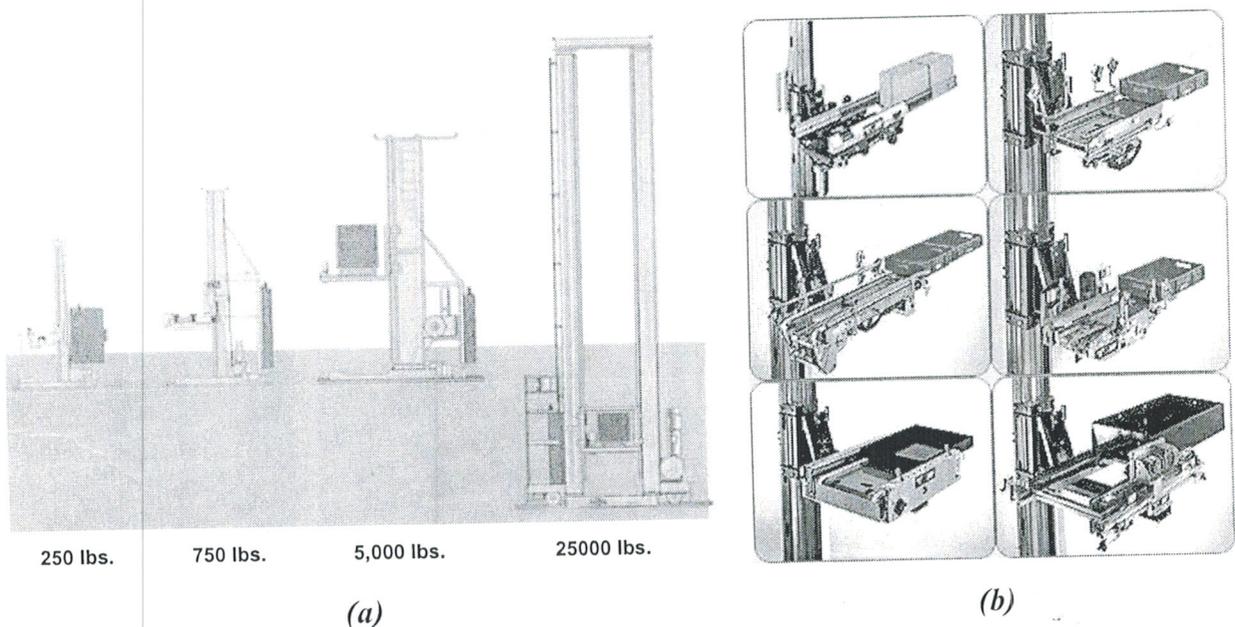


Figure 1.2 : (a) Les machines de stockage/déstockage (S/R), (b) les plateaux constitués de mécanisme de navette.

3.3. Les stations de dépôt/livraison :

La station de dépôt/livraison (*Pickup/Deposit station, P/D*), est aussi appelée station d'entrée/sortie. C'est le point par où transitent tous les produits entrants ou sortants du système. C'est l'interface entre la machine S/R et le système de transport externe à l'AS/RS. Les stations de P/D doivent être conçues de sorte qu'elles soient compatibles avec la navette de la machine S/R et le système de transfert externe. Le transfert des produits du système AS/R aux autres systèmes de production est fait soit manuellement (chargement/déchargement manuel) soit en utilisant les systèmes de transport tels que les AGV et les convoyeurs (convoyeurs à accumulation).

3.4. Les modules de stockage :

Les modules de stockage sont des containers ou des palettes généralement faits à une taille standard qui peut être manipulée automatiquement par la navette du chariot de la machine S/R. La taille standard lui permet d'être placés dans les casiers, chargés par les machines S/R et déchargés dans les stations de dépôt/livraison. Les containers peuvent être des paniers en fil d'acier, des moules d'emballage, des plateaux, des bacs, des boîtes de carton ou de plastique des tiroirs spéciaux... [KULWIEC 85].

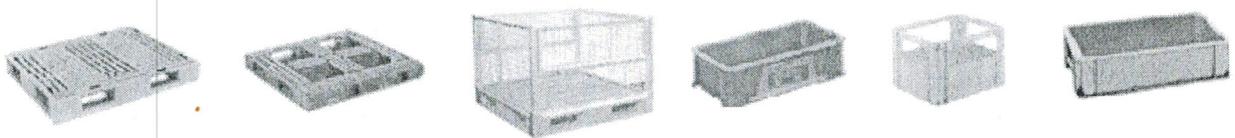


Figure 1.3 : Modules de stockage.

3.5. Système de contrôle :

Une hiérarchie de contrôle, semblable à celle des FMS, est employée, avec plus d'un ordinateur en utilisant le contrôle distribué [NADJID 94]. Les divers niveaux du contrôle utilisent différent hardware tel que des mini- et des micro-ordinateurs et des contrôleurs programmables. Le logiciel du système de contrôle peut être développé pour intégrer des fonctions telles que la réception, le stockage et le remplissage, l'emballage, et l'expédition.

Le problème principal de commande dans les systèmes AS/R est le positionnement de la machine S/R en dessous d'une tolérance acceptable au compartiment de stockage dans la structure pour déposer ou déstocker une charge spécifique. Les endroits des charges stockées dans le système doivent être déterminés afin de diriger la machine S/R vers un casier particulier. Chaque casier dans le système AS/R est identifié par un numéro de l'endroit, qui indique l'allée, la position horizontale, et la position verticale dans la structure. Un schéma,

basé sur des codes alphanumériques peut être employé à cette fin. En utilisant ce schéma d'identification d'endroit, à chaque charge unitaire stockée, est donnée un code d'identification et mise en référence à un endroit particulier dans le système de stockage. Chaque fois qu'une transaction de stockage est accomplie, l'enregistrement de la transaction doit être écrit dans un fichier.

Le contrôle des AS/RS a suscité un certain intérêt des chercheurs tels que LINN et WYSK [LINN 90 a et b], WANG et YIH [WANG 97], Ils ont développé un système de contrôle pour l'AS/RS. Le système des premiers utilise la structure hiérarchisée en subdivisant le contrôle de l'AS/RS en trois niveaux : contrôle stratégique, tactique et de process. Les seconds ont basé leur système sur les réseaux de neurones, capable de supporter des variations dans la configuration de l'AS/RS ainsi que les différentes exigences dans les performances.

4. Types d'AS/RS :

Il existe différents types d'AS/RS. Leur classification est basée sur leurs structures et leurs applications. Nous distinguons :

1. Les AS/RS à charge unitaire ;
2. Les AS/RS multi allées ;
3. Les AS/RS à racks glissants (ou racks mobiles) ;
4. Les AS/RS à mini charge ;
5. Les AS/RS à carrousel ;
6. Les AS/RS à personne embarquée ;
7. Les AS/RS à étagères profondes ;
8. Les AS/RS à convoyeur gravitationnel.

4.1. Les AS/RS à charge unitaire :

Un AS/RS à charge unitaire est un grand système automatisé conçu pour stocker des charges unitaires entreposées dans des palettes ou d'autres containers standard. Les charges sont en général supérieures à 250 kg par unité [SARI 03c]. Le système est commandé par ordinateur, et les machines S/R sont automatisées et conçues pour transporter les containers ou les palettes à charge unitaire. Un AS/RS à charge unitaire est représenté dans la figure suivante :

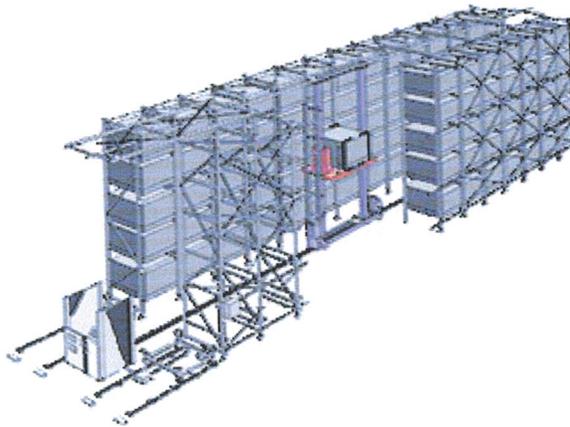


Figure 2.4 : AS/RS à charge unitaire.

Le système à charge unitaire est l'AS/RS générique. Les autres systèmes décrits ci-dessous représentent des variations de l'AS/RS à charge unitaire.

4.2. Les AS/RS multi allées :

Un AS/RS multi allées est une variation des AS/RS à charge unitaire, composé d'un ensemble de racks disposés deux à deux et séparés par une allée appelé allée de desserte. Une allée commune placée perpendiculairement aux racks relie toutes les allées de desserte. Un tel système a une seule machine S/R capable de servir l'ensemble des racks. De ce fait, cette machine se déplace suivant trois axes : verticalement le long des colonnes formant les racks, horizontalement le long des allées de desserte et transversalement le long de l'allée commune dont l'une des extrémités est équipée d'une station de dépôt/livraison.

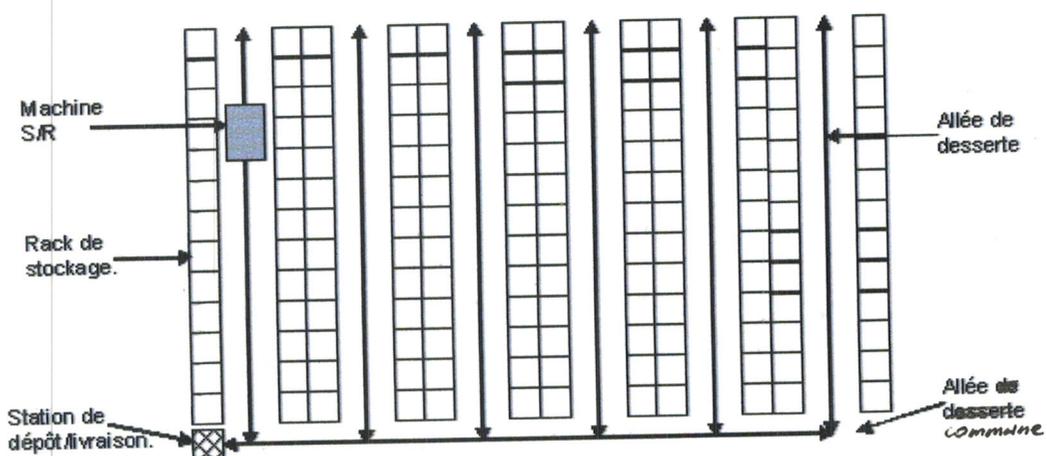


Figure 2.5 : AS/RS multi allées.

4.3. Les AS/RS à racks glissants :

Les AS/RS à racks glissants (ou *racks mobiles* [KULWIEC 85]) sont une variation des AS/RS multi-allées. La particularité de ces systèmes est que les allées de service n'apparaissent que lorsqu'une opération de stockage ou de déstockage est prévue dans les racks correspondants. Les racks formant le système glissent latéralement sur des rails de telle sorte que l'on puisse ouvrir une allée entre n'importe quels deux racks mitoyens. Au repos, il existe une seule allée de service, celle-ci pouvant se déplacer entre n'importe quel deux racks mitoyens, ce n'est pas l'allée qui se déplace mais les racks [SARI 03c].

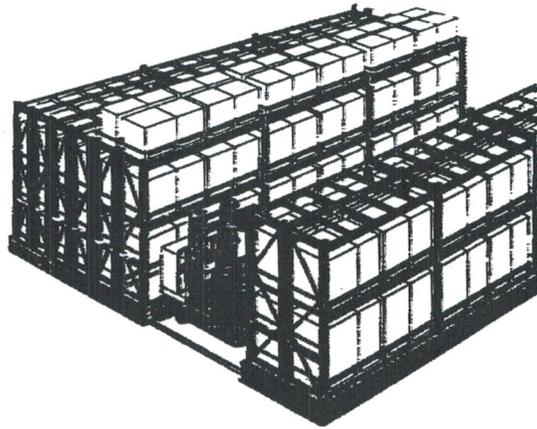


Figure 2.6 : AS/RS à racks glissants.

4.4. Les AS/RS à mini charge :

Ce système de stockage est utilisé pour manipuler les petites charges (différents pièces ou approvisionnements) qui sont contenues dans des casiers ou des tiroirs dans le système de stockage. La machine S/R est conçue pour déstocker le casier en entier et pour le livrer à la station P/D de sorte que les différents articles puissent être retirés des casiers par un opérateur ; une personne ou un robot. Le casier ou le tiroir est alors retourné à son endroit dans le système. Le système AS/R à mini charge est généralement plus petit que l'AS/RS à charge unitaire, est souvent enfermé pour la sécurité des articles stockés et nécessite un investissement relativement faible.

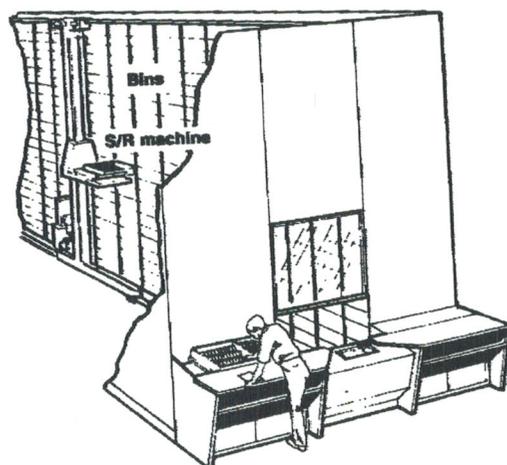


Figure 2.7 : AS/RS à mini charge.

4.5. Les AS/RS à carrousel :

Les carrousels sont une bonne alternative au systèmes à mini charge [TOMPKINS 84]. Dans ces systèmes, ce sont les casiers qui se déplacent vers l'extrémité du rack où un opérateur (personne ou robot) stocke/déstocke les produits. Le système consiste en un ensemble de casiers montés en carrousel et se déplaçant horizontalement vers une extrémité du rack où l'opération de stockage/déstockage sera réalisée. [SARI 03c]

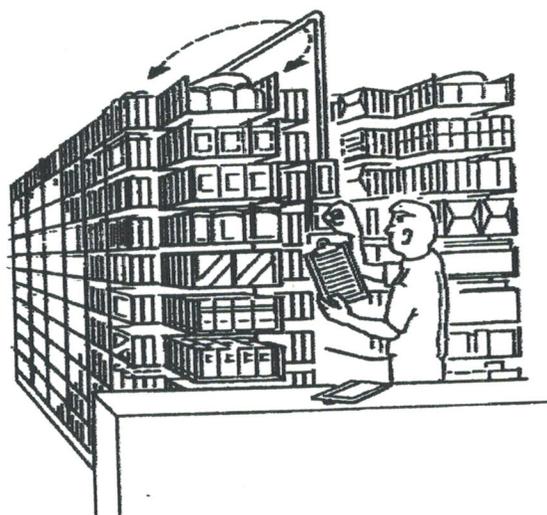


Figure 2.8 : AS/RS à carrousel.

4.6. Les AS/RS à personne embarquée :

L'AS/RS à personne embarquée (également appelé personne à bord) représente une approche alternative au problème de stocker/déstocker différents produits dans le système. Une personne montée sur une plate-forme mobile sélectionne les différents produits à déstocker directement de leurs endroits de stockage ou les stocke dans leur casier adéquat. Ceci donne une occasion de réduire le temps de stockage/déstockage du système. L'opérateur, après les avoir déstocké, charge les produits sur la machine S/R qui les transporte vers la station de dépôt/livraison. La plate-forme, sur laquelle se trouve l'opérateur, peut contenir des systèmes automatiques de levage, pour charger/décharger les produits lourds.

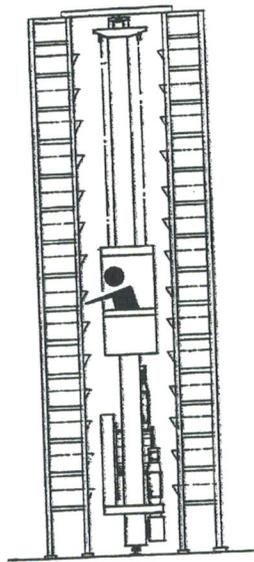


Figure 2.9 : AS/RS à personne embarquée.

4.7. Les AS/RS à étagères profondes :

L'AS/RS à étagères profondes est un système à haute densité, il est approprié quand la quantité des charges unitaires à stocker est grande mais la séparation entre eux est relativement petite. Le système à étagères profondes stocke jusqu'à 10 charges environ dans le même casier, une charge derrière une autre, ceci permet une utilisation de l'espace maximum. Chaque casier est conçu pour permettre le déplacement horizontal de chaque charge, avec l'entrée d'un côté et la sortie de l'autre côté. Ce déplacement est possible grâce à un plateau mobile qui se déplace de la machine S/R à l'entrée du casier. La machine S/R est identique à celle d'un AS/RS à charge unitaire avec en plus des fonctions spécifiques pour lui permettre le contrôle des plateaux mobiles.

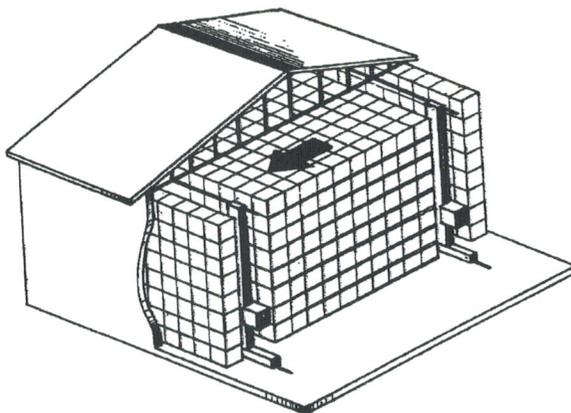


Figure 2.10 : AS/RS à étagères profondes.

4.8. Les AS/RS à convoyeur gravitationnel :

Ce système est une variation des AS/RS à étagères profondes. Il est constitué d'un ensemble de casiers profonds dont les supports sont des convoyeurs gravitationnels. Deux machines S/R se trouvent aux deux extrémités, une sur une face assure le stockage et l'autre sur l'autre face assure le déstockage, les deux machines sont reliées entre elles par un convoyeur de re-stockage incliné en sens inverse permettant à la machine de stockage d'accéder aux produits pour les re-stocker. Une description plus détaillée de ce système sera présentée au chapitre 2.

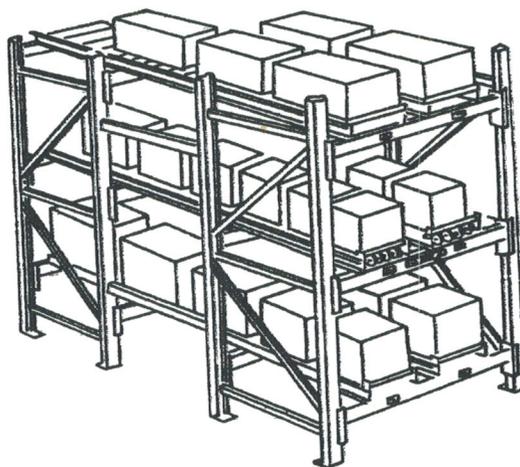


Figure 2.11 : AS/RS à convoyeur gravitationnel.

5. Méthodologies de stockage :

Dans cette section nous considérons le problème d'assigner les charges entrantes aux endroits appropriés de stockage, afin de réduire leurs rotations, de l'entrée de la charge au système à sa sortie.

Trois méthodologies de stockage sont considérées : Le stockage dédié où chaque type de produit a son propre secteur de stockage. Le stockage aléatoire ouvert où chaque produit est assigné à un casier de manière aléatoire. Et le stockage aléatoire par classe où les produits sont divisés généralement en trois classes suivant leur temps et fréquence de stockage.

5.1. Stockage dédié :

Dans ce stockage, chaque type de produit a une aire de stockage prédéterminée, ce qui fait que l'espace de stockage est partagé en blocs, chacun est utilisé pour un produit spécifié. Le contrôle de ce système et la gestion des stocks sont simplifiés. Néanmoins, l'espace de stockage augmente puisqu'il faut donner suffisamment d'espace pour les stocks maximum de chaque produit et le taux de remplissage du système de stockage est relativement bas [SARI 03c]. L'ajout de nouveaux produits non prévus à l'origine est très complexe.

5.2. Stockage aléatoire ouvert :

Dans le stockage aléatoire, n'importe quel produit est stocké dans n'importe quel casier. Un système de contrôle élaboré garde en mémoire les adresses de chaque type de produit. Le principal avantage est que ce type de stockage utilise moins d'espace que le stockage précédent. L'espace total de stockage est équivalent au stock maximum de tous les produits [ASKIN 93]. Ceci permet une réduction importante d'espace. Cependant, ce système nécessite un contrôle très élaboré.

5.3. Stockage aléatoire par classe :

Ce type de stockage s'attaque au temps de cycle, il permet une réduction du temps qui peut atteindre 40% [ASKIN 93]. Les produits dans un AS/RS ne restent pas stockés la même durée. Les produits qui restent stockés peu de temps sont placés près de la station de livraison et les produits qui restent plus longtemps sont placés loin de la station, 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.

6. Planification du Système :

La première étape dans la planification est l'établissement des objectifs que l'utilisateur veut atteindre. Les étapes suivantes présentés ci dessous permettent de déterminer les dispositions et le plan [MALEKI 91] :

Etape 1. Déterminer les tailles, les configurations, et les poids de la charge :

Bien que les matériaux viennent de différentes tailles et formes, il est idéal de concevoir un AS/RS où les différents casiers sont uniformes et assez grands, de sorte que la plupart des matériaux puissent être stockés dans l'aire de stockage. Les casiers uniformes coûtent moins cher. La taille de la charge inclut la longueur (profondeur), la largeur, et la hauteur, ceci identifie la taille du casier. Un autre facteur physique qui doit être considéré est le poids de la charge qui affecte la conception structurale des supports du rack.

Etape 2. Déterminer combien d'espace de stockage est nécessaire :

La quantité maximal de différents genres de charge unitaire à stocker à n'importe quel moment déterminera le nombre total de casier que le système exigera. La détermination du nombre maximal des charges unitaires exigées pour le stock devrait être basée sur des opérations courantes, en plus une évaluation raisonnable des futurs besoins. Elle prend d'habitude deux ans de la planification initiale à l'opération d'un système automatisé de stockage/déstockage, ainsi estimer les conditions de l'inventaire de stockage pour au moins deux ans dans le futur.

Etape 3. Déterminer la Production du Système :

C'est combien de charges entrent et combien de charges sortent par heure. L'activité du système est directement liée à l'activité de la production et de l'expédition du système de production. C'est simplement une question de déterminer combien de charges unitaires doivent être stockées et combien doivent être déstockées pendant chaque heure d'opération. Les moyennes maximales par heure de charge entrante et de charge sortante sont nécessaires pour le fonctionnement efficace.

Etape 4. Déterminer le nombre de machine S/R requise :

C'est de déterminer le nombre de machines pour une moyenne donnée de production. Le nombre de pièces requises divisées par la capacité de la machine détermine le nombre exigé de machines.

Etape 5. Déterminer le nombre de rangées dans un système :

Une machine peut servir de multiples allées ou un simple allée. Dans un système de machine par allée, par exemple, une machine sert deux rangées. Par conséquent, pour déterminer le nombre de rangées dans le système, on multiplie le nombre de machines par 2.

Etape 6. Déterminer la hauteur du système/taille des charges :

Généralement une hauteur du système s'étendra de 9m à 27m (30 pieds à 90 pieds) ; les systèmes les plus efficaces ont des tailles entre 15m et 21m (50 pieds et 70 pieds). Le nombre de charges par hauteur peut être calculé par : la hauteur du système divisé par la hauteur de la charge, où la hauteur de la charge, en plus de la taille de la charge, inclut l'allocation pour les membres de support de charge du rack et l'entrée de navette de la machine. En outre, allocations, pour les distances du plus bas support du plancher et du plus haut support du plafond, si nécessaire, le besoin d'être pris en compte.

Etape 7. Déterminer le nombre de baies requis par rangée :

En utilisant certains des résultats des étapes précédentes et de la formule suivante, le nombre de casiers peut être calculé par : le nombre de charge unitaire (étape 2) divisé par le nombre de rangées (étape 5) multiplie le nombre de hauteur des charges (étape 6).

Etape 8. Déterminer la longueur du rack :

Ceci est calculé en estimant d'abord la largeur du casier, qui est : la largeur de la charge + le dégagement exigé + la largeur de support du rack (centre à centre). Alors la longueur du système peut être calculée par : la largeur du casier multipliée par le nombre de casiers (étape 7). Il est recommandé que la longueur du rack de stockage soit gardée entre 76m et 122m (250 pieds et 400 pieds) pour maximiser l'efficacité de la machine.

Etape 9. Déterminer la longueur du système :

Ajouter l'allocation à la longueur du rack et le secteur d'opération de la machine S/R.

Etape 10. Déterminer la largeur du système :

Calculer d'abord l'allée/unité où (largeur d'allée) + (profondeur du compartiment*2). La multiplication d'allée/unité par le nombre d'allées désirées a comme conséquence la largeur de système.

Etape 11. Évaluation du système :

Consiste à l'estimation en coût du système. Prévisions budgétaires des équipements.

Ces étapes ne sont pas prêtes définies, elles changent suivant le jugement de l'utilisateur en appliquant ces concepts pour concevoir un système AS/R, suivant le système désiré.

7. Critères d'exécution :

Un système automatisé de stockage représente un investissement significatif pour la société, et il nécessite souvent de nouvelle et différente manière de faire des affaires. L'exécution du système de stockage doit être suffisante pour justifier les dépenses impliquées. Il y a un certain nombre de critères d'exécution par lesquels les systèmes automatisés de stockage peuvent être mesurés. Ces critères incluent :

1. Capacité de stockage ;
2. Production du système ;
3. Utilisation ; (taux d'utilisation)
4. Fiabilité en temps de bon fonctionnement (Uptime reliability).

7.1. La capacité de stockage :

La capacité de stockage est le nombre total maximal des différentes charges qui sont attendues pour être stockées. Ceci est déterminé par la taille du système de stockage relative aux tailles physiques des articles et des matériaux dans le stockage.

Dans un système de stockage entièrement automatisé, des matériaux sont généralement stockés dans les charges unitaires qui sont tenues dans un container de taille standard (palettes, containers en plastique ou en métal...etc.). Le container peut aisément être manipulé, transporté, et stocké par le système de stockage et par le système automatisé de manutention et de transport qui peut être relié au système de stockage. La capacité physique du système de stockage devrait être plus grande que le nombre des charges qui seront tenues, afin d'avoir des espaces vides disponibles pour les matériaux ou les charges entrant dans le système et pour tenir compte des variations des besoins maximaux de stockage.

7.2. La production du système :

La production du système peut être définie comme le nombre de charges par heure que le système de stockage peut recevoir et placer la charge dans le rack, et déstocker et livrer la charge à la station de livraison. Ces deux activités peuvent être faites séparément ou combinées dans un cycle. Les cycles sont désignés sous le nom des transactions de stockage.

Le système de stockage doit être conçu pour la production exigée. Le régime des transactions varie selon les opérations d'usine et d'entrepôt, le taux d'entrée/sortie des charges au système de stockage et selon les périodes du jour. Le système devrait être conçu pour traiter le régime maximal.

La capacité de production sera également limitée par la capacité du système de manutention et de transport lié au système de stockage. Si le système de manutention et de

transport est incapable de fournir des charges ou d'enlever des charges du système de stockage à un régime qui est compatible avec le temps de cycle de transaction, la production du système de stockage sera compromise.

7.3. L'utilisation :

L'utilisation du système de stockage est définie comme le pourcentage du temps que le système est en service au temps où il est disponible. L'utilisation change tout au long de la journée, car les conditions changent d'heure en heure. Il est souhaitable de concevoir le système pour une utilisation relativement maximale, à 85% [WHITE 82], entre les gammes 80 à 90% [GROOVER 87]. Si l'utilisation moyenne est trop haute, le système risque de tomber en panne.

7.4. La fiabilité en temps de bon fonctionnement

La fiabilité en temps de bon fonctionnement est le pourcentage du temps que le système est capable de fonctionner, comparé à la période des opérations du système programmées normalement.

A cause de quelques désagréments, tels que les défauts de fonctionnement d'équipement mécanique ou électrique..., il est approprié de concevoir le système de stockage de telle manière que cet ennui ne cause pas de baisse dans le système. La fiabilité d'un système existant peut être améliorée en employant de bonnes procédures d'entretien préventif et en ayant des pièces de réparation en main pour les composants critiques dans le système. Des procédures de secours devraient être conçues pour atténuer les effets du temps d'arrêt du système.

8. L'évaluation des performances des AS/RS dans la littérature :

L'amélioration des performances des différents types d'AS/RS a toujours été un sujet de développement continu pour de nombreux chercheurs, nous citons : BOZER et WHITE [BOZER 94] et [BOZER 96], LEE [LEE 97], ...etc. L'un des plus importants points de performance est le temps de cycle des machines S/R.

Afin de minimiser le temps de cycle des machines S/R, certains chercheurs ont étudié le problème de la position du point de repos de la machine S/R et son impact sur le temps de cycle. BOZER et WHITE [BOZER 84] ont suggéré plusieurs règles statiques de positionnement du point de repos. EGBELU [EGBELU 91] a développé des formulations pour minimiser le temps de cycle et les temps de réponse maximum. EGBELU et WU [EGBELU 93] ont utilisé la simulation pour comparer les règles de positionnement du point de repos. HWANG et LIM

[HWANG 93] utilisèrent les règles développées par EGBELU [EGBELU 91] et les transformèrent en un problème de positionnement unique en utilisant les distances *Tchebyshev* pour la première règle et le minimax de *Tchebyshev* pour la seconde. PETERS et al [PETERS 96] ont développé une expression analytique de la position du point de repos sous une variété de configurations d'AS/RS concluant que le meilleur point de repos de la machine S/R se trouve au milieu du rack. CHANG et EGBELU [CHANG 97 a et b] ont développé deux algorithmes pour la détermination du point de repos optimal d'une machine S/R desservant un AS/RS multi allées.

D'autres ont considéré que le problème vient de l'attribution d'emplacement de stockage et le choix d'ordre de stockage et de déstockage, un problème d'ordonnancement, LEE [LEE 92] considéra le problème d'attribution d'espace de stockage dédié de sorte que le temps total de cycle est minimisé dans un AS/RS à personne à bord. Une heuristique pour la disposition des espaces de stockage est développée basée sur la technologie de groupe. LEE et SCHAEFER [LEE 96] ont considéré le problème d'ordonnancement des demandes de déstockage dans un AS/RS à charge unitaire. Ils ont développé un algorithme permettant de séquencer les demandes en double cycle afin de minimiser les temps de transport.

Il existe un autre point de performance que les chercheurs prennent en considération est l'aspect coût des AS/RS. Parmi eux : BOZER et WHITE [BOZER 80], ZOLLINGER [ZOLLINGER 75], KARASWA et al. [KARASWA 80], DESSOUKY et WILSON [DESSOUKY 91], ...etc.

9. Conclusion :

Ce chapitre est une introduction aux systèmes automatisés de stockage/déstockage, nous avons parlé des différents types d'AS/RS, de leurs compositions, de leurs conceptions et de leurs planifications. Les AS/RS ont suscité beaucoup d'intérêt grâce à leurs avantages. De très nombreux travaux subsistent que chaque chercheur ou auteur les utilise comme base ou référence pour sa recherche, néanmoins, il y a des AS/RS qui ne sont pas beaucoup étudiés dans la littérature tels que les AS/RS à convoyeur gravitationnel. C'est pour cela que nous nous sommes intéressés à ce système et que nous y avons consacré notre étude.

Chapitre 2

Les Systèmes Automatisés De Stockage/Déstockage À Convoyeur Gravitationnel.

1.Introduction	23
2.Système AS/R à Convoyeur Gravitationnel	24
3.Modélisation des temps de transport d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel.....	27
4.Analyse des taux de fonctionnement des machines S/R d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel	31
.....	38
5.Conclusion.....	38

1. Introduction :

Les AS/RS ont beaucoup attiré l'attention de la communauté scientifique et des industriels à cause de leurs importances dans le domaine de l'industrie et dans les systèmes de production. Ils ont permis une meilleure gestion des stocks en minimisant les temps d'accès, en augmentant la sécurité et en permettant une gestion d'inventaire en temps réel. De très nombreux travaux existent dans la littérature utilisée comme base ou référence pour la recherche. Toutefois, il n'y a pas beaucoup de littérature qui parle des systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel. De ce fait nous nous sommes intéressés à ce système et nous y avons consacré notre étude.

Ce chapitre est un résumé des travaux établis par SARI et al. [SARI 01 a et b], [SARI 03 a, b et c] sur les systèmes automatisés de stockage/déstockage à convoyeur gravitationnel (*Flow Rack Automated Storage/Retrieval System*).

Nous présenterons en premier, une description détaillée du système AS/R à convoyeur gravitationnel, de ses composants à son fonctionnement et des différentes configurations de ce système. En second, la modélisation du temps de transport des machines S/R sera introduite. Et finalement, une analyse des taux de fonctionnement des machines S/R du système AS/R à convoyeur gravitationnel suivra.

La modélisation du temps de cycle de la machine S/R est devenue l'un des plus importants domaines de la recherche dans l'étude des AS/RS. BOZER et WHITE [BOZER 84] ont développé des expressions analytiques pour les temps moyens des simples et doubles cycles des AS/RS à charge unitaire. Ces travaux sont devenus une source d'inspiration pour le développement d'autres expressions pour différents types d'AS/RS. SARI et al [SARI 01 a] ont établi l'expression du temps de cycle moyen d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel.

2. Système AS/R à Convoyeur Gravitationnel :

Notations:

Avant d'entamer notre étude, nous allons définir les différents termes que nous utiliserons :

$\overline{E(RC)}$	temps moyen de déstockage ;
$\overline{E(V)}$	temps moyen de transport en deux points de la face du rack ;
L, H, D	longueur, hauteur et profondeur du rack AS/RS à CG ;
l, h, d	longueur, hauteur et profondeur d'un emplacement de stockage ;
M	nombre d'emplacements dans un casier, nombre de couches dans un rack ;
m	numéro de couche ;
N_l	nombre de casier pour chaque ligne ;
N_h	nombre de casier pour chaque colonne ;
t_h	temps de transport horizontal de la station de dépôt/livraison à la colonne la plus éloignée ;
t'_h	temps de transport horizontal entre deux casiers mitoyen ;
t_v	temps de transport vertical de la station de dépôt/livraison à la ligne la plus éloignée ;
t'_v	temps de transport vertical entre deux casiers mitoyen ;
b	facteur de forme ;
T	facteur de normalisation ;
ρ	taux de charge.

2.1. Composantes :

Un système automatisé de stockage/déstockage à convoyeur gravitationnel (AS/RS à GG) (figure 2.1.), permet d'entreposer, stocker ainsi que récupérer des produits de manière entièrement automatisée. Il est constitué essentiellement de:

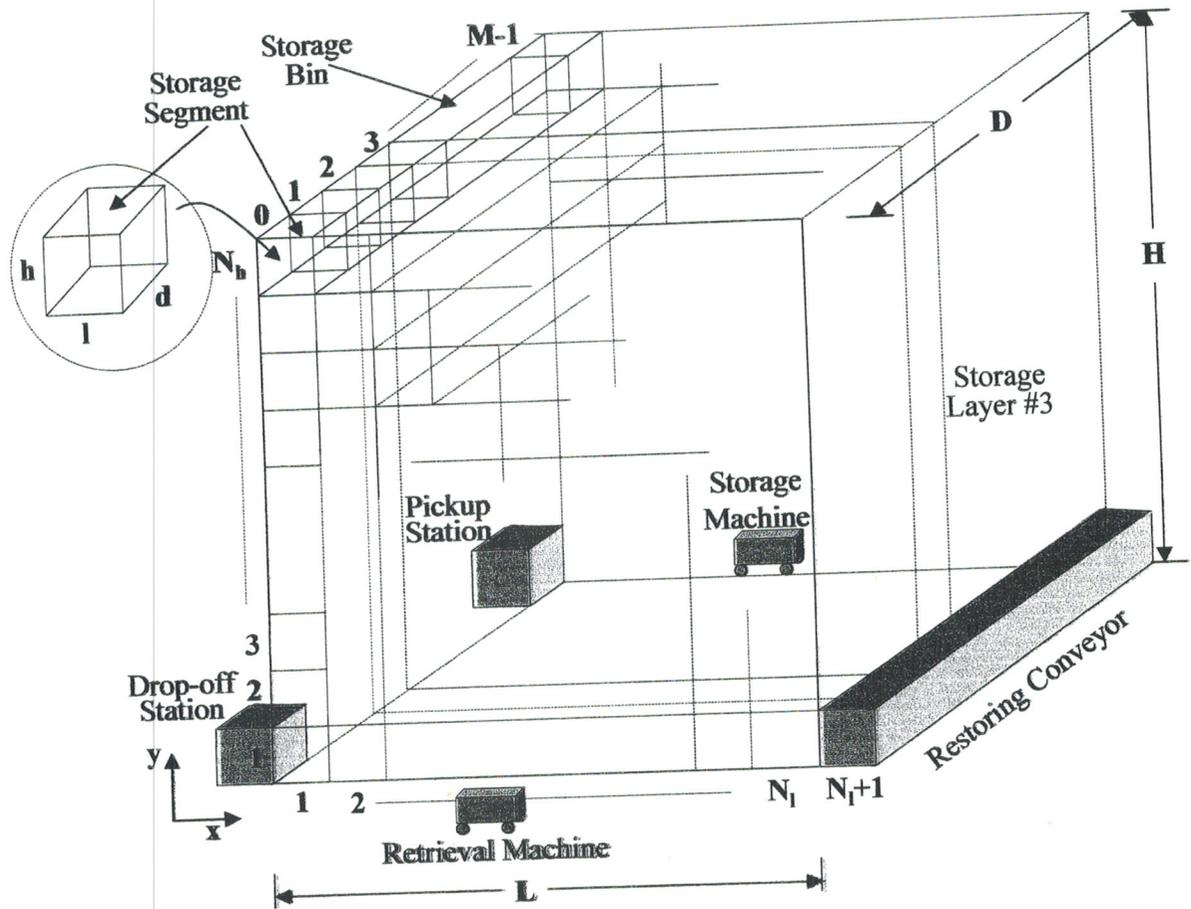


Figure 2.1. : Configuration AS/RS à Convoyeur Gravitationnel.

1. Un rack profond (de hauteur H , largeur L et profondeur D) composé de casiers (dont le support est un convoyeur gravitationnel, CG) comportant chacun M emplacements, disposés en matrice multicouche composée de N_l casiers horizontaux, N_h casiers verticaux et M couches numéroté de 0 (face de déstockage) à $M-1$ (face de stockage).
2. Une machine de stockage (MS) sur la face avant du rack, et une machine de déstockage (MD) sur l'autre face. Les machines de stockage/déstockage peuvent se déplacer simultanément sur deux axes (*Tchebyshev Travel*). Ces deux axes forment le plan x-y parallèle aux deux faces du rack. Les machines de stockage/déstockage possèdent la même vitesse horizontale V_h , et la même vitesse verticale V_v . par conséquent, les temps de transport peuvent être calculés comme suit :
 - t_h , le temps de déplacement horizontal de la station de dépôt/livraison à la colonne la plus éloignée : $t_h = L/V_h$;

- t_v , le temps de déplacement vertical de la station de dépôt/livraison à la ligne la plus éloignée : $t_v = H/V_v$;
- t'_h , le temps de déplacement horizontal d'un casier au suivant : $t'_h = l/V_h = t_h/N_l$
avec $l = L/N_l$;
- t'_v , le temps de déplacement vertical d'un casier au suivant : $t'_v = h/V_v = t_v/N_h$
avec $h = H/N_h$.

Les points de repos optimaux tels que déterminés par PETERS et al. [PETERS 96] sont la station de dépôt pour la machine de stockage et le milieu du rack pour la machine de déstockage.

3. Une station de dépôt sur une face et une station de livraison sur l'autre face. Elles sont situées respectivement au coin bas de la face de stockage et de la face de déstockage.
4. Un convoyeur de re-stockage qui est un convoyeur gravitationnel, incliné au sens inverse, reliant les deux faces du rack, c. à d. la machine de déstockage à la machine de stockage.

En plus de cette configuration du système, il existe d'autres obtenues en changeant les positions des stations dépôt/livraison et du convoyeur de re-stockage. Deux positions principales sont considérées pour les stations de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage : au centre ou au coin bas du rack. [SARI 03c]

Les quatre cas de configurations du système AS/R à convoyeur gravitationnel existants sont :

- Cas A : La station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage aux extrémités opposées du rack.
- Cas B : La station de dépôt/livraison à l'extrémité du rack et le convoyeur de re-stockage au centre du rack.
- Cas C : La station de dépôt/livraison au centre du rack et le convoyeur de re-stockage à l'extrémité du rack.
- Cas D : La station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage au centre du rack.

2.2. Fonctionnement du système AS/R à Convoyeur Gravitationnel :

Pour stocker un produit, la machine (MS) le récupère au point de dépôt et le dépose dans un casier de la face avant du rack, le produit glisse sur le convoyeur gravitationnel et se positionne dans l'emplacement libre le plus proche de la face arrière du rack. Chaque emplacement peut stocker un seul produit à la fois placé l'un après l'autre.

Pour le déstockage d'un produit (P) positionné dans l'emplacement m ($m < M$) d'un casier, la machine (MD) déstocke successivement tous les produits qui le précèdent et les dépose au convoyeur de re-stockage où ils seront pris en charge par la machine (MS) pour le stockage, enfin la machine (MD) récupère le produit (P) et le dépose au point de livraison.

3. Modélisation des temps de transport d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel :

Afin de déterminer les temps de transport pour les machines de stockage/déstockage d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel, SARI et al [SARI 01a] [SARI 03a] ont basé leur étude sur les travaux de BOZER et WHITE [BOZER 84] sur l'AS/RS à charge unitaire.

BOZER et WHITE [BOZER 84] ont développé les expressions analytiques du temps de cycle moyen pour les AS/RS à charge unitaire. En utilisant une approche statique basée principalement sur l'approximation des distances des casiers du rack en fonction continue. Leur étude est faite en considérant les hypothèses suivantes :

- Le rack est de dimensions connues, de face continue où les produits peuvent être stockés/déstockés en n'importe quel point.
- La station de dépôt/livraison est située au coin bas, à l'extrémité gauche du rack.
- La machine S/R se déplace simultanément dans les directions horizontales et verticales (Tchebychev Travel), avec des vitesses de déplacement constantes et connues.
- Le stockage aléatoire est utilisé, cela veut dire que n'importe quel point de la face du rack a la même probabilité de subir une opération de stockage/déstockage.
- Les temps associés au chargement/déchargement du produit par la machine sont ignorés. Ces temps sont, généralement, indépendants de la forme du rack et des vitesses de la machine S/R. ainsi, ils peuvent être ajoutés, à posteriori, aux expressions du temps de cycle.

Ainsi, l'expression du temps moyen de simple cycle est donnée :

$$\overline{E(SC)} = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (1)$$

avec :

$$t_h = t'_h N_l$$

$$t_v = t'_v N_h$$

$$T = \max(t_h, t_v)$$

$$b = \min\left(\frac{t_h}{T}, \frac{t_v}{T}\right) \quad 0 < b \leq 1.$$

De la sorte, SARI et al [SARI 01a] [SARI 03a] ont considéré que la face de stockage ou de déstockage du rack à convoyeur gravitationnel est similaire à celle d'un rack à charge unitaire. Le comportement de la machine de stockage dans le système AS/R à convoyeur gravitationnel est le même que dans le système à charge unitaire, ainsi le temps moyen de stockage reste inchangé. Cependant, l'opération de déstockage est composée de plusieurs séquences, afin d'arriver à l'article désiré, il est nécessaire d'enlever tous les produits qui le précèdent et de les renvoyer vers la machine de stockage à travers le convoyeur de re-stockage. Donc le temps moyen de déstockage pour un produit se trouvant dans la couche m peut être déterminé comme suit :

$$\overline{E(RC)}_m = \overline{E(V_1)} + \overline{E(V_2)} + m \cdot (\overline{E(V_3)} + \overline{E(V_4)}) \quad (2)$$

Où :

- m : le numéro de la couche où se trouve le produit désiré (avec $0 \leq m \leq M-1$)
- $\overline{E(V_1)}$: le temps moyen de transport entre point de repos de la machine S/R et le point de déstockage;
- $\overline{E(V_2)}$: le temps moyen de transport entre le point de déstockage et la station de livraison;
- $\overline{E(V_3)}$: le temps moyen de transport entre le point de déstockage et le convoyeur de re-stockage;
- $\overline{E(V_4)}$: le temps moyen de transport entre le convoyeur de re-stockage et le point de déstockage.

Les expressions $\overline{E(V_1)}$, $\overline{E(V_2)}$, $\overline{E(V_3)}$ et $\overline{E(V_4)}$ peuvent être obtenues en se basant sur les travaux de BOZER et WHITE [BOZER 84] et de PETERS et al. [PETERS 96] comme :

$$\overline{E(V_1)} = \frac{T}{4} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (3)$$

$$\overline{E(V_2)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (4)$$

$$\overline{E(V_3)} = \overline{E(V_4)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (5)$$

L'équation (2) devient en remplaçant ses termes par leurs valeurs respectives définies dans les équations (3), (4) et (5) :

$$\overline{E(RC)}_m = \frac{3}{4}T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) + m.T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) \quad (6)$$

avec

$$m = \rho M - 1 \quad 0 \leq m \leq M - 1$$

Finalement, l'expression du temps moyen de déstockage de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel est :

$$\overline{E(RC)} = \frac{3}{4}T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) \quad \text{pour } \rho < \frac{1}{M} \quad (7)$$

$$\overline{E(RC)} = T\left(\frac{b^2}{3}+1\right)\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\rho.M\right) \quad \text{pour } \frac{1}{M} \leq \rho \leq 1 \quad (8)$$

avec :

$$t_h = t'_h N_l$$

$$t_v = t'_v N_h$$

$$T = \max(t_h, t_v)$$

$$b = \min\left(\frac{t_h}{T}, \frac{t_v}{T}\right) \quad 0 < b \leq 1$$

De plus, Sari et al. [SARI 01 b] [SARI 03b et c] ont développé les expressions analytiques des temps moyens de stockage et de déstockage pour chacune des configurations du système AS/R à convoyeur gravitationnel. Nous les présentons ci-dessous :

Cas A : La station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage aux extrémités opposées du rack.

$$\overline{E(SC)} = T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) \quad (1)$$

$$\overline{E(RC)} = \frac{3}{4}T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) \quad \text{pour } \rho < \frac{1}{M} \quad (7)$$

$$\overline{E(RC)} = T\left(\frac{b^2}{3}+1\right)\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\rho.M\right) \quad \text{pour } \frac{1}{M} \leq \rho \leq 1 \quad (8)$$

Cas B : La station de dépôt/livraison à l'extrémité du rack et le convoyeur de re-stockage au centre du rack.

$$\overline{E(SC)} = T\left(\frac{b^2}{3}+1\right) \quad (9)$$

$$\overline{E(RC)} = \frac{3}{4}T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad \text{pour } \rho < \frac{1}{M} \quad (10)$$

$$\overline{E(RC)} = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \rho.M \right) \quad \text{pour } \frac{1}{M} \leq \rho \leq 1 \quad (11)$$

Cas C : La station de dépôt/livraison au centre du rack et le convoyeur de re-stockage à l'extrémité du rack.

$$\overline{E(SC)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (12)$$

$$\overline{E(RC)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad \text{pour } \rho < \frac{1}{M} \quad (13)$$

$$\overline{E(RC)} = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho.M \right) \quad \text{pour } \frac{1}{M} \leq \rho \leq 1 \quad (14)$$

Cas D : La station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage au centre du rack.

$$\overline{E(SC)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (15)$$

$$\overline{E(RC)} = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad \text{pour } \rho < \frac{1}{M} \quad (16)$$

$$\overline{E(RC)} = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \rho.M \right) \quad \text{pour } \frac{1}{M} \leq \rho \leq 1 \quad (17)$$

Après une analyse de l'impact des positions des stations dépôt/livraison ainsi que celles du convoyeur de re-stockage sur les temps moyens de stockage et déstockage, et une comparaison des performances entre les différentes configurations, SARI [SARI 03] a déduit que le meilleur système par rapport au temps de déstockage est lorsque la station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage sont au centre du rack et que le système le moins performant est lorsque la station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage sont aux extrémités opposées du rack.

4. Analyse des taux de fonctionnement des machines S/R d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel :

Dans ce qui suit, nous considérons les positions de la station de dépôt/livraison et du convoyeur de re-stockage aux extrémités opposées du rack, c.à d. au coin bas du rack. Deux cas se présentent :

- Fonctionnement à taux élevé : la machine va très rarement vers son point de repos, sa file d'attente d'opérations est toujours pleine.
- Fonctionnement à taux faible : la machine va vers son point de repos après chaque opération, sa file d'attente est le plus souvent vide.

Soit les définitions suivantes :

- f_s : fréquence de stockage, c'est le nombre de stockage par unité de temps ;
- f_r : fréquence de déstockage, c'est le nombre de déstockage par unité de temps ;
- τ_s : taux de fonctionnement de la machine de stockage ;
- τ_r : taux de fonctionnement de la machine de déstockage.

La machine de déstockage se charge de déstocker les produits, elle peut avoir recours au déplacement de produits vers le convoyeur de re-stockage afin d'atteindre le produit désiré. Soit $\overline{E(RC)}$ le temps moyen de déstockage d'un produit. Donc le taux de fonctionnement de la machine de stockage est :

$$\tau_r = f_r \cdot \overline{E(RC)} \quad (18)$$

Quant à la machine de stockage, non seulement elle doit stocker les produits qui arrivent de la station de dépôt, mais aussi elle se charge de re-stocker les produits qui arrivent du convoyeur de re-stockage. De ce fait, nous pouvons dire que la machine de stockage réalise à chaque fois trois opérations. Soit :

- ✓ $\overline{E(SC)}$: le temps moyen de stockage d'un produit ;
- ✓ $\overline{E(FC)}$: le temps moyen de re-stockage d'un produit lors d'un déstockage ;
- ✓ $\overline{E(RR)}$: le temps d'accès du point de repos (station de dépôt) au convoyeur de re-stockage.

Donc, le taux de fonctionnement de la machine de stockage est :

$$\tau_s = f_s \cdot (\overline{E(SC)} + \overline{E(FC)} + \overline{E(RR)}) \quad (19)$$

En régime établi du système sur une période de temps suffisante, le nombre de stockage est égal au nombre de déstockage. De là nous pouvons écrire : $f_s = f_r$.

1. **Fonctionnement à taux élevé :**

Le système fonctionne à taux élevé, de telle sorte que les machines S/R se déplacent rarement vers leurs points de repos.

a. Stockage :

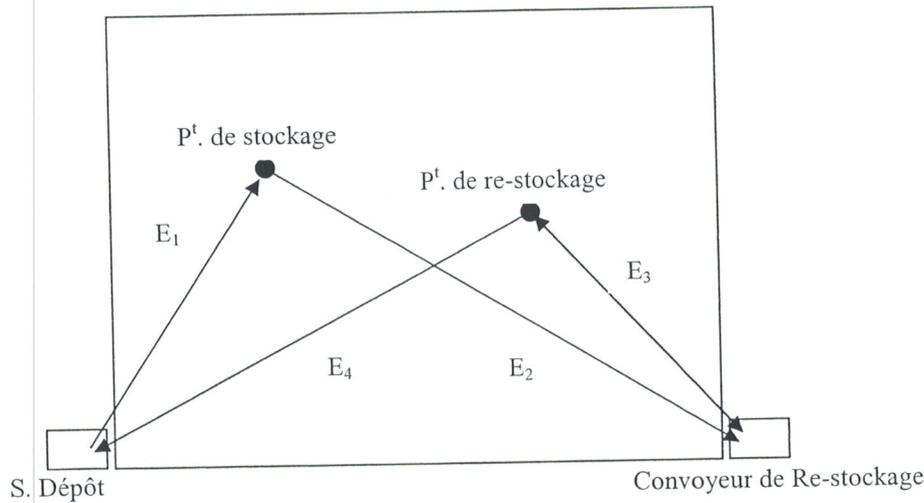


Figure 2.2. : Face de stockage du rack.

Le taux de fonctionnement de la machine de déstockage peut s'écrire, tel qu'il est illustré dans la figure 2.2., comme :

$$\tau_r = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (20)$$

avec :

$$E_1 = E_2 = E_4 = E(V_2) = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (21)$$

$$E_3 = m(E(V_3) + E(V_4)) - E(V_4) = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M - \frac{1}{2} \right) - \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (22)$$

En remplaçant les équations (21) et (22) dans (20), nous obtenons le taux de fonctionnement de la machine de stockage pour f_s quelconque, comme suit :

$$\tau_s = f_s T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) \quad (23)$$

b. Déstockage :

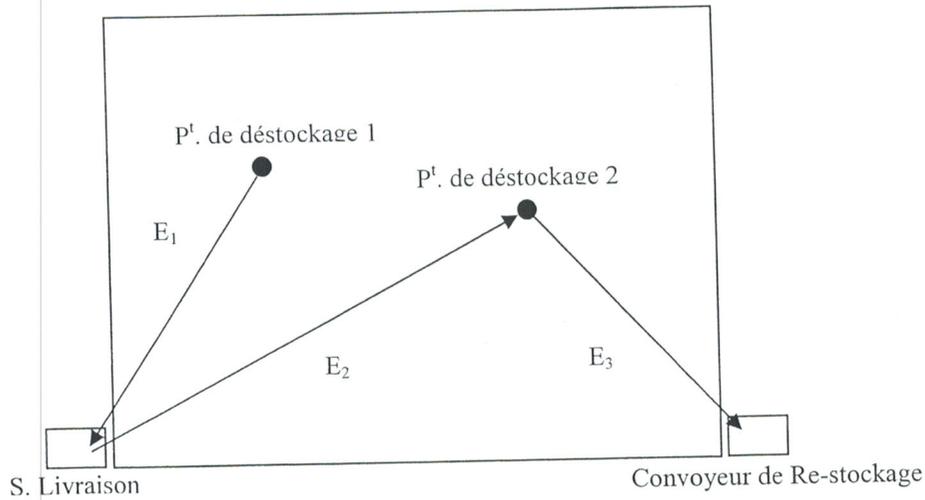


Figure 2.3. : Face de déstockage du rack.

Le taux de fonctionnement de la machine de déstockage peut s'écrire, tel qu'il est illustré dans la figure 2.3., comme :

$$\tau_r = E_1 + E_2 + E_3 \quad (24)$$

avec :

$$E_1 = E_2 = E(V_2) = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (25)$$

$$E_3 = m(E(V_3) + E(V_4)) = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M - \frac{1}{2} \right) \quad (26)$$

En remplaçant les équations (25) et (26) dans (24), nous obtenons le taux de fonctionnement de la machine de déstockage pour f_r quelconque, comme suit :

$$\tau_r = f_r T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) \quad (27)$$

2. **Fonctionnement à taux bas :**

Le système fonctionne à taux bas, les machines S/R sont souvent libres, elles sont souvent à leurs points de repos.

a. Stockage :

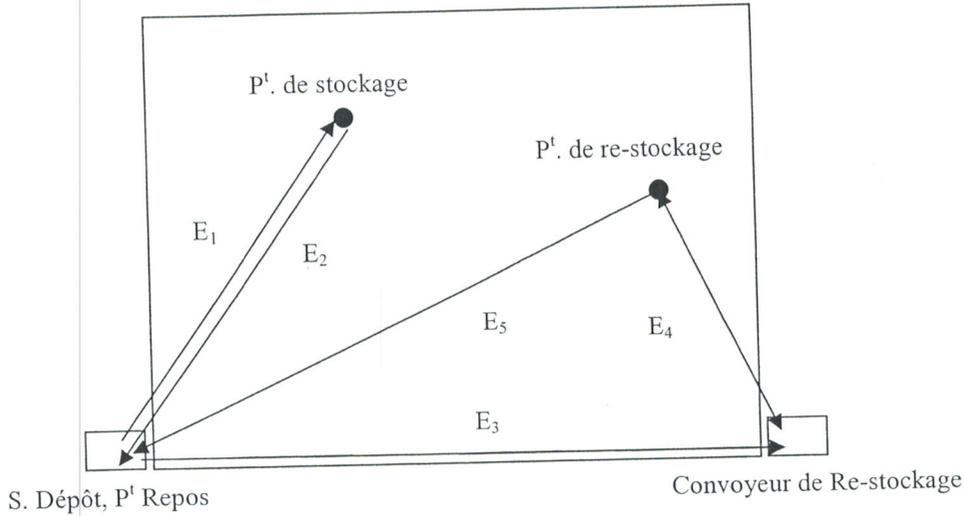


Figure 2.4. : Face de stockage du rack.

Le taux de fonctionnement de la machine de stockage peut s'écrire, tel qu'il est illustré dans la figure 2.4., comme :

$$\tau_r = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \quad (28)$$

avec :

$$E_1 = E_2 = E_5 = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (29)$$

$$E_4 = m(E(V_3) + E(V_4)) - E(V_4) = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M - \frac{1}{2} \right) - \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (30)$$

$$E_3 = T \text{ ou } Tb \quad (31)$$

En remplaçant les équations (29), (30) et (31) dans (28), nous obtenons le taux de fonctionnement de la machine de déstockage pour f_r quelconque, comme suit :

$$\tau_s = f_s \left[T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) + (T \text{ ou } Tb) \right] \quad (32)$$

b. Déstockage :

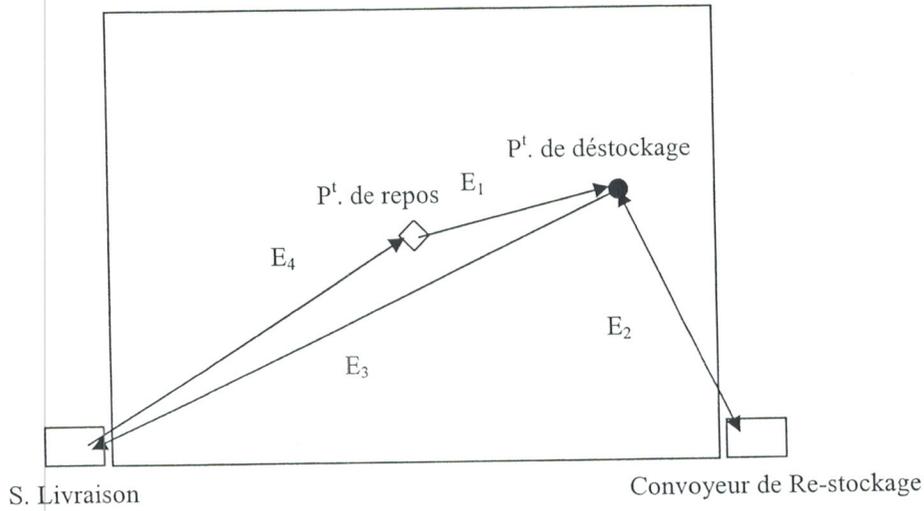


Figure 2.3. : Face de déstockage du rack.

Le taux de fonctionnement de la machine de déstockage peut s'écrire, tel qu'il est illustré dans la figure 2.3., comme :

$$\tau_r = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (33)$$

avec :

$$E_1 = \frac{T}{4} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (34)$$

$$E_3 = \frac{T}{2} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (35)$$

$$E_4 = \frac{T}{2} \quad (36)$$

$$E_2 = m(E(V_3) + E(V_4)) = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M - \frac{1}{2} \right) \quad (37)$$

En remplaçant les équations (34), (35), (36) et (37) dans (33), nous obtenons le taux de fonctionnement de la machine de déstockage pour f_r quelconque, comme suit :

$$\tau_r = f_r \left[T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{4} \right) + \frac{T}{2} \right] \quad (38)$$

Les taux de fonctionnement, élevé et bas, des machines S/R pour chacune des configurations du système AS/R à convoyeur gravitationnel [SARI 01b] sont :

Cas A : La station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage aux extrémités opposées du rack.

Fonctionnement à taux élevé :

$$\tau_s = f_s T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) \quad (23)$$

$$\tau_r = f_r T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) \quad (27)$$

$$f_s = f_r = 1$$

$$|\tau_r - \tau_s| = 0$$

Fonctionnement à taux bas :

$$\tau_s = f_s \left[T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{2} \right) + (T \text{ ou } Tb) \right] \quad (32)$$

$$\tau_r = f_r \left[T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{2} \rho M + \frac{1}{4} \right) + \frac{T}{2} \right] \quad (38)$$

$$f_s = f_r = 1$$

$$|\tau_r - \tau_s| = \frac{T}{4} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) + \frac{T}{2} \quad \text{ou} \quad |\tau_r - \tau_s| = T \left(\frac{b^2}{12} + b - \frac{1}{4} \right)$$

Cas B : La station de dépôt/livraison à l'extrémité du rack et le convoyeur de re-stockage au centre du rack.

Fonctionnement à taux élevé :

$$\tau_s = f_s T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} \rho M + \frac{3}{4} \right) \quad (39)$$

$$\tau_r = f_r T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} \rho M + \frac{3}{4} \right) \quad (40)$$

$$f_s = f_r = 1$$

$$|\tau_r - \tau_s| = 0$$

$$\tau_r = f_r T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} \rho M + \frac{1}{4} \right) \quad (48)$$

$$f_s = f_r = 1$$

$$|\tau_r - \tau_s| = 0$$

Fonctionnement à taux bas :

$$\tau_s = f_s T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} \rho M + \frac{1}{4} \right) \quad (49)$$

$$\tau_r = f_r T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \left(\frac{1}{4} \rho M + \frac{1}{4} \right) \quad (50)$$

$$f_s = f_r = 1$$

$$|\tau_r - \tau_s| = 0$$

Pour les quatre configurations, SARI [SARI 03c] a démontré que la différence entre les taux de fonctionnement des deux machines, est nulle pour des taux élevés. Par contre elle ne l'est pas pour des taux de fonctionnement faibles. Toutefois, cette différence n'a pas d'influence sur le fonctionnement du système car il y a influence que si le taux de fonctionnement de machines est élevé, mais dans ce cas cette différence est nulle. Par conséquent, le taux de fonctionnement des machines n'a pas d'influence sur le fonctionnement global du système.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés au système automatisé de stockage/déstockage à convoyeur gravitationnel, nous avons traité les différents aspects de ce système, de sa configuration aux performances de la machine de déstockage.

L'étude de ce système a démontré que, pour des cas pratiques, il est préférable de concevoir un système AS/R à convoyeur gravitationnel carré en temps, $b=1$, fonctionnant pour un taux de charge allant de 70% à 85%. En plus, le taux de fonctionnement des deux machines S et R, que se soit faible ou élevé, n'a pas de conséquence sur le fonctionnement global du système.

Chapitre 3

Heuristique De Stockage/Déstockage Du Système AS/R À Convoyeur Gravitationnel.

1. Introduction.....	39
2. Heuristique pour le stockage/déstockage dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel.....	40
3. Procédure de stockage.....	41
4. Procédure de déstockage.....	48
5. Conclusion	49

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter une heuristique de stockage/déstockage pour l'AS/RS à convoyeur gravitationnel développée par SARI [SARI 03c]. Cette heuristique a été construite de manière intuitive pour essayer de réduire au maximum le temps moyen de déstockage. La réduction du temps de stockage, celui-ci étant très petit par rapport au temps de déstockage, n'a pas été prise en considération dans le développement de cette heuristique.

Cette heuristique a été développée pour le système AS/R à convoyeur gravitationnel où la station de dépôt/livraison et le convoyeur de re-stockage sont aux extrémités opposées du rack, cette configuration du système est la moins performante des quatre en temps de déstockage (*cf. chapitre 2, section 3*).

En section 3 et 4, une description plus détaillée de l'heuristique, des procédures de stockage et de déstockage sera présentée.

2. Heuristique pour le stockage/déstockage dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel :

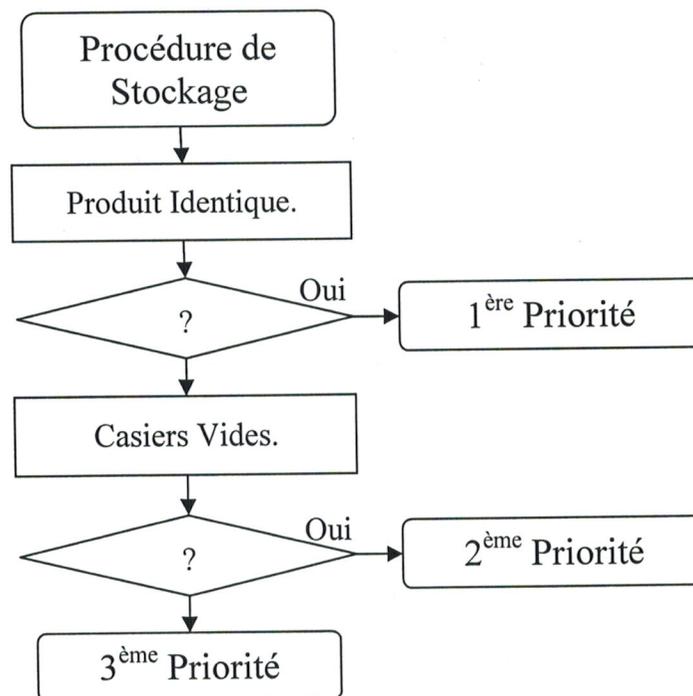
Le temps de déstockage pour un système AS/R à convoyeur gravitationnel est composé de deux grandeurs, dont la première est le temps de déstockage du produit désiré. La seconde grandeur est le temps de déstockage des produits qui le précèdent, c'est le temps de va-et-vient de la machine de déstockage du point de déstockage au convoyeur de re-stockage.

Le temps de déstockage peut être minimisé par la réduction au maximum de la deuxième grandeur jusqu'à la suppression de ce temps en réduisant le nombre de produits différents dans un casier. En plaçant les produits identiques dans les mêmes casiers les plus proches de la station de livraison et/ou du point de repos de la machine de déstockage, ainsi ce concept nous permet une diminution dans le temps. En plus, nous aurons même une diminution dans la première grandeur en diminuant la distance entre le point de déstockage et le point de repos la machine de déstockage. Le développement de l'heuristique est basé sur ces deux idées.

L'heuristique de stockage/déstockage est constituée de deux procédures qui sont définies de la manière suivante :

- Procédure de stockage :

Elle consiste en trois priorités à suivre, si la condition de la première n'est pas valable, on passe à la seconde sinon on passe à la troisième. Ceci est représenté dans l'organigramme 3.1. Chaque priorité est constituée en des processus de test afin de stocker les produits dans des casiers appropriés et adéquats pour faciliter le déstockage d'un produit quelconque. Plus de détails des étapes à suivre sont donnés dans la section suivante.



Organigramme 3.1.

- Procédure de déstockage :

Elle consiste à chercher le produit désiré se trouvant dans la couche la plus proche de la machine de déstockage. Les détails de cette procédure sont donnés dans la section 4.

3. Procédure de stockage :

Notre procédure est formée (formulée) en trois priorités, donnée comme suite :

1. Stocker le produit en cours derrière *un produit identique*.

Si un seul casier, Stocker

Si plusieurs casiers,

- Stocker dans le casier où il y a qu'*un seul type de produits* (identique au produit en cours de stockage).

Si un seul casier, Stocker

Si plusieurs casiers, Stocker dans le casier où il y a *le plus de produit de ce type*.

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier *le plus proche de la station de déstockage.*

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier *le plus proche du point de repos de la machine de déstockage.*

Sinon,

b. Stocker dans le casier où il y a *le plus de produits de même type* (identique au produit en cours de stockage).

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier où il y a *le moins de produits en général.*

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier *le plus proche de la station de déstockage.*

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier *le plus proche du point de repos de la machine de déstockage.*

Sinon,

2. Stocker dans *un casier vide.*

Si un seul casier, Stocker
Si plusieurs casiers, Stocker dans le casier *le plus proche de la station de déstockage.*

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier *le plus proche du point de repos de la machine de déstockage.*

Sinon,

3. Stocker dans le casier où il y a *le moins de produits.*

Si un seul casier, Stocker
Sinon, Stocker dans le casier où il y a *le moins de types de produits différents.*

Si un seul casier, Stocker

Sinon,

Stocker dans le casier *le plus proche de la station de déstockage.*

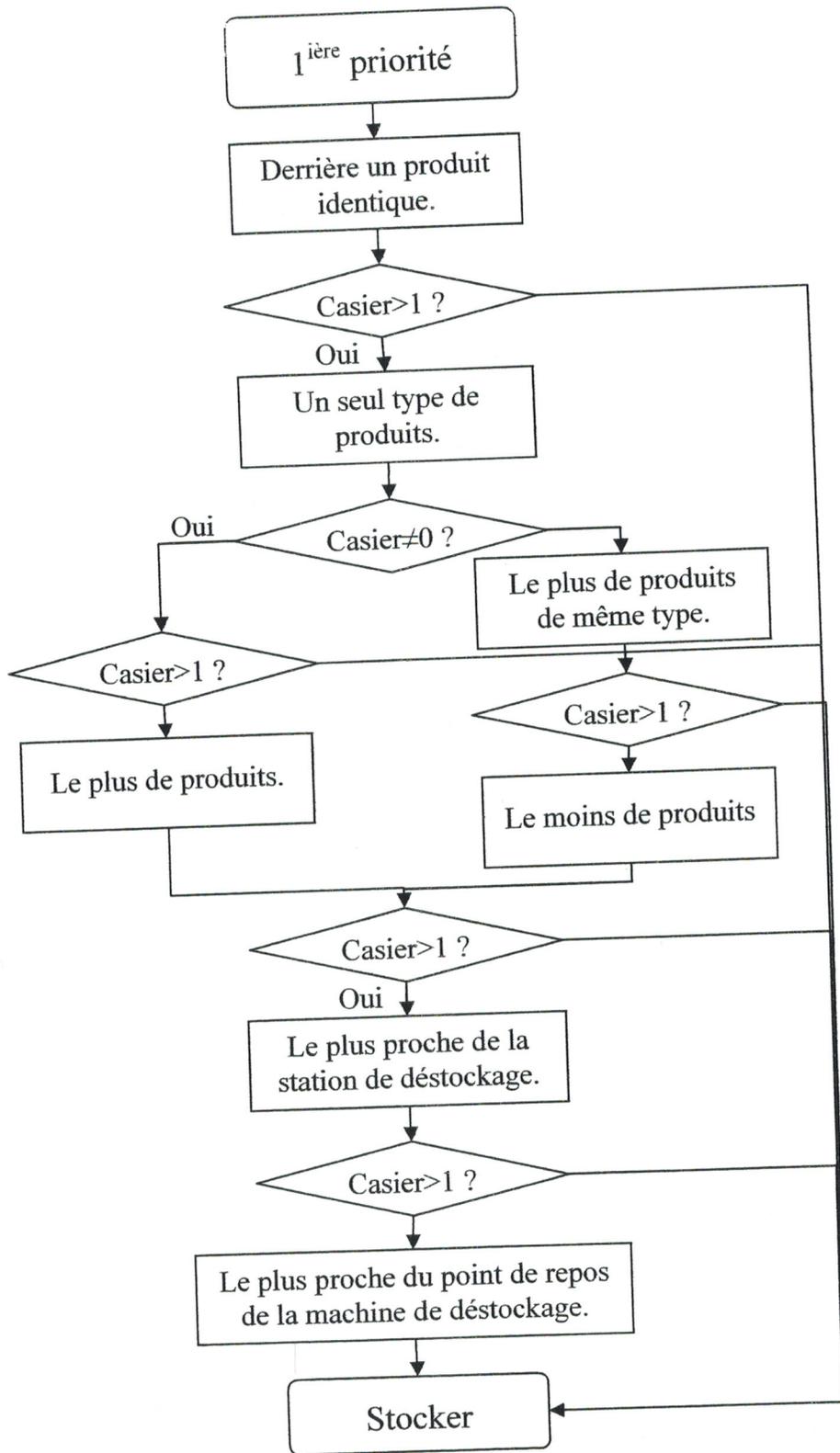
Si un seul casier,

Stocker

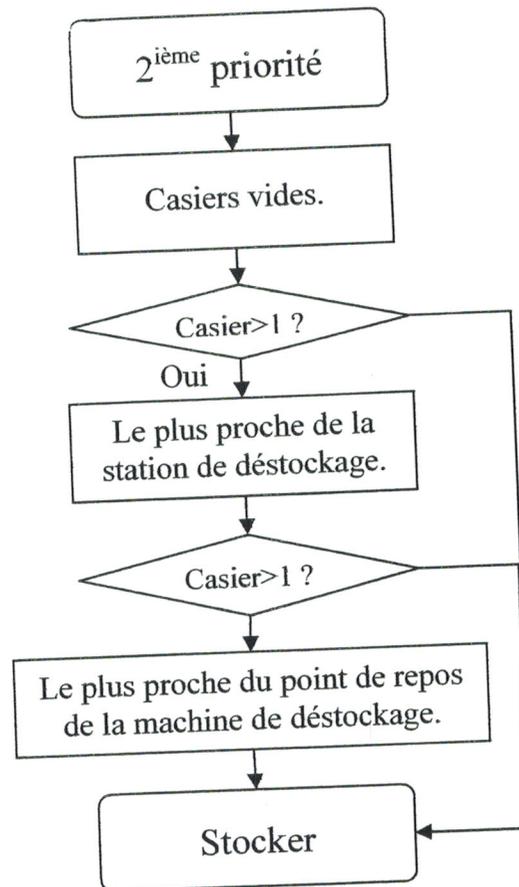
Sinon,

Stocker dans le casier *le plus proche du point de repos de la machine de déstockage.*

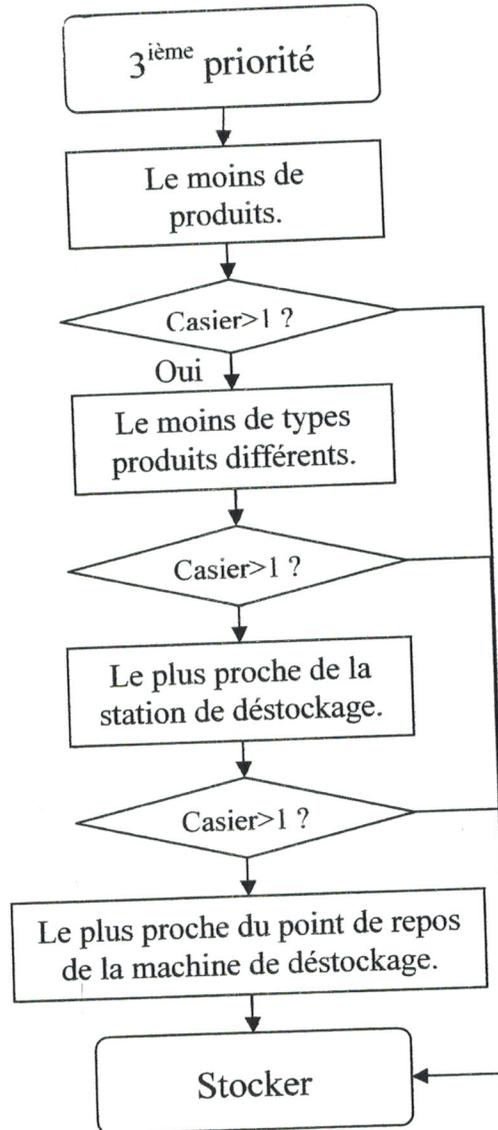
Les trois priorités et la procédure de stockage sont représentées dans les organigrammes 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5.



Organigramme 3.2 : 1^{ère} Priorité.



Organigramme 3.3 : 2^{ième} Priorité.



Organigramme 3.4 : 3^{ème} Priorité.

ha

Orga

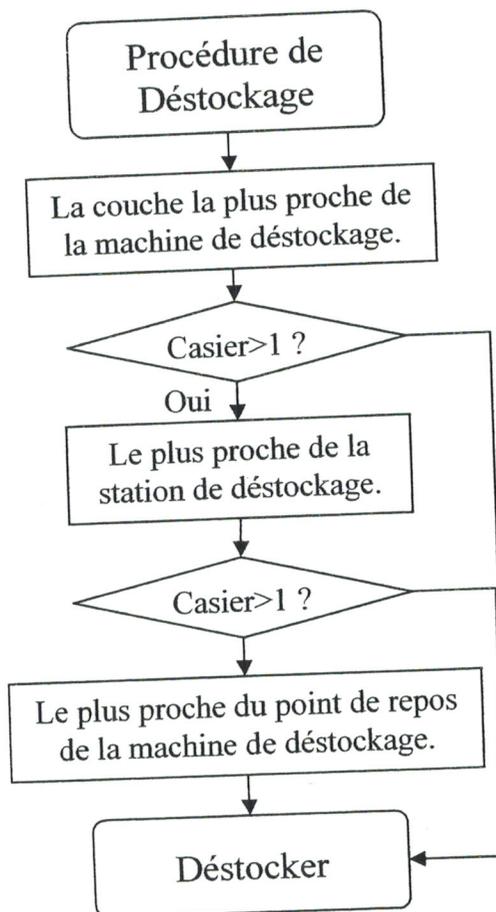
4. Procédure de déstockage :

Chercher le produit désiré se trouvant dans *la couche la plus proche de la machine de déstockage.*

Si un seul casier, Déstocker
Sinon, Déstocker à partir du casier *le plus proche de la station de déstockage.*

Si un seul casier, Déstocker
Sinon, Déstocker à partir du casier *le plus proche du point de repos de la machine de déstockage.*

La procédure de déstockage est représentée dans l'organigramme 3.6.



Organigramme 3.6 : Procédure de Déstockage.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une heuristique de stockage/déstockage pour l'AS/RS à convoyeur gravitationnel. Cette heuristique, construite de manière intuitive, semble prometteuse et présente beaucoup d'intérêt. Elle permettra une réduction dans le temps de déstockage de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel et une amélioration considérable par rapport au temps de déstockage avec un stockage et un déstockage purement aléatoire. Ceci en tentant de mettre les produits semblables dans les mêmes casiers et de les rapprocher de la station de livraison et/ou du point de repos de la machine de déstockage.

Chapitre 4

Implémentation & Simulation de l'Heuristique de Stockage/Déstockage.

1. Introduction	50
2. Simulation, ARENA/SIMAN	51
3. Modélisation et implémentation de l'heuristique de stockage/déstockage pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel.....	53
4. Conclusion	64

1. Introduction :

Les performances des systèmes automatisés de stockage/déstockage (AS/RS) ont fait l'objet de plusieurs investigations, basées principalement sur la modélisation et la simulation. Parmi ces chercheurs, nous citons BARRETT [BARRETT 77], SAND [SAND 76], SCHWARZ *et al.* [SCHWARZ 78], KOENIG [KOENIG 80], RAO and WANG [RAO 91], MANSURI [MANSURI 91], WEST [WEST 93], RANDHAWA and SHROFF [RANDHAWA 95], LEE *et al.* [LEE 96b], et KULTUREL *et al.* [KULTUREL 99]...etc.

Les organisations dans le monde entier essayent d'entreprendre et d'adopter le processus de modélisation et de simulation comme une partie intégrante de leurs initiatives dans la prise de décision et d'amélioration continue de leurs affaires. Ces organisations exigent des outils de simulation qui supportent une étendue d'application, ont la capacité de s'adapter aux différents besoins de leurs projets dans un cycle de vie, et peuvent intégrer les autres systèmes de modélisation et de base de données. ARENA/SIMAN fournit à l'utilisateur la liberté d'employer le modèle à plusieurs reprises dans beaucoup de différentes situations et sous différentes contraintes.

Dans ce chapitre, nous allons implémenter l'heuristique de stockage/déstockage du système AS/R à convoyeur gravitationnel dans un programme de simulation, en utilisant le logiciel de simulation des systèmes de production ARENA/SIMAN.

2. Simulation, ARENA/SIMAN :

2.1. Définition de la simulation :

La simulation, selon ROBERT E. SHANNON [SHANNON 75], est « *le processus de concevoir un modèle d'un vrai système et d'entreprendre des expériences avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système ou d'évaluer diverses stratégies (dans les limites imposées par un critère ou par un ensemble de critères) pour le fonctionnement du système* ».

La simulation est l'un des outils les plus puissants disponibles aux personnes responsables de la conception et du fonctionnement des processus et des systèmes complexes. Elle rend l'étude, l'analyse et l'évaluation possible dans des situations qui ne seraient pas autrement possibles. Dans un monde de plus en plus concurrentiel, la simulation est devenue une méthodologie indispensable de résolution des problèmes pour des ingénieurs, des chercheurs, des analystes, des concepteurs et des directeurs. La simulation est l'imitation de l'opération d'un temps fini réel de processus ou de système. [BANKS 98, 99]

Il existe différents langages (outils) de simulation tels que ProModel, WITNESS, SLAM II, SIMFACTORY, SIMAN/Cinema..., qui nous permettent une meilleure compréhension du comportement d'un système de production et ce, quelle que soit la complexité de ce système.

2.2. ARENA/SIMAN :

ARENA/SIMAN est un logiciel de simulation, développé par Systems Modeling Corporation (racheté ces dernières années par Rockwell Software), dédié à la modélisation, simulation et animation des systèmes de production. Le logiciel est basé sur les concepts de programmation orientée objet et de modélisation hiérarchique, utilisant la puissance et la flexibilité de modélisation du système SIMAN/Cinema. [HAMMANN 95], [SADOWSKI 99].

ARENA nous permet de :

- Modéliser nos processus pour définir, documenter et communiquer.
- Simuler la future exécution de notre système pour comprendre des rapports complexes et pour identifier des occasions pour l'amélioration.
- Visualiser nos opérations avec les graphiques dynamiques d'animation.
- Analyser comment le système exécutera dans sa configuration réelle et sous une myriade de possible "à être" les solutions de rechange de sorte que nous puissions avec confiance choisir la meilleure manière de gérer nos affaires. [ARENA 00]

ARENA est adressé à d'étendue et de large application. Il donne à l'analyste, un outil qui combine les possibilités et la puissance d'un langage de simulation avec une interface utilisateur facile pour la conception d'un modèle. ARENA est une trousse d'outils complète

qui enjambe la portée d'un projet de simulation, de l'analyse des données d'entrée, à l'analyse et la présentation des résultats du modèle.

Par l'utilisation des *Templates*, l'analyste travaille dans un environnement de simulation qui est défini par ARENA pour son modèle. Les modèles fournissent un environnement qui peut être adapté aux besoins du client pour représenter l'industrie ou l'application de l'analyste. L'utilisation de ces modèles facilite également la simulation de grande entreprise en rendant la puissance de la simulation disponible à une assistance plus large des utilisateurs potentiels.

En plus des anciennes *Templates* de la version 3.5 d'ARENA qui sont *Common*, *Support*, *Transfert*, *Blocks* et *Elements*, la nouvelle version d'ARENA 5.0 a de nouvelles *Templates* qui sont *Basic Process*, *Advanced Process*, *Advanced Transfer* et d'autres. Chaque *Template* est constitué de modules fournissant flexibilité et facilité d'utilisation. Les modules sont utilisés pour simuler la création de produits, l'usinage, le transport des entités...

En plus des *Templates*, ARENA fournit une série de variables. Les variables données par ARENA permettent l'accès aux attributs et à toute autre information reliant l'entité ou la ressource (machine, transporteur, convoyeur,...) pour pouvoir l'exploiter dans notre étude.

2.3. Objectifs de la simulation :

Il existe de nombreuses raisons qui font qu'un chercheur, analyste, ... utilise la simulation dans l'étude des systèmes de production, la plus importante est la complexité du système. Un système de production est complexe, principalement pour quatre raisons :

1. *Structure complexe :*

Il possède souvent une structure complexe. Il est constitué de nombreux sous ensembles plus ou moins imbriqués. Cette structure est souvent difficile à comprendre.

2. *Flux :*

On trouve dans ce système de très nombreux flux. Des flux physiques, des flux d'énergie et des flux d'informations qui sont souvent interdépendants les uns des autres. De multiples phénomènes de synchronisation entre ces flux rendent leur maîtrise difficile.

3. *Phénomènes aléatoires :*

Les systèmes de production sont souvent le siège de nombreux phénomènes aléatoires. Le temps de production sur un poste manuel, la disponibilité d'une machine sujette à des pannes, le comportement des clients de l'entreprise, sont autant de phénomènes non déterministes qui rendent toute prévision du comportement du système de production difficile.

4. Partage de ressources :

Dans un atelier, les machines, les opérateurs, les moyens de transport et de stockage, les outillages sont des ressources partagées entre plusieurs utilisateurs. Cela conduit à de nombreuses décisions de partage de ces ressources. Chacune de ces décisions va influencer le comportement global de l'atelier mais il est très difficile de prévoir les conséquences d'une prise de décision aux moments où celle-ci se produit.

Toutes ces raisons font que les prévisions de comportement sont difficiles à faire sur un système de production. Or prévoir le comportement d'un système de production est fondamental, lors de sa conception et lors de toute réflexion sur son évolution.

Les investissements financiers en jeu sont souvent considérables et une erreur de prévision peut conduire l'entreprise à la faillite.

2.4. Réalisation d'un projet de simulation :

Un projet de simulation peut être découpé en trois phases [CASTAGNA 03] qui consiste :

1. La modélisation :

La modélisation est le processus de conception d'un modèle d'un système de production à partir du système réel, la construction d'un modèle qui est en fait un programme informatique.

2. La simulation :

La simulation est le processus d'implantation du modèle. C'est faire 'vivre', au moyen d'un ordinateur, ce modèle informatique en recréant la séquence d'événements qui fait évoluer ce modèle. Nous obtenons des résultats qui sont une image du comportement du système réel.

3. L'analyse des résultats :

L'analyse des résultats nous permet de mieux comprendre le comportement du système étudié.

3. Modélisation et implémentation de l'heuristique de stockage/déstockage pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel :

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté une heuristique de stockage/déstockage pour le système AS/R à convoyeur gravitationnel afin de minimiser le temps de déstockage, à l'aide des modules d'animation du logiciel ARENA, nous allons réaliser une représentation du système qui est très proche de la réalité. Ainsi nous pouvons suivre le comportement du

système à chaque instant et avoir des résultats pour analyser et étudier les performances du système.

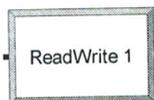
3.1. Modélisation et implémentation du système :

En étudiant cette heuristique, nous avons constaté que la procédure de stockage peut être partagée et répartie en bloc où dans chaque bloc il y a une série de test et de question avant de stocker le produit. De ce fait, les questions que l'on se pose sont : *Où nous stockons ? Quel casier correspond à nos critères ?*

Comme pour la procédure de stockage, la procédure de déstockage peut être partagée et répartie en bloc où dans chaque bloc il y a une série de test et de question avant de déstocker le produit désiré. Les questions que l'on se pose sont : *Où nous déstockons ? Dans quel(s) casier(s) se trouve notre produit ? Quel casier convient à nos critères ?*

Par conséquent, le but est de tester tous les casiers (suivant chaque bloc) afin de trouver celui qui nous correspond et satisfait nos exigences. Pour réaliser notre simulation, nous avons utilisé 15 blocs pour la procédure de stockage, 3 blocs pour la procédure de déstockage plus les différents blocs annexe servant entre autres, à la création d'entité, calcul du temps moyen de transport...

Dans chaque bloc, nous avons utilisé un système d'enregistrement, pour enregistrer nos données. Les données sont lues et écrites ligne par ligne dans des fichiers textes '.txt', il existe dans ARENA un module qui nous permet de lire ou d'écrire sur un fichier et un autre pour déclarer les fichiers, ces modules sont le module *ReadWrite* et le module *File*, représentés sur les figures 4.1 et 4.2.



ReadWrite Advanced Process					
	Idame	Type	Arena File Name	Overriding File Format	Assignments
1	ReadWrite 1	Read from File	File 1	Free Format	0 rows
2	ReadWrite 2	Write to File	File 2	Free Format	0 rows

Figure 4.1 : Le module ReadWrite et sa boîte de dialogue.

	Name	Operating System File Name	Structure	End of File Action	Comment Character
1	File 1	fichier1.txt	Free Format	Dispose	No
2	File 2	fichier2.txt	Free Format	Dispose	No

Double-click here to add a new row.

Figure 4.2 : La boîte de dialogue du module File.

A l'arrivée du produit à la station de dépôt, la procédure de stockage se déclenche, et nous commençons à tester les casiers un par un pour lui définir son casier. Chaque produit entre dans le système par une loi exponentiel.

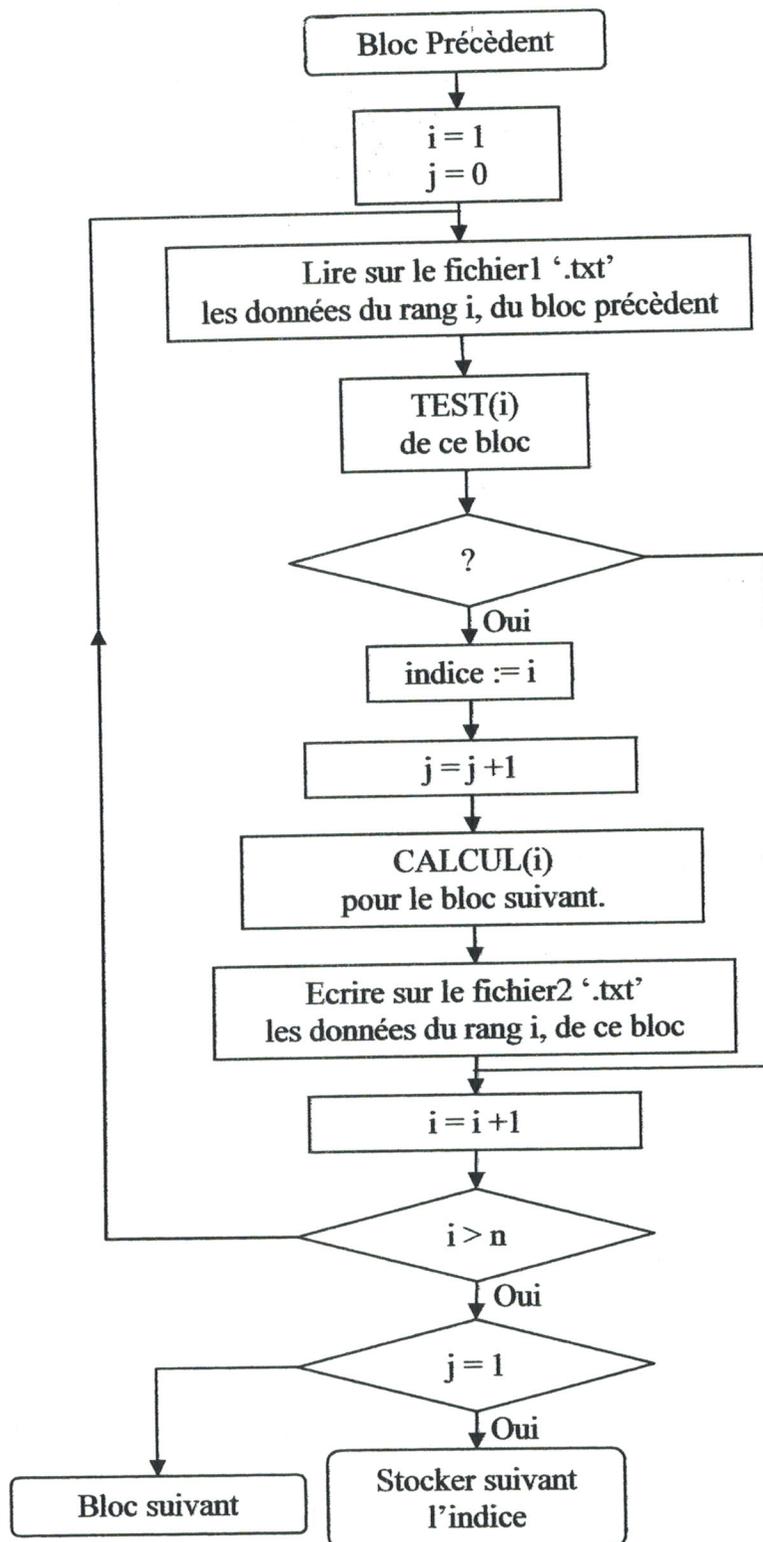
Les organigrammes 4.1 et 4.2 représentent les étapes de tests et de calcul à suivre pour chaque bloc.

Avec :

$$i = 1 \dots n$$

$$j = 0 \dots n-1$$

n : nombre de casier.



Organigramme 4.1.

A titre d'exemple, nous allons expliquer l'organigramme pour le 1^{er} bloc de la 1^{ère} priorité de la procédure de stockage, qui consiste à stocker le produit en cours derrière **un produit identique**, de ce fait :

1. Les données du bloc précédent sont la déclaration des numéros de casiers, sur un fichier texte nous déclarons les casiers de notre système, par exemple pour un système de 9 casiers, la déclaration sera de la sorte, sur fichier1.txt :

1
2
3
4
5
6
7
8
9

2. Pour une boucle

Bloc Précédent

i=1 ; initialiser i à 1

j=0 ; initialiser j à 0, début de la boucle

(2)

lire les données de la 1^{ère} ligne du fichier1.txt

; les données sont lues ligne par ligne suivant le rang de i (casier n°i), dans ce cas c'est '1' qui représente le casier n°1

TEST(i)

; tester si le produit à stocker est identique au dernier produit du casier n°1

Si Oui

indice = i

; affecter la valeur de i à l'indice du casier, dans ce cas c'est le casier n°1

j=j+1

; effectuer une boucle, j=1

CALCUL(i)

; calculer le nombre de ce produit dans le casier n°1 pour le bloc suivant (Stocker dans le casier où il y a qu'**un seul type de produits**)

écrire sur la 1^{ère} ligne du fichier2.txt

; les données sont écrites ligne par ligne suivant le rang i, dans ce cas c'est : '1' 'nombre de produit'

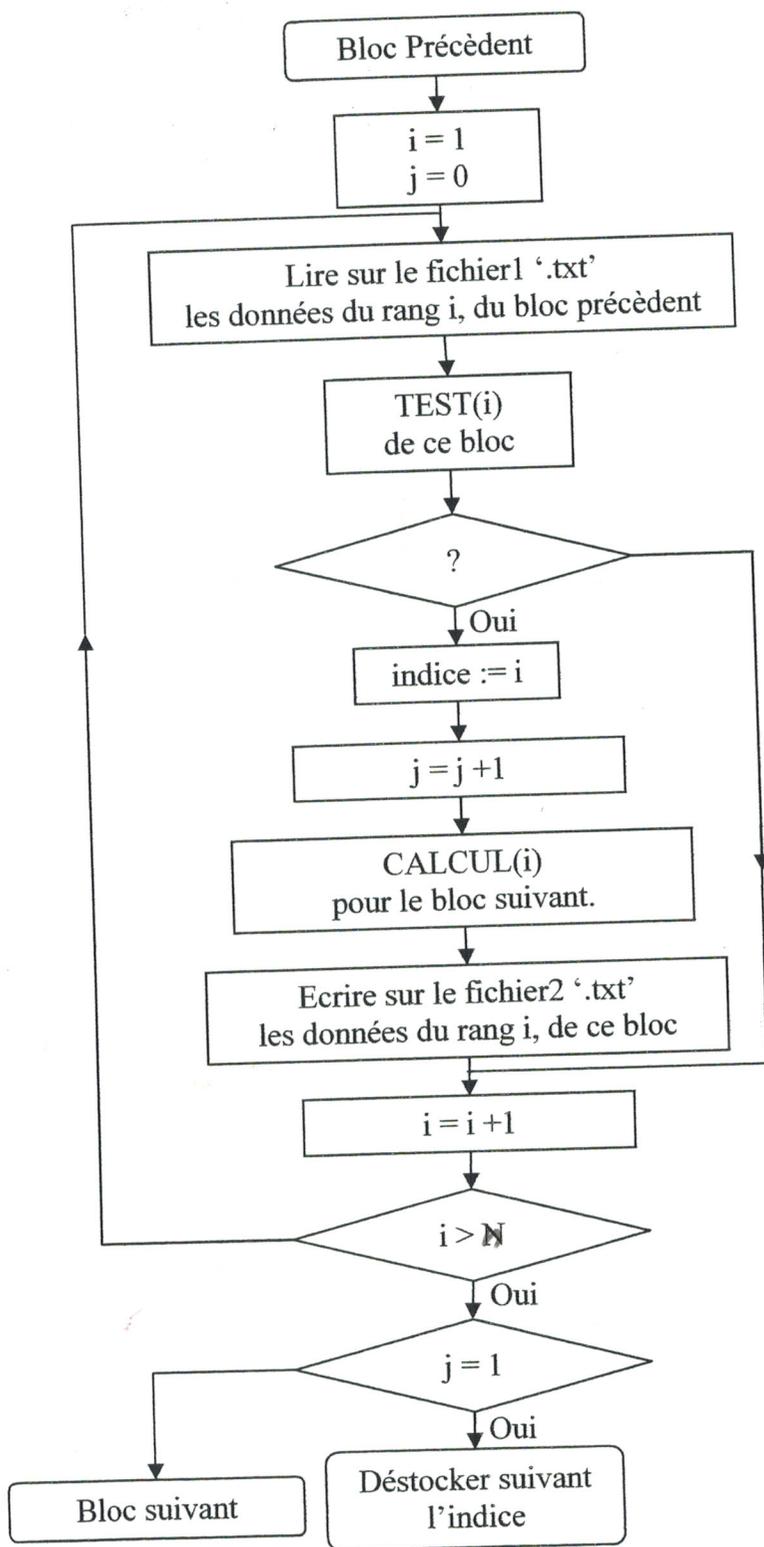
(1)

i=i+1

; incrémenter i par 1, i=2, casier n°2

i>n

; n est le nombre de casier



Organigramme 4.2.

3.2. Calcul du temps de déstockage :

Nous avons vu dans le chapitre 2 que l'opération de déstockage est composée de plusieurs séquences, afin d'arriver au produit désiré, il est nécessaire d'enlever tous les produits qui le précède et de les renvoyer vers la machine de stockage à travers le convoyeur de re-stockage. Donc, le temps de déstockage est composé de quatre temps :

- Le temps de transport entre le point de repos de la machine de déstockage et le point de déstockage, $E(V_1)$;
- Le temps de transport entre le point de déstockage et la station de livraison, $E(V_2)$;
- Le temps de transport entre le point de déstockage et le convoyeur de re-stockage, $E(V_3)$;
- Le temps de transport entre le convoyeur de re-stockage et le point de déstockage, $E(V_4)$.

En plus des ces temps, nous avons :

- m : le numéro de la couche où se trouve le produit désiré, dans ARENA c'est le rang dans une file d'attente.

Afin de déterminer et de pouvoir avoir le temps de déstockage par ARENA, nous avons utilisé la formule suivante pour un produit se trouvant dans la couche m :

$$E(RC) = E(V_1) + E(V_2) + m.(E(V_3) + E(V_4))$$

3.3. Calcul de la valeur moyenne du temps de déstockage :

En général, le calcul d'une valeur moyenne se fait par la somme de toutes les valeurs divisé par le nombre de valeur qui existe. De ce fait, Le calcul de notre temps moyen de déstockage est déterminé comme suit :

$$\text{temps moyen de déstockage} = \frac{\sum \text{des temps de déstockage}}{\sum \text{des produits désirés déstockés}}$$

3.4. Description du programme de simulation :

Les figures 4.3 à 4.10 représentent les différentes étapes et instructions du fonctionnement du système AS/R à Convoyeur Gravitationnel utilisant l'heuristique de stockage/déstockage :

1. La figure 4.3 représente :

- Création des entités par une loi de distribution exponentielle, une entité toutes les $100mn$,

- Entré des entités au système,
 - Requête de transport, requête de stockage,
 - Attente des entités sur le convoyeur de re-stockage.
2. La figure 4.4 représente le transport de l'entité vers l'emplacement désigné par la procédure de stockage,
 3. La figure 4.5 représente :
 - Stockage de l'entité,
 - Glissement de l'entité sur le convoyeur gravitationnel de la face avant à l'emplacement libre le plus proche de la face arrière du rack,
 - Retour de la machine de stockage à son point de repos dans le cas où il n'y pas d'autre entité à stocker,
 4. La figure 4.6 représente :
 - Attente de l'entité dans le rack,
 - Déstockage du produit désiré (procédure de déstockage) ou déstockage des entités le précédant, transport de l'entité soit vers la station de livraison soit vers le convoyeur de re-stockage,
 - Calcul du temps $E(V_2)$,
 5. La figure 4.7 représente :
 - Livraison des entités désirées (sortie du système),
 - Retour de la machine de déstockage à son point de repos dans le cas où il n'y pas d'autre entité à déstocker,
 - Calcul du temps $E(V_1)$, du temps de déstockage ,
 6. La figure 4.8 représente :
 - Arrivée de l'entité au convoyeur de re-stockage,
 - Calcul des temps $E(V_3)$ et $E(V_4)$,
 7. La figure 4.9 représente la procédure de stockage avec ces priorités, en plus l'organigramme 3.1
 8. La figure 4.10 représente la procédure de déstockage.

Cha

(2)

(4)

□

□

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la simulation et les avantages d'utiliser un logiciel de simulation tel que le logiciel ARENA dans des systèmes de production. La structure d'ARENA fournit une grande flexibilité et facilité d'utilisation pour un chercheur.

Malgré la complexité de notre heuristique de stockage/déstockage pour le système AS/R à convoyeur gravitationnel, le logiciel ARENA nous a permis de construire un modèle d'AS/RS à convoyeur gravitationnel proche de la réalité. A l'aide de la modélisation nous avons pu valider l'implémentation de notre système, d'étudier son comportement et évaluer ses performances.

Chapitre 5

Résultats & Interprétations, Comparaison.

1.Introduction	65
2.Vérification du programme de simulation	66
3.Comparaison entre stockage/déstockage aléatoire et l'heuristique de stockage/déstockage	69
4.Type de produit.....	71
5.Taille du système	74
6.Taux de charge	79
7.Conclusion.....	80

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les effets, de l'utilisation de l'heuristique de stockage/déstockage développée dans le chapitre 3, dans des systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel sur le temps de déstockage. Pour pouvoir déterminer ces effets, nous avons implémenté notre heuristique dans un programme de simulation en utilisant le logiciel de simulation ARENA (chapitre 4). Nous présentons dans le présent chapitre les résultats de cette simulation.

A partir de ces résultats un certain nombre de données ont été tirées des différents systèmes simulés que nous allons analyser et interpréter successivement dans ce chapitre, afin de définir et déterminer les performances des systèmes par rapport au temps moyen de déstockage.

L'heuristique de stockage/déstockage a été construite pour essayer de réduire au maximum le temps moyen de déstockage et de l'améliorer par rapport au temps des systèmes utilisant le stockage/déstockage aléatoire. En section 3, nous allons faire une comparaison entre le stockage/déstockage aléatoire et l'heuristique, pour un système AS/R à convoyeur gravitationnel.

Dans la pratique, les AS/RS à convoyeur gravitationnel sont utilisés pour stocker de très faibles variétés de produits. De ce fait leur champ d'application était très réduit. Nous allons

voir, en section 4, ce que peut accorder notre heuristique comme amélioration en temps et en variété de produits, à l'AS/RS considéré et donc augmenter son champ d'application.

L'expression analytique du temps moyen de déstockage montre que le temps dépend du nombre de couches M et du taux de charge ρ . Dans les sections 5 et 6, nous verrons si le changement du nombre de couches et du taux de charge a de l'impact sur le temps utilisant l'heuristique de stockage/déstockage dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel.

2. Vérification du programme de simulation :

Dans le chapitre 4, nous avons utilisé un système d'enregistrement pour enregistrer les données du système. A l'aide de fichier texte, nous avons pu lire et écrire nos données, pour les exploiter.

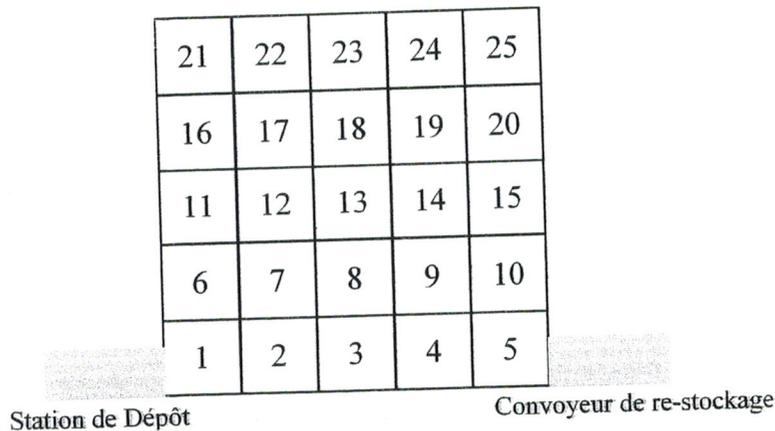


Figure 5.1 : Face avant du rack.

La figure 5.1 représente la face avant d'un système AS/R à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, ces casiers sont numérotés de la sorte, ainsi nous pourrions les tester, vérifier notre programme et voir le comportement du système. Pour cela, nous avons simulé deux systèmes, pour un fonctionnement à taux élevé et à taux faible, dans le 1^{er} système nous testons le casier n°1 ensuite le casier n°2 ainsi de suite jusqu'au casier n°25 par contre dans le 2^{ème} système c'est le contraire, du casier n°25 jusqu'au casier n°1. Les données sont écrites de cette façon :

1 ^{er} fichier	2 ^{ème} fichier
1	25
2	24
3	23
.	.
.	.
.	.
25	1

Dans ce cas nous aurons deux temps moyens de déstockage, Temps Moyen 1 pour le 1^{er} système et Temps Moyen 2 pour le 2^{ème} système, que nous allons comparer par rapport à la valeur analytique du temps moyen pour évaluer ses performances.

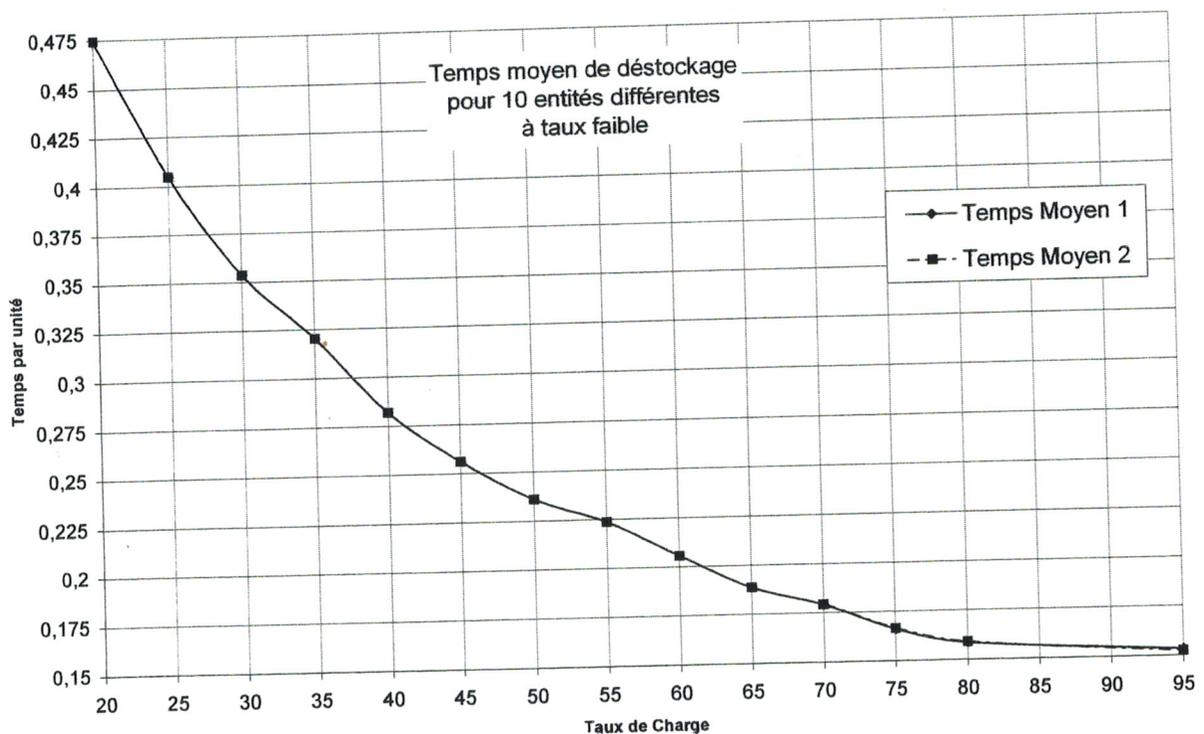


Figure 5.2 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 types de produit, à taux faible.

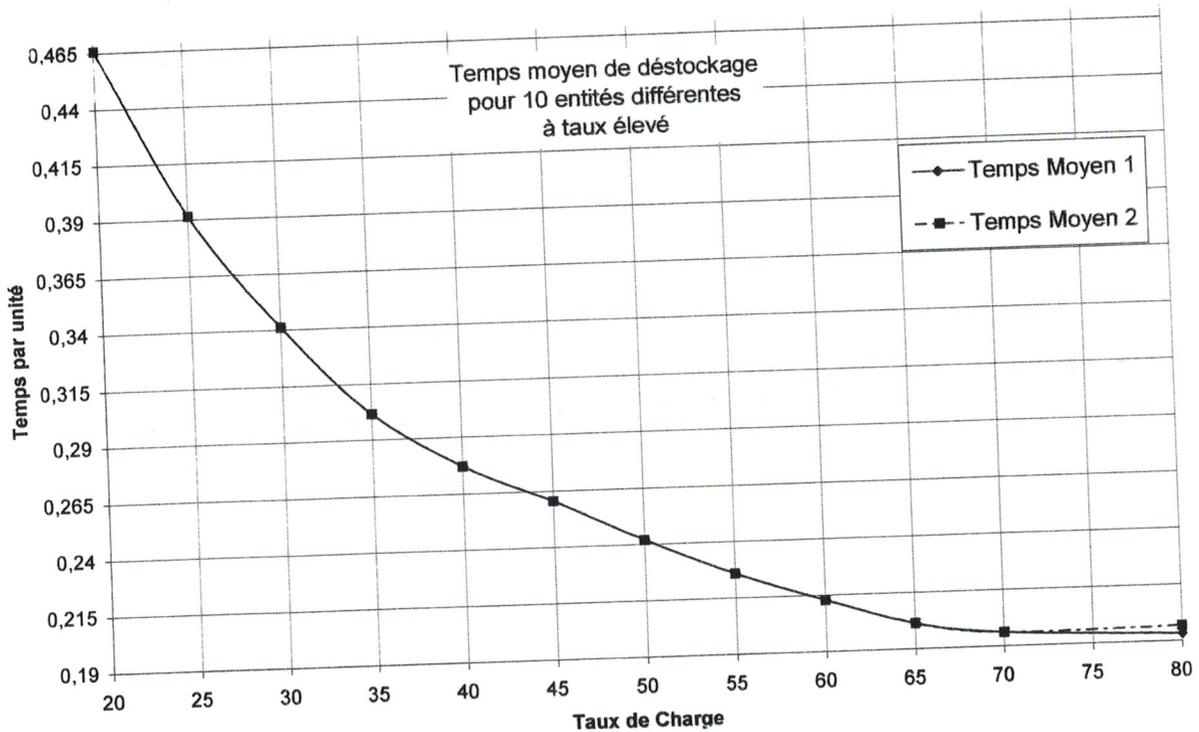


Figure 5.3 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 types de produit, à taux élevé.

Les figures 5.2 et 5.3 représentent le temps moyen de déstockage par unité par rapport au taux de charge ρ . La valeur analytique du temps moyen de déstockage, pour chaque valeur du taux de charge, est prise comme grandeur de base. Dans les deux figures, les deux courbes sont superposées l'une sur l'autre. Toutefois, pour la 2^{ème} figure au-delà d'un taux de charge de 70% il y a une différence où le 1^{er} temps relatif est inférieur au 2^{ème}. Cependant, cette différence est très petite, elle est de l'ordre de 0,35% à $\rho = 80\%$. Cela ne pose pas problème puisqu'en pratique, il est préférable de faire fonctionner un AS/RS pour un taux de charge de 75% [SARI 03c] et dans notre cas, à cette valeur, la différence est très minime, nous pouvons dire qu'elle n'influe pas sur le comportement du système.

En plus, dans les deux cas (figure 5.3 et 5.4), les temps moyen de déstockage par unité sont inférieurs à 1, inférieurs aux temps analytiques, il y a une amélioration du système.

En conséquence, le type d'enregistrement n'a pas d'influence sur le comportement du système, et il n'a pas d'impact sur notre programme. Par la suite de notre étude, nous allons utiliser le 1^{er} concept d'enregistrement dans la simulation des différents systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel, nous allons tester les casiers par ordre croissant, du casier n°1 jusqu'au casier n°n.

3. Comparaison entre stockage/déstockage aléatoire et l'heuristique de stockage/déstockage :

Dans cette section, nous allons faire une comparaison entre le stockage/déstockage aléatoire et l'heuristique de stockage/déstockage, pour cela nous avons simulé le même système AS/R à convoyeur gravitationnel, que TRIQUI et al. [TRIQUI 03]. Cette simulation, utilisant le logiciel ARENA, a pour but de valider le modèle analytique.

De ce fait nous avons pris les mêmes données que TRIQUI et al., le même nombre de casiers et le même nombre de couche ($N_l=N_h=6$ et $M=8$), le même temps de déplacement ($t_h=t_v=12$), par conséquent le même facteur de forme et de normalisation ($b=1$, $T=12$). Le taux de charge ρ est varié entre 20% et 90%, donc pour chaque valeur de ρ , la valeur moyenne du temps est calculée et déterminée. Les valeurs du temps moyen et du temps relatif déterminées sont représentées dans les figures 5.4 et 5.5.

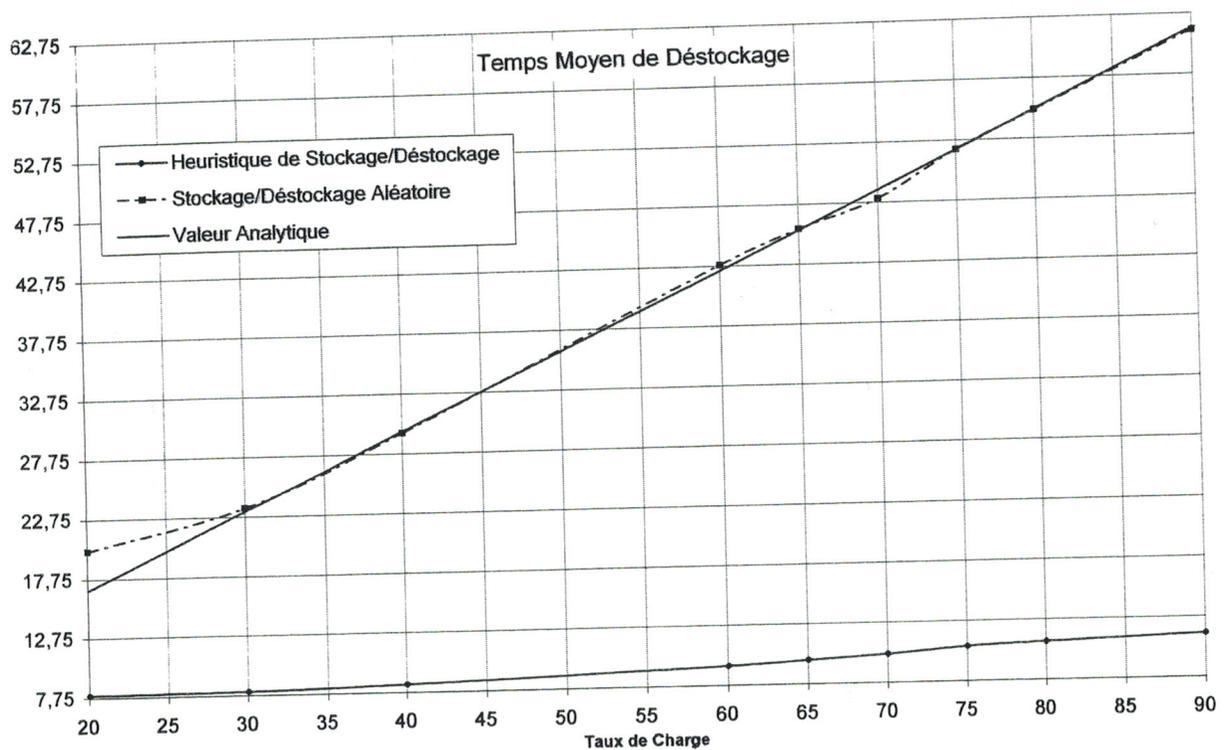


Figure 5.4 : Temps moyen de déstockage par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 36 casiers à 8 couches.

Dans la figure ci-dessus, nous constatons nettement que les valeurs du temps moyen de déstockage de notre système (heuristique de stockage/déstockage) est très inférieur au temps moyen de déstockage de l'autre système (stockage/déstockage aléatoire), et aussi, plus le taux de charge ρ augmente plus l'écart entre les deux valeurs augmente.

La ligne continue représente la valeur analytique, nous remarquons la très faible différence entre cette dernière et la courbe du stockage/déstockage aléatoire (ligne pointillée). Ceci valide par l'expression les expressions analytiques développées par SARI et al. [SARI 01], [SARI 03]. Nous remarquons un écartement entre ces deux courbes à faible taux. Ceci est prévisible puisque les expressions analytiques ne sont pas précises pour les faibles taux [SARI 01], [SARI 03].

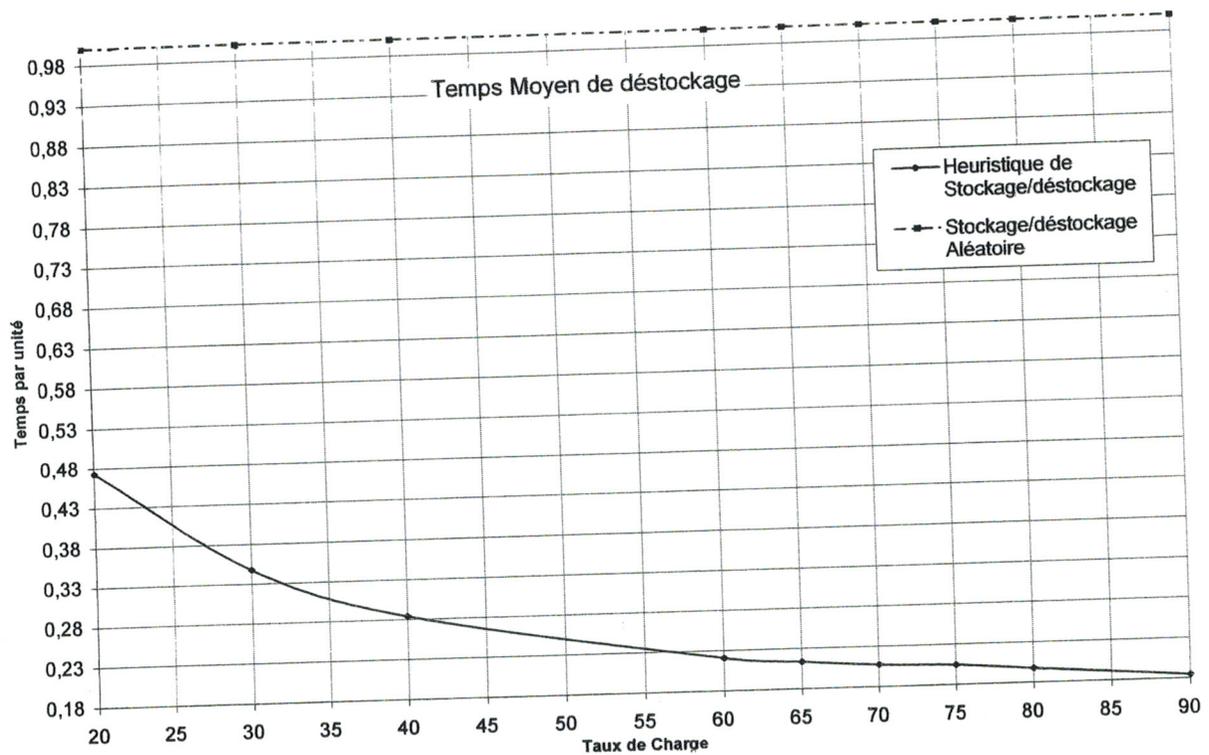


Figure 5.5 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 36 casiers à 8 couches.

Dans la figure 5.5, la valeur analytique est prise comme grandeur de base. Dans ce cas, nous remarquons que les temps moyen de déstockage par unité sont très inférieurs à 1, puisque la plus grande valeur du temps relatif est inférieure à 0,48 pour un taux de charge de 20%. De plus, plus ρ augmente plus le temps moyen de déstockage relatif diminue.

Par conséquent, il y a une amélioration des performances du système utilisant l'heuristique de stockage/déstockage par rapport au système utilisant le stockage/déstockage aléatoire.

4. Type de produit :

Actuellement, les AS/RS à convoyeur gravitationnel sont cantonnés à des applications où la variété des produits stockés est très réduite. TRIQUI et al. [TRIQUI 03] ont simulé leur système pour cinq produits différents. Dans cette section, nous allons voir ce que peut porter notre heuristique comme performance dans ce cas. De ce fait, nous avons simulé des systèmes de 25, 49 et 100 casiers à 10 couches en faisant varier leurs nombres de produits différents pour un taux de charge de 75%, les figures ci-dessous sont les résultats de la simulation.

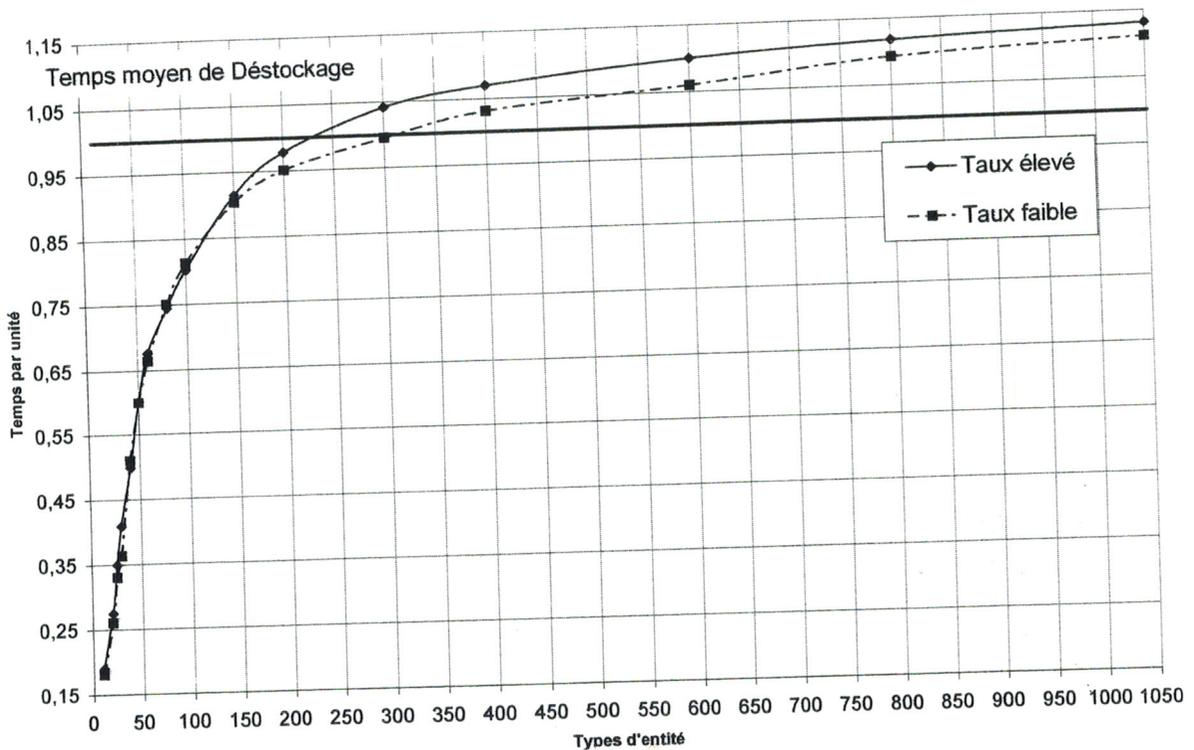


Figure 5.6 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé et à taux faible.

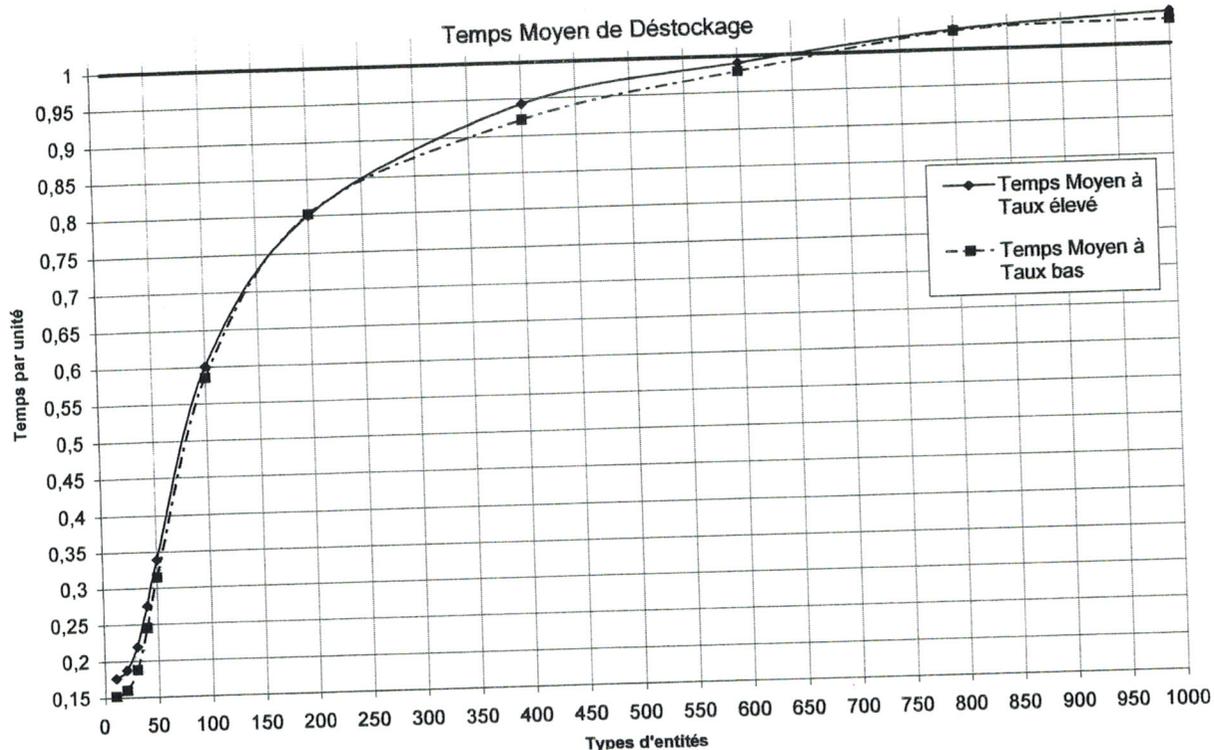


Figure 5.7 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 49 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé et à taux faible.

Dans les trois figures, la valeur analytique du système considéré est prise comme grandeur de base. Par conséquent, les temps moyens de déstockage par unité inférieurs à 1 indiquent une amélioration des performances du système. Par contre, les temps moyens de déstockage par unité supérieurs à 1 indiquent une détérioration des performances du système.

Les résultats présentés dans les figures 5.6, 5.7 et 5.8 ont été déterminés pour un fonctionnement à taux élevés et à taux faibles du 1^{er} et du 2^{ème} systèmes, sauf pour le dernier où le taux d'arrivée des produits est que élevé. Ainsi, un certain nombre de remarques peuvent être tirées par rapport à l'influence du nombre de variétés de produits sur le temps moyen de déstockage, et à l'impact du taux de fonctionnement sur le comportement du système, le temps moyen de déstockage.

Dans les trois cas, nous remarquons que plus la variété des produits augmente plus le temps moyen de déstockage par unité augmente, au-delà d'un certain nombre de produit différents le temps moyen de déstockage par unité devient supérieur à 1.

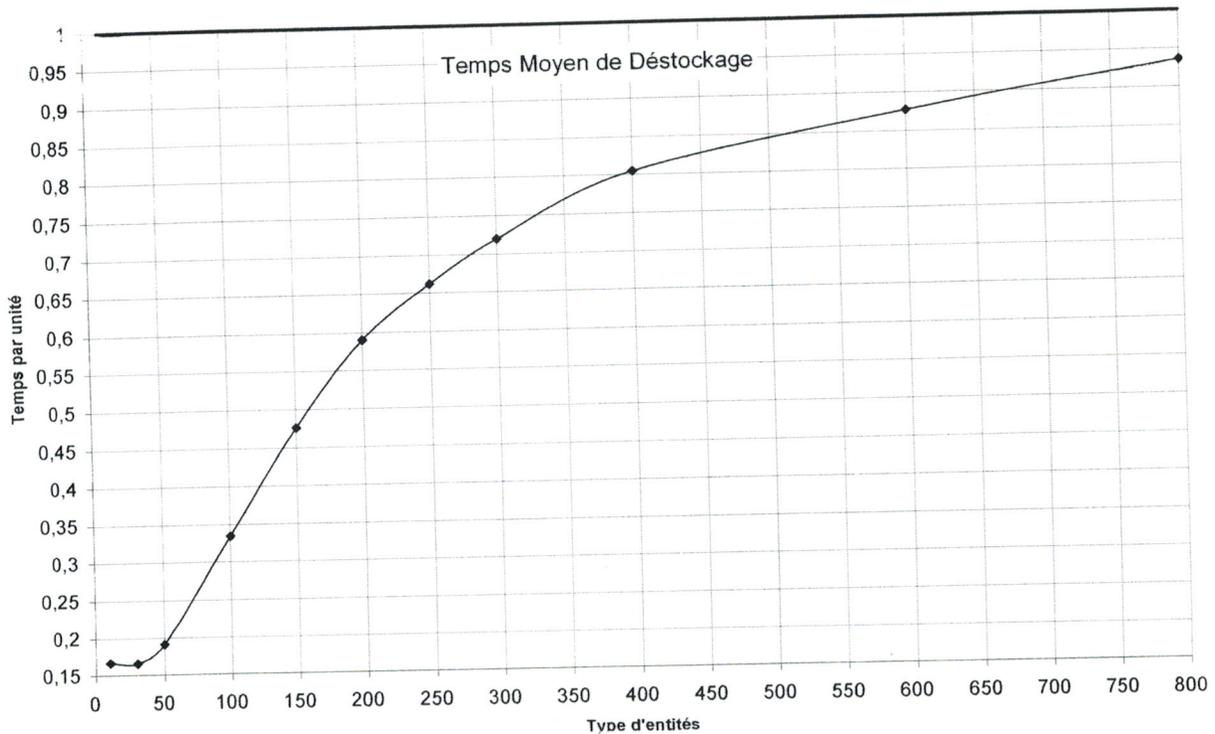


Figure 5.8 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport aux variations de nombre de type de produits pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 100 casiers à 10 couches, fonctionnement à taux élevé.

Dans un système de 25 casiers, nous avons approché les 250 produits différents pour un fonctionnement à taux élevé, dans le cas d'un fonctionnement faible, nous sommes arrivés à 300 produits différents sans que le temps moyen de déstockage ne dépasse la valeur analytique. Nous remarquons que le nombre de produits différents est égal à la capacité de stockage ($N=N_h \cdot N_l \cdot M=250$). Entre 10 et 150 produits différents, la valeur du temps moyen de déstockage par unité pour un fonctionnement élevé ou faible est la même, identique à quelque chose près, dans ces cas là, le taux d'arrivée des produits dans le système n'a pas d'influence sur le comportement du système. Au-delà, le 1^{er} temps relatif est supérieur au 2^{ème} temps relatif d'à peu près de 5%.

Similairement pour le système de 49 casiers, nous sommes arrivés à 650 produits différents pour un fonctionnement à taux élevé, dans le cas d'un fonctionnement faible, nous nous avons approché les 700 produits différents sans que le temps moyen de déstockage ne dépasse la valeur analytique. Nous remarquons que le nombre de produits différents est supérieur à la capacité de stockage $N=490$. Le 1^{er} temps relatif est légèrement supérieur au 2^{ème} temps relatif, le taux de fonctionnement du système n'a pas d'influence sur le comportement du système. A 20 produits différents le temps par unité est de 0,18763,

$\overline{E(RC)} \cong 14 mn$, qui est la valeur du temps moyen de déstockage où il n'y a pas de re-stockage et dont l'expression est :

$$\overline{E(RC)} = \frac{3T}{4} \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \quad (1)$$

Dans le dernier système de 100 casiers, nous nous sommes arrêtés à 800 produits différents, nous n'avons pas pu simuler au-delà de cette valeur, car il faut un micro-ordinateur plus puissant, plus le nombre de produit différent augmente plus la mémoire utilisée augmente, nous sommes arrivés à 29 Mo pour le dernier cas. Vu l'allure de la courbe (figure 5.8), nous pouvons dire par déduction que le temps moyen de déstockage par unité est inférieur à 1 jusqu'à 1000 produits différents, au-delà, il nous faut une plus grande puissance de calcul. Jusqu'à 30 produits différents, il n'y a pas de re-stockage de la machine de déstockage, et la valeur du temps par unité est de 0,17, $\overline{E(RC)} \cong 18 mn$ (équation (1)).

En conséquence, en utilisant l'heuristique de stockage/déstockage nous avons pu augmenter le nombre de produits différents dans un système d'AS/R à convoyeur gravitationnel par rapport à un système où son stockage/déstockage est aléatoire, en plus nous avons eu une diminution dans le temps moyen de déstockage, il y a eu une amélioration des performances du système

5. Taille du système :

En utilisant l'heuristique de stockage/déstockage, le temps moyen de déstockage a diminué, nous avons eu une amélioration des performances même en augmentant le genre de produits jusqu'à une certaine valeur. Dans cette section, nous allons voir si la taille du système a une influence sur les performances du système par rapport au nombre de produits différents.

Par conséquent, pour déterminer le degré d'influence de la taille du système sur ses performances, le nombre de couche M a été varié pour les trois systèmes vus auparavant, pour 50, 100 et 200 produits différents pour le système de 25 casiers, 100 et 600 produits différents pour le système de 49 casiers et 100 et 800 produits différents pour le système de 100 casiers, pour un taux de charge de 75%.

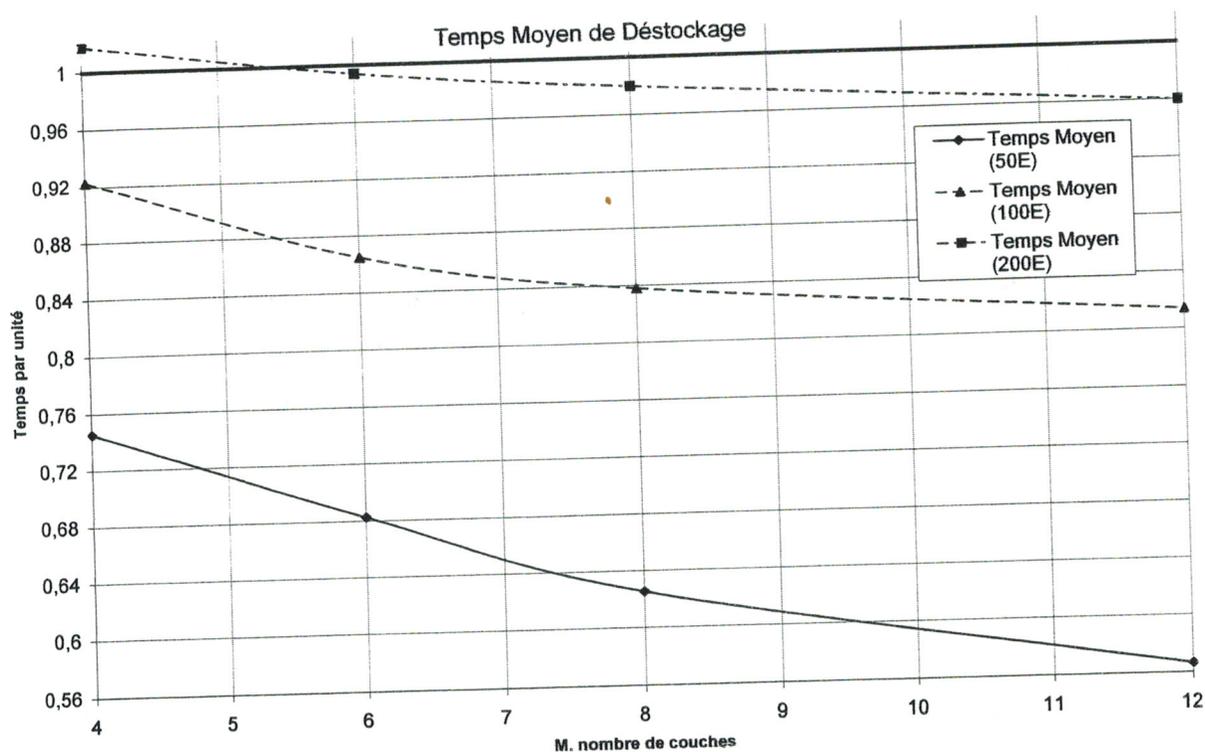


Figure 5.9 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers, pour 50, 100 et 200 types d'entités différentes.

La valeur analytique du système considéré est utilisée comme grandeur de base. Par conséquent, les temps moyens de déstockage par unité inférieurs à 1 indiquent une diminution dans le temps de déstockage par rapport au temps selon l'expression analytique. Par contre, les temps moyens de déstockage par unité supérieurs à 1 indiquent une augmentation. A partir de cela, quelques remarques peuvent être distinguées suivant la taille du système, ainsi que le nombre de type de produits, par rapport au temps moyen de déstockage.

Dans les quatre figures, nous remarquons que plus M augmente plus le temps moyen de déstockage par unité diminue, ainsi que pour toute variété de types de produits. Néanmoins, pour chaque M, plus le nombre d'entités différentes augmente plus le temps relatif augmente.

Dans la 1^{ère} figure et pour 200 entités, nous constatons que pour M inférieur à 6, le temps par unité est supérieur à 1, à M = 4 N=125 et le temps relatif est égal à 1,0179, dans ce cas le nombre de produits différents est supérieur à la capacité de stockage. Par contre pour M = 6, la capacité de stockage est égale au nombre de produits différents, la valeur du temps est égale à 99,4% de la valeur analytique.

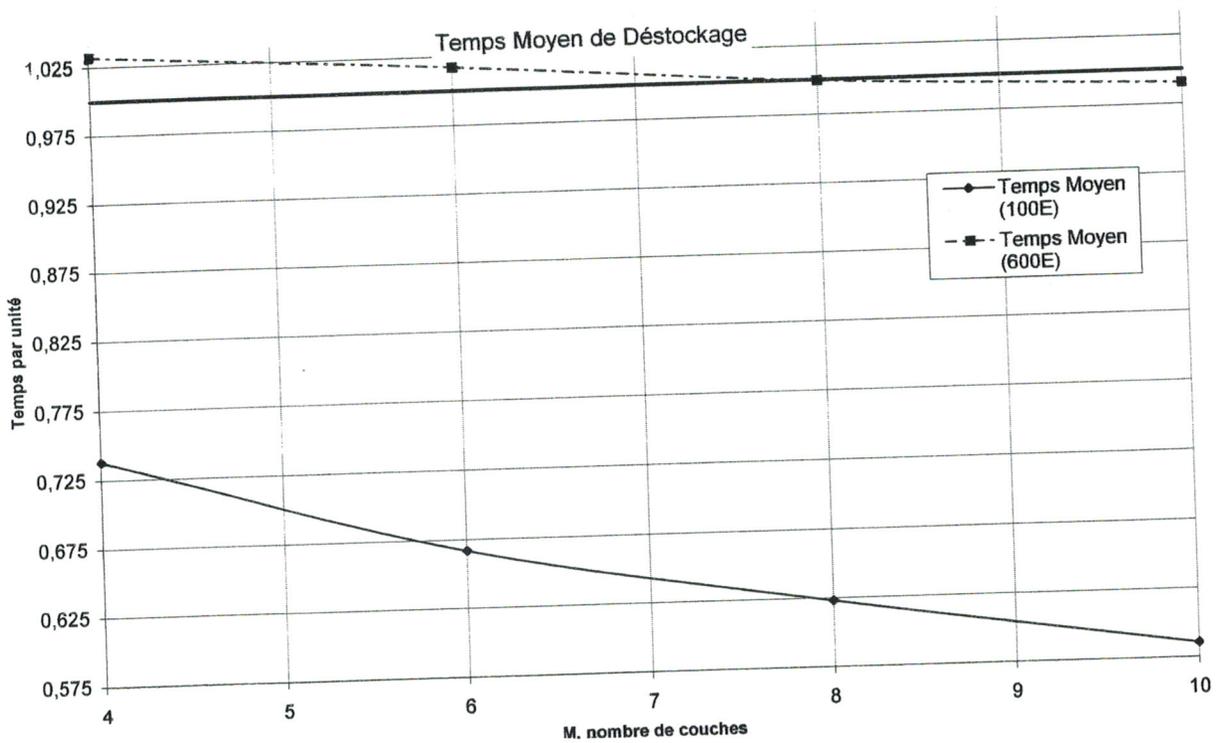


Figure 5.10 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 49 casiers, pour 100 et 600 types d'entités différentes.

Dans la 2^{ème} figure et pour 600 entités, nous constatons que pour M inférieur à 8, le temps par unité est supérieur à 1, à M = 6 N=294 et le temps relatif est égal à 1,0173, dans ce cas le nombre de produits différents est supérieur à la capacité de stockage. Par contre pour M = 8, N = 392 et la valeur du temps est égal à 99,9% de la valeur analytique.

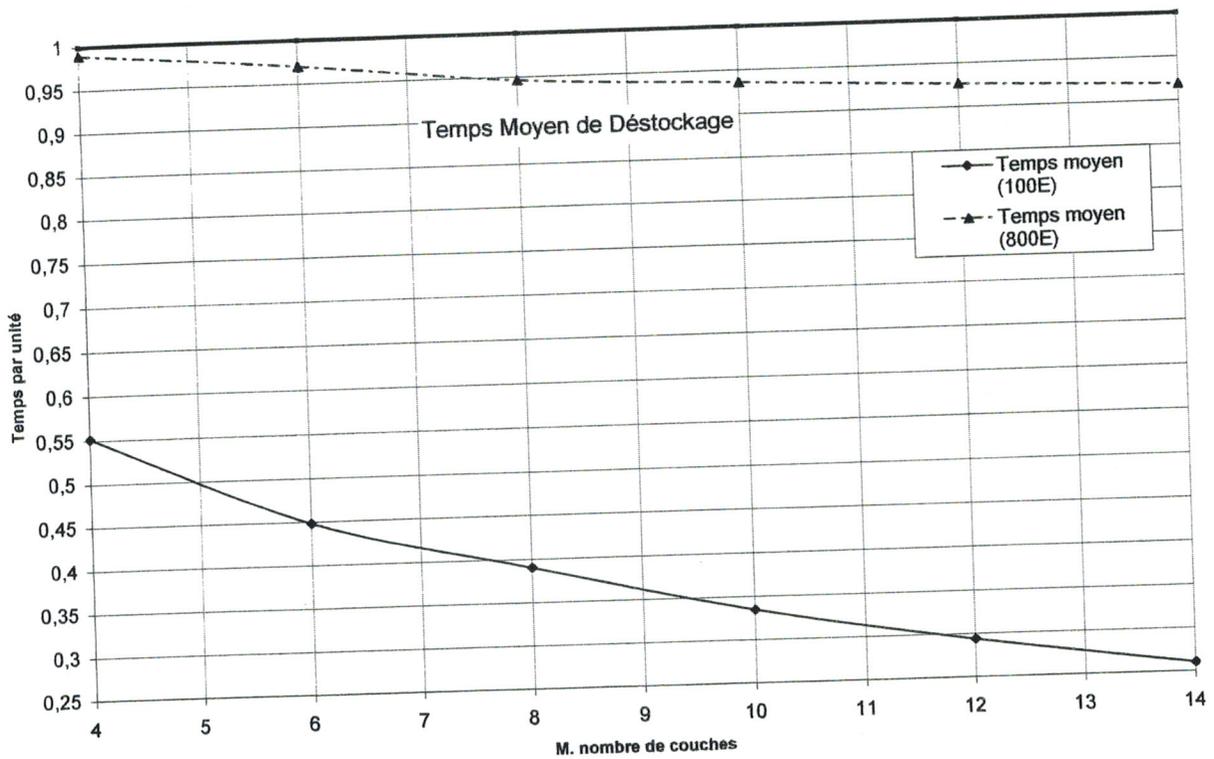


Figure 5.11 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 100 casiers, pour 100 et 800 entités différentes.

Dans la 3^{ème} figure, il n'y a pas eu de dépassement dans le temps relatif. Pour 800 entités, la valeur du temps est égal à 98,9% de la valeur analytique, dans ce système nous pourrions dépasser les 1000 produits différents pour un système à 10 couches.

Sous cette analyse, nous avons fait un récapitulatif dans un graphe (figure 5.12). Le graphe suivant représente la variation du temps de déstockage par rapport aux nombres de couches pour des AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25, 49 et 100 casiers où la variété des produits est de 100 types. En effet, plus M augmente plus le temps moyen de déstockage par unité diminue et plus le nombre de casier augmente plus le temps relatif diminue.

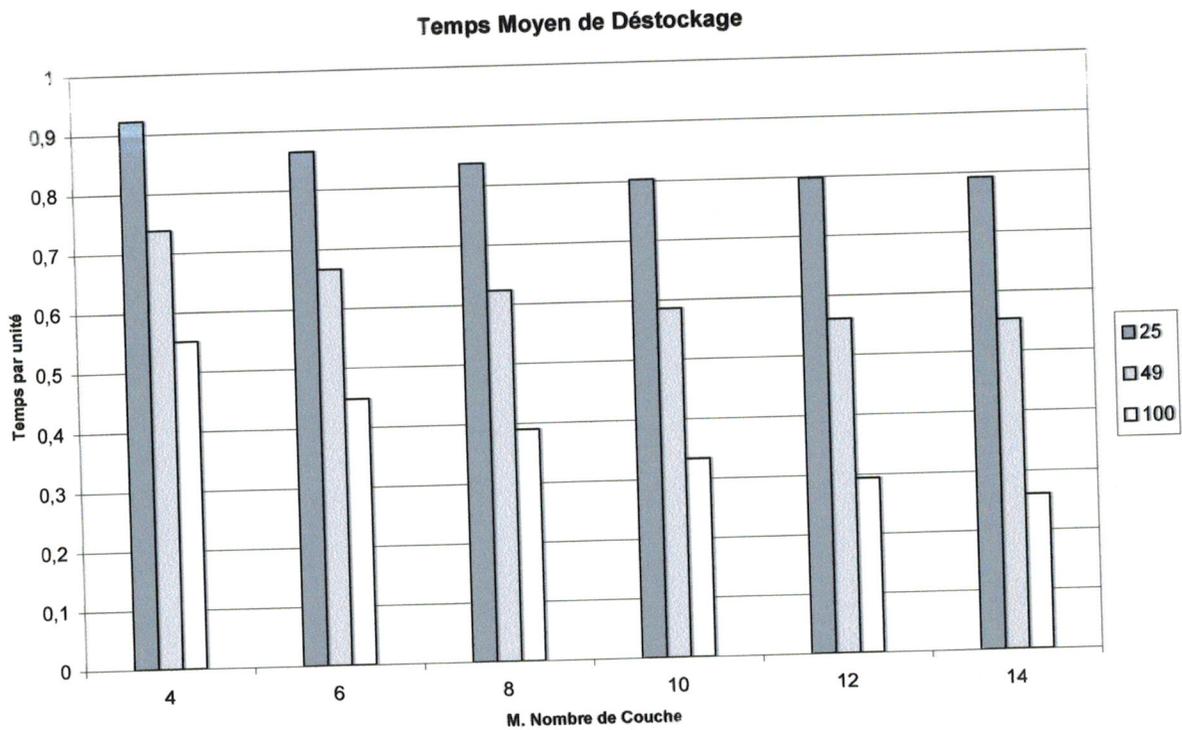


Figure 5.12 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au nombre de couches pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel, pour 100 types d'entités différentes.

En conséquence, plus nous avons d'espace pour stocker (M grand) et plus la surface de la face avant ($N_h \cdot N_l$) de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel est grande, plus le temps moyen de déstockage diminue, ce qui est logique, le système va utilisé que la 1^{ère} priorité de la procédure de stockage de notre heuristique, la machine de stockage va stocker les produits identiques dans les même casiers, elle va les classer par genre. De ce fait, sa va nous faciliter la tâche de déstockage.

6. Taux de charge :

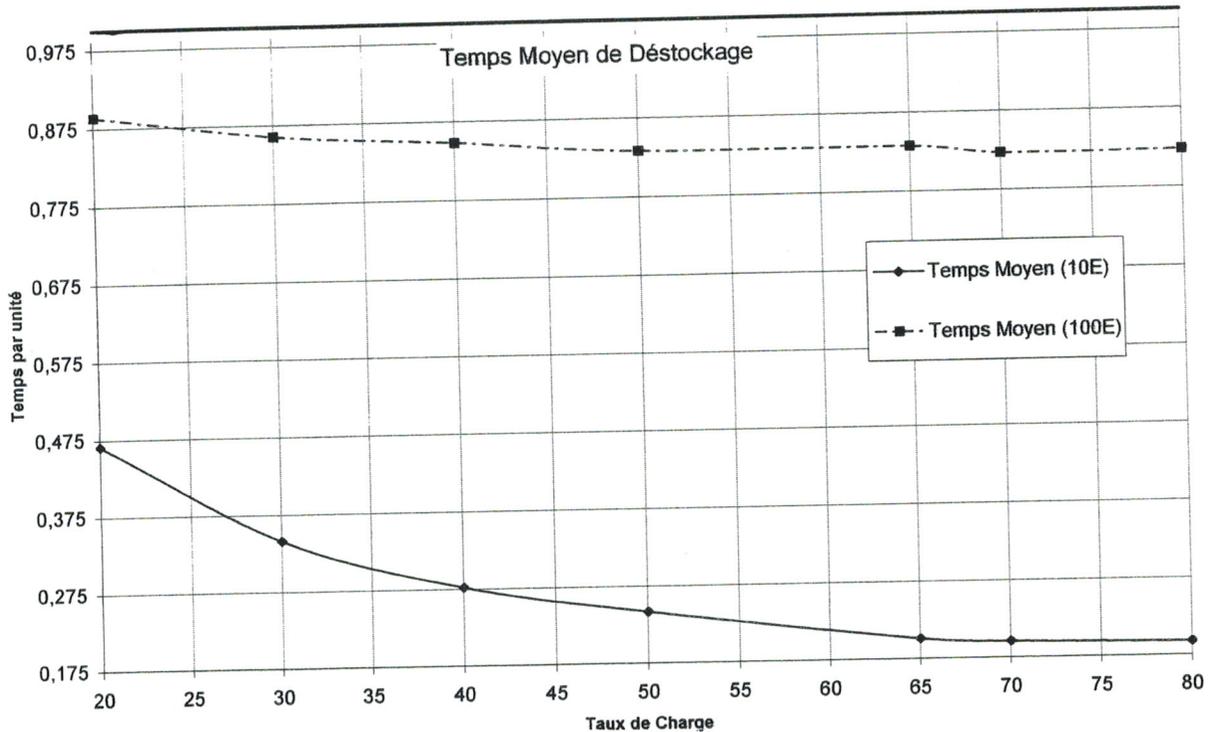


Figure 5.13 : Temps moyen de déstockage par unité par rapport au taux de charge pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches, pour 10 et 100 types d'entités différentes.

La figure 5.13 représente le temps moyen de déstockage par rapport au taux de charge ρ où nous avons pris la valeur analytique du système AS/RS à convoyeur gravitationnel de 25 casiers à 10 couches comme grandeur de base pour chaque valeur de ρ , pour 10 et 100 produits différents. De ce fait, les temps moyens de déstockage par unité inférieurs à 1 montrent une amélioration du système par rapport à un système où son stockage/déstockage est aléatoire.

A partir de ce raisonnement, nous constatons que lorsque ρ augmente le temps moyen de déstockage par unité diminue et en plus, pour chaque ρ , le temps relatif pour 10 entités est différent du temps relatif pour 100 entités, il est inférieur.

Par conséquent, la variation du taux de charge n'a pas d'influence sur le système AS/R à convoyeur gravitationnel utilisant l'heuristique de stockage/déstockage.

7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons développé un programme de simulation en utilisant le logiciel ARENA pour l'heuristique de stockage/déstockage d'un système AS/R à convoyeur gravitationnel. De ces simulations un certain nombre de conclusions peuvent être faites. Nous résumons, ici, l'essentiel.

Le temps moyen de déstockage est réduit par rapport au temps moyen analytique pour un stockage aléatoire, il y a eu une amélioration des performances du système en utilisant l'heuristique de stockage/déstockage.

L'heuristique de stockage/déstockage permet à une grande variété de produits d'être stockée dans un AS/RS à convoyeur gravitationnel sans que les performances de ce dernier ne soient altérées, contrairement au fait où actuellement la variété de produit stocké est très restreinte.

La variation du taux de charge et du nombre de couches n'influe pas sur le temps, plus M ou ρ augmente plus le temps diminue. Par contre la variété de produit influe grandement sur le temps de déstockage, plus la variété de produit augmente plus le temps de déstockage augmente. Malgré cela, nous sommes arrivés à un nombre important de produits différents pour une valeur du temps inférieur ou égal à la valeur analytique.

Finalement, les améliorations du temps moyen de déstockage sont remarquables, un large champ d'application peut s'ouvrir devant cet AS/RS. L'heuristique de stockage/déstockage apporte un progrès dans les performances du système par rapport au temps moyen de déstockage pour un stockage/déstockage purement aléatoire. Ce qui est prometteur et encourageant pour un tel système.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce travail, notre intérêt s'est porté sur les systèmes automatisés de stockage/déstockage (AS/RS) à convoyeur gravitationnel. Nous nous sommes intéressés aux temps de cycle des machines S/R, en particulier, le temps moyen de déstockage dans l'objectif de le minimiser, ainsi d'améliorer les performances du système.

Les systèmes AS/R à convoyeur gravitationnel permettent, de par leur conception, de minimiser l'espace utilisé par la suppression des allées entre étagères. Par contre leur temps de cycle reste moyen et est dans la plupart des cas plus long que celui d'un AS/RS à charge unitaire classique. L'une des meilleures solutions que nous avons trouvée pour minimiser le temps moyen de déstockage, est de développer une heuristique de stockage/déstockage et de l'utiliser dans le but d'améliorer les performances du système.

Cette heuristique a été implémentée dans un programme de simulation en utilisant le logiciel ARENA. Malgré la complexité de notre heuristique de stockage/déstockage du système AS/R à convoyeur gravitationnel, le logiciel ARENA nous a permis de construire plusieurs modèles d'AS/RS à convoyeur gravitationnel proche de la réalité. A l'aide de la modélisation nous avons pu valider l'implémentation de nos systèmes et d'étudier leurs comportements et de juger leurs performances.

Les résultats de la simulation et l'analyse de ces modèles nous ont permis de tirer un certain nombre de conclusions, les plus importantes sont :

- Le temps moyen de déstockage pour un système utilisant l'heuristique est nettement plus inférieur au temps moyen pour un stockage/déstockage purement aléatoire.
- L'heuristique de stockage/déstockage permet une grande diversité de produits par rapport au stockage utilisé actuellement où la variété des produits stockés est très réduite, voir le stockage de produits identiques.
- En stockage aléatoire, l'AS/RS à convoyeur gravitationnel a un temps de cycle comparable à celui de l'AS/RS à charge unitaire tout en ayant une occupation d'espace beaucoup plus réduite. L'heuristique développée a permis une grande amélioration du temps moyen de déstockage de l'AS/RS à convoyeur gravitationnel, ainsi ses performances globales deviennent supérieures à celles de l'AS/RS à charge unitaire et donc lui permettent de devenir une alternative intéressante à celui-ci.

Le stockage par classe est une très bonne alternative entre le stockage dédié et le stockage aléatoire. Il permet d'avoir les avantages de l'un et de l'autre. Ce type de stockage est très étudié dans la littérature. Une adaptation de notre heuristique pour le stockage par classe est envisagée et fera partie de nos préoccupations futures.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [ALLEN 92] ALLEN, S. L. (1992). A selection guide to AS/R systems. *Industrial Engineering*, 24 (3), pp. 28-31.
- [Arena 00] ARENA STANDARD EDITION USER'S GUIDE, ROCKWELL SOFTWARE INC., a Rockwell Automation Company, 2000, United States of America.
- [ASKIN 93] ASKIN, R. G. and STANDRIDGE, C. R., (1993). Modelling and Analysis of Manufacturing Systems, *John Wiley & Sons, Ed.*
- [AZZOUZ 00] AZZOUZ, A., SARI, Z., GHOUALI, N. (2000). Optimisation des dimensions d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel pour un temps de cycle minimum. Journées des Mathématiques Appliquées, J.M.A 2000. Blida
- [AZZOUZ 01a] AZZOUZ, A., SARI, Z., GHOUALI, N. (2001). La méthode de Branch & Bound appliquée à l'optimisation des dimensions d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel. Conférence Internationale sur la production. Alger 9-11 juin 2001.
- [AZZOUZ 01b] AZZOUZ, A., SARI, Z., GHOUALI, N. (2001). Une synthèse sur l'optimisation des dimensions d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel. Conférence Internationale sur la conception et la production intégrée. Fès 24-26 octobre 2001.
- [BANKS 98] BANKS J., (1998). Handbook of simulation, Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. *John Wiley & Sons, Inc. New York.*
- [BANKS 99] BANKS, J., (1999). INTRODUCTION TO SIMULATION. *The 1999 Winter Simulation Conference.* AutoSimulations, Inc. Atlanta, GA 30067, U.S.A. pp 7-13.
- [BARRETT 77] BARRETT, B. G., (1977). An empirical comparison of high-rise warehouse policies for operator-controlled stacker cranes. Logistics Research and Analysis, Eastman Kodak Company.

- [BOZER 80] BOZER, Y. A. and WHITE, J. A., (1980). Optimum designs of automated storage/retrieval systems. *TIMS/ORSA Joint National Meeting*, Washington, DC.
- [BOZER 84] BOZER, Y. A. and WHITE, J. A., (1984). Travel time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 16 (4), pp. 329-338.
- [BOZER 94] BOZER, Y. A., CHO, M. S., SRINIVASAN, M. M., (1994). Expected waiting times in single-device trip-based material handling system, *European Jnl Operational Research*, 75 (1), pp. 200-216.
- [BOZER 96] BOZER, Y. A. and WHITE, J. A., (1996). A generalised design and performance analysis model for end-of-aisle order-picking system, *IIE Trans* 28.
- [CASTAGNA 03] CASTAGNA, P., (2003). Cours de simulation, pp. 1-41.
- [CHANG 97a] CHANG, S. H. and EGBELU, P. J., (1997). Relative pre-positioning of storage/retrieval machines in automated/retrieval systems to minimize maximum system response time. *IIE Transactions*, 29 (4), pp. 303-312.
- [CHANG 97b] CHANG, S. H. and EGBELU, P. J., (1997). Relative pre-positioning of storage/retrieval machines in automated/retrieval systems to minimize maximum system response time. *IIE Transactions*, 29 (4), pp. 313-322.
- [DRAGHICI 98] DRAGHICI, G., BRINZEI, N., FILIPAS, I., (1998). La modélisation et la simulation en vue de la conduite des systèmes de production. Les cahiers des enseignements francophones en Roumanie, pp. 110-129.
- [DESSOUKY 91] DESSOUKY, M. M. and WILSON, J. R., (1991). Minimizing production costs for a robotic assembly system, *Engineering Costs & Production Economics*, 21 (1), pp. 81-92.
- [EGBELU 91] EGBELU, P. J., (1991). Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage/retrieval system, *International Journal of Production Research*, 29(1), pp.17-37.
- [EGBELU 93] EGBELU, P. J. and WU, C. T., (1993). A comparison of dwell point rules in storage/retrieval systems. *International Journal of Productions Research*, 31 (11), pp. 2515-2530.
- [GROOVER 87] GROOVER, M. P., (1987). *Automation production systems and computer integrated manufacturing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 404-416.

- [HAMMANN 95] HAMMANN, J. E., MARKOVITCH, N. A., (1995). INTRODUCTION TO ARENA[®], *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, pp. 519-523; 462-463.
- [HARNISCHFEGER 81] *9 Simple Steps to Determine the layout, Design and Estimated Cost of an Automated Storage/Retrieval System*. Milwaukee: Harnischfeger Corp., 1981, pub. 5M-181.
- [HWANG 93] HWANG, H. and LIM, J. M., (1993). Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 31 (11), pp. 2591-2602.
- [JABLONSKI 85] JABLONSKI, J. (1985). Reexamining FMSs. Special Report 774, *American Machinist*, March 1985, pp. 125-140
- [KARASWA 80] KARASWA, Y., NAKAYAMA, H. and DOHI, S., (1980). Trade-off analysis for optimal design automated warehouses. *International Journal of Systems Sciences*, 11 (5), pp. 567-576.
- [KOENIG 80] KOENIG, J., (1980). Design and model the total system. *Industrial Engineering*, 12 (10), pp. 22-27.
- [KULTUREL 99] KULTUREL, S., OZDEMIREL, N. E., *et al.*, (1999). Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval system, *IIE Trans*, 31 (8), pp. 739-749.
- [KULWIEC 85] KULWIEC, R. A., (1985). *Material Handling Handbook*, John Wiley & Sons, *Second Edition*.
- [LEE 92] LEE, M. -K., (1992). A storage assignment policy in man-on-board automated storage/retrieval system, pp. 2281-2292.
- [LEE 96a] LEE, H. F., SCHAEFER, S. K., (1996). Retrieval sequencing for unit-load automated storage and retrieval system with multiple openings, *Int Jnl Production Research*, 34 (10), pp. 2943-2962.
- [LEE 96b] LEE, S. G., DE SOUZA, R., ONG, E. K., (1996). Simulation modeling of a narrow aisle automated storage and retrieval system (AS/RS) serviced by rail-guided vehicles, *Computers in Industry*, 3 1996, 30 (3), pp. 241-253.
- [LEE 97] LEE, H. F., (1997). Performance analysis for automated storage and retrieval systems. *IIE Transactions*, 29 (1), pp.15-28.
- [LINN 90 a] LINN, R. J., WYSK, R. A., (1990). An expert system framework for automated storage and retrieval system control, *Computers & Industrial Engineering*, 18 (1), pp. 37-48.

- [LINN 90 b] LINN, R. J., WYSK, R. A., (1990). An expert system based controller for an automated storage/retrieval system, *Int Jnl Production Research*, 28 (4), pp. 735-756.
- [MALEKI 91] MALEKI, R. A., (1991). Flexible Manufacturing Systems: The Technology and Management, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, pp 188-193.
- [MANSURI 91] MANSURI, M., (1991). Simulation model development to analyze, evaluate and design storage allocation and AS/RS operation, *Simulation*, 57 (4), pp. 231-239.
- [MHI 77] *Considerations for planning and installing an automated storage/retrieval systems*, Material Handling Institute, Inc., AS/RS Document-100 7M, 1977.
- [NADJID 94] NADJID, N. M. (1994). Contribution au Pilotage Dynamique et en Ligne d'une Cellule Flexible d'Usinage. Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes.
- [PETERS 96] PETERS, B. A., SMITH, J. S. and HALE, T. S., (1996). Closed form models for determining the optimal dwell point location in automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 34 (6), pp.1757-1771.
- [RANDHAWA 95] RANDHAWA, S. U. and SHROFF, R., (1995). Simulation-based design evaluation of unit load automated storage/retrieval systems, *Computers & Industrial Engineering*, 28 (1), pp.71-79.
- [RAO 91] RAO, G. N., and WANG, H. P., (1991). Evaluation and dynamic allocation of AS/RS control rules: a simulation study, *Int Jnl Advanced Manufacturing Technology*, 6 (1), pp. 62-82.
- [SADOWSKI 99] SADOWSKI, D., BAPAT, V., (1999). THE ARENA PRODUCT FAMILY: ENTERPRISE MODELING SOLUTIONS, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, pp. 159-166.
- [SAND 76] SAND, G. M., (1976). Stacker crane product handling systems. Eastman Kodak Company.
- [SARI 97] SARI, Z., (1997). Introduction aux Systèmes Flexibles de Production, *Rapport Interne*, (LNGI-OGP-IUT de Nantes),
- [SARI 01a] SARI, Z., CHETTO, H., GHOUALI, N., (2001). Expected retrieval time models of flow rack AS/RS. *CPI 2001, Fes, Morocco, 24-27 October 2001, N°034 pages 1-16.*

- [SARI 01b] SARI, Z., CHETTO, H., GHOUALI, N., (2001). Impact of P/D stations and restoring conveyor locations on retrieval time models of flow rack AS/RS. *CPI 2001, Fes, Morocco, 24-27 October 2001*.
- [SARI 03a] SARI Z. (2003). Travel-Time Models for Flow-Rack Automated Storage and Retrieval Systems, *accepted by International Journal of Advanced Manufacturing Technology on May 2003*.
- [SARI 03b] SARI, Z., SAYGIN, C., GHOUALI, N., (2003). Impact of Pickup/Dropoff Stations and Restoring Conveyor Locations on Retrieval Time Models of Flow-rack Automated Storage and Retrieval Systems, *submitted to IEEE Transactions on Robotics and Automation on April 2003*.
- [SARI 03c] SARI, Z., (2003). Modélisation, Analyse et Evaluation des Performances d'un AS/RS à Convoyeur Gravitationnel, thèse de Doctorat d'état, LAT, Université de Tlemcen.
- [SCHWARZ 78] SCHWARZ, L. B, GRAVES, S. C. and HAUSMAN, W. H., (1978). Scheduling policies for automatic warehousing systems: Simulation results. *AIIE Transactions*, 10 (3), pp. 260-270.
- [SHANNON 75] SHANNON, R. E., (1998). INTRODUCTION TO THE ART AND SCIENCE OF SIMULATION. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, pp 7-14.
- [SINGH 96] SINGH, N., (1996). Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing, *John Wiley & Sons, Inc*.
- [TOMPKINS 84] TOMPKINS, J. A., WHITE, J. A., (1984). Facilities Planning. . *John Wiley & Sons, Inc., New York*.
- [TRIQUI 03] TRIQUI, L., GAOUAR, N. and SARI, Z., (2003). Simulation d'un Système Automatisé de Stockage/Déstockage à Convoyeur Gravitationnel par Arena, CIP2003, Alger 14-16 Octobre 2003.
- [WANG 97] WANG, J. Y., YIH, Y., (1997). Using neural networks to select a control strategy for automated storage and retrieval systems (AS/RS), *Int Jnl Computer Integrated Manufacturing*, 10(6), pp. 487-495.
- [WEST 93] WEST, T. M., AMUNDSON, A. N. and RANDHAWA, S. U., (1993). Evaluation of alternative materials handling systems, *Computers & Industrial Engineering*, 25 (1-4), pp. 187-190.
- [WHITE 82] WHITE, J. A. & KINNEY, H. D., (1982). Storage and warehousing. *In Handbook of Industrial Engineering*, G. Salvendy ed., *John Wiley & Sons, New York*.

[ZOLLINGER 75]

ZOLLINGER, H A., (1975). Planning, evaluating and estimating storage systems. *Advanced Material Handling Seminar*, Purdue University, IN.