

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abou bekr Belkaid - Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière Nationale en Génie Industriel

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

Spécialité : Ingénierie de la production

Réalisé par :

LAKHDARI Elhadj Mahdi

THEME :

Développement d'une méthodologie d'ordonnancement efficace des requêtes de stockage/déstockage dans un AS/RS à racks glissants

Devant les jurys :

Présidente :	HOUBAD Yamina	MAA	UABB Tlemcen
Examineur :	MEKAMCHA Khalid	MAA	UABB Tlemcen
Examineur :	HADRI Abdelkader	MAA	UABB Tlemcen
Encadrant :	GUEZZEN Amine	MCB	UABB Tlemcen

Année universitaire 2017-2018

Remerciement

Comme tous les travaux de qualité ce mémoire a été réalisé grâce à les efforts fournis par toute la famille et je viens de remercier celle et ceux qui ont contribué au succès de mon mémoire et qui m'ont aidé lors de réalisation ce travail dans des conditions stables.

Tout d'abord, j'adresse en tout particulièrement mes remerciements à notre encadreur Dr GUEZZEN Amine qui a toujours présent à mon côté durant cette année pour m'orienter et donner beaucoup d'aide qui nous a permis d'approfondir au maximum nos travaux afin de pouvoir être fier aujourd'hui du travail réalisé.

Je souhaite également remercie Mme. HOUBAD Yamina pour nous avoir fait l'honneur d'accepté de présider le jury de ce mémoire. Aux membres de jury HADRI Abdelkader et MEKAMCHA Khalid d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et de participer au jury.

Je tiens de remercier mes chères parentes, ma mère et mon père et toute la famille qui m'encouragé toujours d'être parmi les excellents et qui me donne la confiance en moi. Je voudrais aussi remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou loin à mes recherches.

Enfin, je remercie Dieu Tout Puissant.

LAKHDARI Elhadj Mahdi

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon père et à ma mère

Une réserve inépuisable de courage vous a permis d'accomplir votre devoir tous les jours et de vous fier au bon DIEU pour le lendemain. C'est que vous avez toujours compris que toute réussite déguise une abdication. Puisse ce travail récompenser votre patience et persévérance et tous les sacrifices que vous avez consentis au nom de la famille

A mon frère et mes sœurs

Demain ne sera pas comme hier, il sera nouveau et il dépendra de nous. Notre avenir comme notre passé doit être solidaire. C'est la plus belle chose qui nous est donnée naturellement. Notre force résidera toujours dans notre sincère entente et notre esprit de fraternité.

A tous mes amis,

*Pour notre amitié et tous les bons moments passés et à venir,
Pour votre présence, vos bons conseils et nos fous rires partagés*

Un très grand merci à tous et à toutes.

*A tous ceux qui m'ont aidé lors de la réalisation de ce travail, merci à
tous*

Table de matière

Introduction générale :	1
--------------------------------------	---

Chapitre I

Introduction aux systèmes automatisés de stockage/déstockage AS/RS

I.1. Introduction :	3
I.2 Systèmes de stockage automatisé AS/RS :	3
I.2.1 Fonction :	5
I.2.2 Composition :	6
I.2.3 Terminologie :	7
I.3 Classification des AS/RS :	9
I.3.1 AS/RS à charge unitaire :	10
I.3.2 AS/RS à mini-charge ou à charge réduite :	11
I.3.3 AS/RS multi allées :	12
I.3.4 AS/RS à racks glissants :	13
I.3.5 AS/RS à carrousel :	14
I.3.6 AS/RS à personne embarquée :	14
I.3.7 AS/RS à étagères profondes :	15
I.3.8 AS/RS à convoyeur gravitationnel :	15
I.3.9 Les AVS/RS :	16
I.3.9 L'AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine :	17
I.3.10 L'AS/RS à chariots gravitationnels bidirectionnels ou le bi-directional flow-rack AS/RS :	18
I.4 Evaluation des performances d'un système de stockage :	19
I.4.1 Méthodes d'évaluation :	20
I.4.2 Simulation pour l'évaluation des performances :	21
I.5 Etat de l'art :	21
I.6 Conclusion :	23

Chapitre II

Temps de cycle et l'ordonnancement des requêtes de l'AS/RS à rack glissant

II.1 Introduction :	24
II.2 Description du système :	24
II.3 Hypothèses et Notations :	25
II.3.1 Hypothèses :	25
II.3.2 Notation :	26
II.4 Fonctionnement d'un AS/RS à rack glissant :	27
II.4.1 Simple cycle :	27
II.4.2 Double cycle :	31
II.5 Modèle mathématique de temps de double cycle d'un AS/RS à rack glissant :	32
II.5.1 Modèle discrète :	32
II.5.2 Modèle continue :	34
II.6 Ordonnancement efficace des requêtes de stockage/déstockage dans un AS/RS à racks glissants :	35
II.6.1 L'approche proposée :	37
II.6.2 Exemple d'application :	41
II.7 Conclusion :	43

Chapitre III

Simulation d'un AS/RS à rack glissant selon l'algorithme proposé

III.1 Introduction :	44
III.2 La définition de la simulation :	44
III.2.1 L'objectif de simulation :	45
III.2.2 La simulation numérique :	45
III.2.3 Méthodologie générale de simulation :	49
III.3 Présentation du logiciel ARENA :	49

III.3.1 Concepts de simulation ARENA :	50
III.3.2 Les modules utilisé dans la simulation :	51
III.4 Simulation d'un AS/RS à rack glissant :	53
III.4.1 Opéation de stockage :	54
III.4.2 Opération de déstockage :	56
III.5 Résultats et interprétation :	58
III.6 Conclusion :	62
Conclusion Générale :	63
Références Bibliographiques :	65

Table des figures

Chapitre 1 :

Figure 1.1 : Un système automatisé de stockage et déstockage	4
Figure 1.2 : casier de stockage.....	7
Figure 1.3 : Rangée de stockage.....	7
Figure 1.4 : Une allée entre deux racks.....	8
Figure 1.5 : Machine S/R	8
Figure 1.6: Station de Dépôt livraison D/L.....	9
Figure 1.7: AS/RS à charge unitaire	11
Figure 1.8: AS/RS à charge réduite.....	12
Figure 1.9: AS/RS multi allées	13
Figure 1.10: AS/RS à racks glissants.....	13
Figure 1.11: AS/RS à carrousel	14
Figure 1.12: AS/RS à personne embarquée.....	14
Figure 1.13: AS/RS à étagères profondes	15
Figure 1.14: AS/RS à convoyeur gravitationnel.....	16
Figure 1.15: AVS/RS en bleu et jaune : les ascenseurs.....	17
Figure 1.16: Configuration et composants de l'AS/RS à convoyeurs gravitationnel et une seule machine S/R	17
Figure 1.17: Déplacement des produits à l'intérieur des casiers	18
Figure 1.18: à chariots gravitationnels bidirectionnels.....	19

Chapitre II :

Figure 2. 1: AS/RS à rack glissants.....	25
Figure 2.2: Fonctionnement simple cycle (aller de la machine S/R vers un casier)....	28

Figure 2.3: Fonctionnement simple cycle (Retour de la machine S/R vers la station D/L).....	29
Figure 2.4: Simple et double cycle de la machine S/R	32
Figure 2.5 : Changement les emplacements des requêtes	36
Figure 2.6 : Comparaison entre les résultats aléatoire et algorithmique	42

Chapitre III :

Figure 3.1: Méthodologie de simulation numérique	46
Figure 3.2: Architecture générale d'une simulation discrète-continu	48
Figure 3.3: Taux d'exploitation du logiciel Arena dans le monde universitaire	50
Figure 3.4: Animation graphique circuit	54
Figure 3.5: Modèle de simulation d'un AS/RS à rack glissant.....	54
Figure 3.6: Affectation des requêtes de stockage.....	54
Figure 3.7: Réception et libération des requêtes.....	54
Figure 3.8: Contenu de bloc Assign (stockage).....	55
Figure 3.9: Contenu de bloc Delay.....	55
Figure 3.10: Modèles utilisées pour l'opération de déstockage.....	56
Figure 3.11: Création les requêtes de déstockage.....	56
Figure 3.12: Contenu de bloc Assign (déstockage).....	57
Figure 3.13: Contenu de bloc Decide.....	57
Figure 3.14: Contenu de bloc Remove.....	58
Figure 3.15: Schéma explicatif du système (Réseau de circuit de la machine S/R)...	58
Figure 3.16: Comparaison entre les résultats de la simulation aléatoire, la simulation de l'algorithme développée et les résultats analytique.....	61

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau 1 Objectifs pour l'installation d'un AS/RS	6
--	---

Chapitre II :

Tableau 2.1 : Ensemble des casiers référencés dans un AS/RS.....	41
---	----

Tableau 2.2 : Ensemble des opérations de stockage/déstockage selon l'affectation aléatoire.....	41
--	----

Tableau 2.3 : Temps de cycle aléatoire de 20 opérations stock/déstock.....	41
---	----

Tableau 2.4 : Ensemble des opérations de stockage/déstockage selon l'algorithme...	42
---	----

Tableau 2.5 : Temps de cycle de 20 opérations obtenues selon l'algorithme.....	42
---	----

Chapitre III :

Tableau 3.1 : Les différents modules utilisés pour la simulation du système	51
---	----

Tableau 3.2 : Résultats obtenus par simulation aléatoire, algorithmique et analytique.....	59
--	----

Liste des Algorithmes

Algorithme : Algorithme proposé pour la génération des requêtes.....	38
---	----

Introduction générale

Introduction générale

Les centres de distribution (Warehousing) jouent un rôle central dans les chaînes d'approvisionnement modernes, car ils établissent le lien entre l'offre et la demande. Les tendances récentes conduisent à des livraisons plus petites mais plus fréquentes, et le service « dans les 24 heures » est en train de devenir un standard dans de nombreux secteurs. En conséquence, les systèmes automatisés de stockage et de déstockage (AS/RS) sont désormais largement utilisés dans les systèmes modernes, car ils permettent une gestion rapide, précise et efficace des requêtes 24h/24h et 7/7. Dans sa forme la plus simple, un AS/RS se compose de racks de stockage où les produits sont stockés et déstockés automatiquement.

Divers genres des AS/RS peut être distinguer en fonction de certaines caractéristiques et applications. Dans ce travail nous nous intéressons aux AS/RS à racks glissants ; ce type de systèmes comporte une seule allée ouverte, il est composé de racks qui se déplacent latéralement sur des rails de telle sorte qu'on puisse ouvrir une allée entre n'importe quels deux racks mitoyens, il se compose aussi d'une machine S/R et une station dépôt/livraison. Il permet d'optimiser l'utilisation de l'espace en réduisant au minimum le nombre d'allées de service.

Plusieurs mesures de performance peuvent être appliquées pour évaluer un AS/RS. Les mesures les plus importants sont : le taux d'utilisation de la machine S/R et le temps moyen de cycle nécessaire pour servir une requête de stockage ou de déstockage, défini comme étant le temps qui s'écoule depuis l'apparition de la requête, jusqu'à la fin de son exécution. Le temps de cycle figure parmi les paramètres les plus importants d'un AS/RS ; étant donné qu'il influe directement sur les performances du système global.

Un autre axe de recherche dans les AS/RS concerne l'ordonnancement des opérations de stockage/déstockage dans le but d'améliorer le temps de réponse du système. Il y a des auteurs qu'ils ont étudié un problème d'ordonnancement des demandes de déstockage dans un AS/RS à charge unitaire. Dans le but de réduire le

temps total de transport de la machine S/R, ils ont introduit une méthode qui trouve une solution optimale ou quasi-optimale pour des problèmes de taille moyenne.

Dans ce mémoire, nous traitons le problème d'affectation des requêtes d'une manière aléatoire d'un AS/RS à rack glissant et nous nous intéressons à la réduction du temps de réponse du système et par conséquent à l'amélioration du débit de sortie, qui correspond au nombre de produits délivrés par unité de temps. Sachant que la majorité des travaux ont porté sur l'AS/RS à charge unitaire et vu la particularité de l'AS/RS à rack glissant où les produits génèrent aléatoirement, nous nous attacherons également à la recherche d'une méthode pour gérer les requêtes selon les casiers vides et l'allée ouverte pour minimiser le temps de simple cycle.

Dans le premier chapitre nous introduisons des généralités liées aux systèmes automatisés de stockage/déstockage AS/RS. Nous définissons ce qu'est un AS/RS, nous présentons par la suite les différentes fonctions d'un AS/RS en plus de sa composition, puis nous citons leurs avantages et inconvénients ainsi que les différents types existants, nous présentons aussi l'évaluation des performances d'un AS/RS et terminant par un état de l'art en exposant quelques travaux réalisés dans ce domaine de recherche.

Le deuxième chapitre est consacré à comprendre les expressions mathématiques de temps de cycle. Premièrement nous exposons une description plus détaillée sur la configuration de système automatisé AS/RS à rack glissant en plus de son principe de fonctionnement. En deuxième partie de ce chapitre nous présentons l'approche proposée pour ordonnancer les requêtes.

Nous terminons ce mémoire par le troisième chapitre où il est dédié aux validations de l'algorithme, pour ce faire nous utilisons le logiciel de simulation des systèmes de production SIMAN de ARENA et à la fin de ce chapitre nous présentons les résultats obtenus analytiquement et par simulation s'en suivra les interprétations de ses derniers.

Chapitre I :
Introduction aux systèmes automatisés
de stockage/déstockage AS/RS

I.1. Introduction

Le stockage est une fonction essentielle dans un système industriel, Les types de matériel stocké sont liés au produit (par exemple, les matières premières, pièces achetées, produit en cours, produits finis), les processus et les fonctions de support générales dans l'usine (par exemple, pièces de rechange d'entretien). Chacun de ces types de matériaux est généralement stocké dans des différentes conditions contrôles.

Un système automatisé de stockage et de déstockage (AS/RS) est une technologie importante dans la fabrication moderne et dans l'industrie de la logistique. Il s'agit d'un système robotisé informatisé qui automatise les opérations telles que le déchargement, le tri, le rangement, le stockage, la préparation de commandes, la mise en scène et le chargement. Les systèmes se composent généralement de quatre composants principaux : le rack de stockage, le système d'entrée/sortie, l'équipement de stockage/déstockage (S/ R) et le système de gestion informatique ou le système de contrôle.

Les Systèmes automatisés de stockage/déstockage (AS/RS) sont de plus en plus utilisés dans les systèmes de production moderne et dans la logistique et, ceci, grâce à leurs avantages intéressants. Parmi les avantages de ces systèmes : un débit élevé dans la circulation des pièces, l'utilisation efficace de l'espace et l'amélioration de la sécurité [4].

Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur les systèmes automatisés de stockage/déstockage, commençant par une définition, les différentes fonctions d'un AS/RS en plus de sa composition, s'en suivra leurs avantages et inconvénients ainsi les différents types existants, terminant par l'évaluation des performances d'un AS/RS et l'état de l'art.

I.2 Systèmes de stockage automatisé AS/RS :

Les systèmes automatisés de stockage et déstockage ont été largement utilisés dans les environnements de distribution et de production depuis leur introduction dans les années 1950. Un système automatisé de stockage et de récupération (AS / RS) consiste généralement en des racks desservis par des machine S/R traversant des allées entre les racks. Un AS / RS est capable de traiter des palettes sans l'interférence d'un opérateur.

Le système est donc entièrement automatisé. Tant dans les environnements de production que dans les environnements de distribution, les systèmes AS / RS sont utilisés pour stocker des produits (par exemple des matières premières ou des produits semi-finis) et pour récupérer ces produits afin de satisfaire une commande. Entre 1994 et 2004, il y a eu une augmentation significative du nombre d'AS / RS utilisés dans les environnements de distribution aux États-Unis. L'utilisation d'AS / RS présente plusieurs avantages par rapport aux systèmes non automatisés. Des exemples sont des économies de coûts de main-d'œuvre et de surface utile, une fiabilité accrue et des taux d'erreur réduits. Les inconvénients apparents sont les coûts d'investissement élevés (environ 634 000 dollars pour un seul allée AS / RS, Zollinger, 1999), moins de flexibilité et des investissements plus importants dans les systèmes de contrôle. [1]

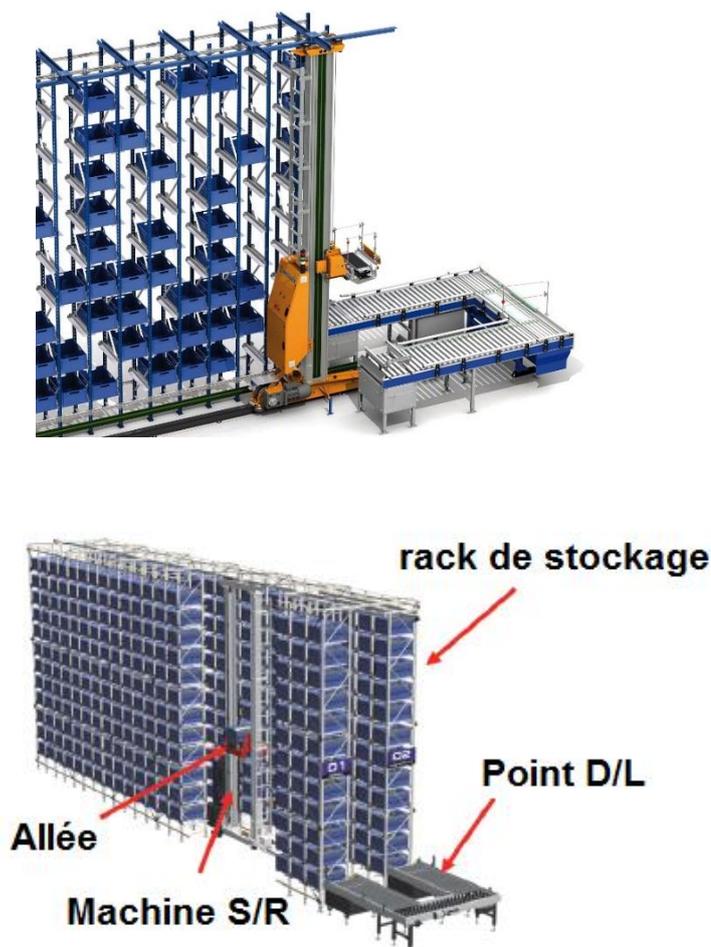


Figure 1.1 Un système automatisé de stockage et déstockage

La fonction d'un AS / RS est de transférer automatiquement des éléments entre des racks de stockage élevés et des stations de préparation ou de traitement. Un système, présenté dans la figure 2, comprend trois composants principaux : les racks de stockage, Les machines S/R et les stations D/L. Les Machines S/R sont des machines de stockage et de déstockage entièrement automatisées pouvant déplacer, ramasser et déposer de manière autonome des bacs. Ils fonctionnent dans des allées entre deux racks de stockage. Dans la plupart des configurations, les machines S/R fonctionnent dans des allées dédiées. Les mouvements d'une machine S/R sont contrôlés par un PC ou un PLC industriel (automate programmable). Chaque machine S/R possède au moins trois convertisseurs de fréquence indépendants commandés en fréquence : un pour le mouvement horizontal, un pour le mouvement vertical et un pour le fonctionnement du dispositif de manutention de la charge, également appelé navette. Les navettes ne peuvent déplacer que des charges complètes, généralement des bacs ou des palettes, au lieu de manipuler des pièces uniques d'un article. [2]

Les racks de stockage sont fixes et rectangulaires. Ils sont situés de chaque côté d'une machine S/R. Les emplacements de stockage sont de taille égale. Il y a une zone de E/S à la fin de chaque allée, qui sert à la fois de point d'extraction pour le stockage des requêtes et de point de dépôt pour les tâches de récupération. Le point d E/S est généralement situé près du coin inférieur du rack. [3]

I.2.1 Fonction :

Un système automatisé de stockage/déstockage AS/RS peut être défini comme un système de stockage dans lequel un degré d'automatisation défini doit être implémenté pour garantir une précision et une rapidité de précision dans l'exécution des opérations de stockage et de récupération. Ces systèmes automatisés de stockage et mécanisés éliminent toute intervention humaine dans la réalisation d'ensembles d'opérations de base, notamment :

- Récupéré un article d'un emplacement de stockage automatiquement.
- Transfert de l'élément ci-dessus vers un point de traitement ou d'interface spécifique.
- Après avoir reçu un article d'un point de traitement ou d'interface, il est automatiquement stocké à un emplacement prédéterminé.

Une liste d'objectifs possibles qu'une entreprise peut vouloir obtenir en installant un système de stockage automatisé est présentée dans le tableau 1. [5]

Tableau 1 Objectifs pour l'installation d'un AS/RS

Augmenter la capacité de stockage
Augmenter la rotation des stocks
Utilisation de la surface maximale
Récupérer l'espace pour les installations de fabrication
Service à la clientèle à améliorer
Contrôle des stocks à améliorer
Assurer la sécurité dans la fonction de stockage
Augmenter la productivité du travail dans la fonction de stockage
Réduire les coûts de main-d'œuvre dans les opérations de stockage
Réduire les vols et améliorer la sécurité

I.2.2 Composition :

Il existe différents genres d'AS/RS cités dans la littérature ou implantés dans le milieu industriel, cela dit l'AS/RS classique dispose de composants qu'on retrouve dans la majorité des AS/RS, à quelques éléments près, en voici donc les plus importants : [5]

- Un ensemble d'allées parallèles délimitées par des étagères de stockage de part et d'autre.
- Des machines de stockage/déstockage, nécessaires à la manutention des articles au sein de l'AS/RS.
- Des points d'entrées/sorties, pour le dépôt des articles à stocker et la récupération des articles déstockés.
- Un système de contrôle, de supervision et de commande, assurant le bon fonctionnement du système en plus de l'interfaçage homme-machine, très important à ce niveau d'automatisation.

I.2.3 Terminologie :

- **Casier** : C'est l'espace tridimensionnel dans les racks de stockage utilisé pour stocker une seule unité de charge de matériau.



Figure 1.2 casier de stockage

- **Racks de stockage** : Cette entité structurelle comprend des emplacements de stockage, des baies et des rangées.
- **Baie** : C'est la hauteur du rack de stockage du sol au plafond.
- **Rangée** : C'est une série de baies placées côte à côte.

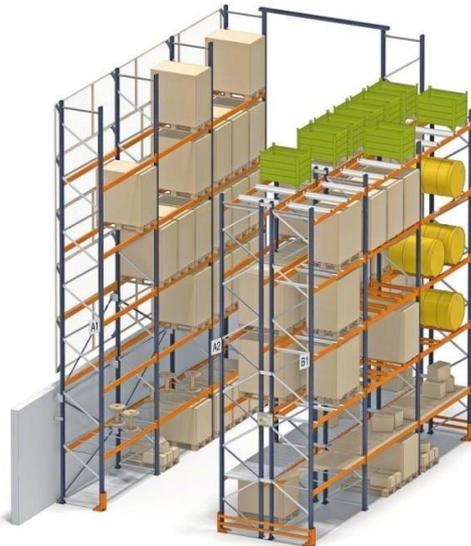


Figure 1.3 Rangée de stockage

- **Rayon** : C'est l'espacement entre deux lignes pour les opérations de la machine AS / RS.
- **Unité d'allée** : Il comprend des allées et des étagères adjacentes à une allée.



Figure 1.4 Une allée entre deux racks

- **Structure de stockage :** C'est l'armature de rack, faite d'acier fabriqué qui soutient les charges contenues dans AS / RS et est utilisée pour stocker des articles d'inventaire.
- **Machine S/R :** Il est utilisé pour déplacer des articles dans et hors de l'inventaire. Une machine S/R est capable de faire mouvement horizontal et vertical. Un système de rails le long du sol guide la machine et un rail parallèle au sommet de la structure de stockage est utilisé pour maintenir son alignement.



Figure 1.5 Machine S/R

- **Modules de stockage :** Ce sont les conteneurs de chargement unitaires utilisés pour contenir les articles en stock. Celles-ci comprennent des palettes, des paniers en acier et

des conteneurs, des casseroles et des tiroirs spéciaux. Ces modules sont généralement fabriqués à une taille de base standard pouvant être stockée dans la structure et déplacée par les machines S/R.

- **Stations de ramassage et de dépôt D/L :** Les stations D/L sont celles où les stocks sont transférés dans et hors de l'AS/RS. Ils sont généralement situés à l'extrémité des allées pour faciliter l'accès des machines S/R au système de manutention externe. L'emplacement et le nombre de stations D/L dépendent du point d'origine des charges entrantes et de la destination des charges de sortie.



Figure 1.6 Station de Dépôt livraison D/L

I.3 Classification des AS/RS :

Un système AS / RS est défini comme un système de stockage utilisant des machines de stockage et de déstockage à chemin fixe fonctionnant sur un ou plusieurs rails entre des baies fixes de racks de stockage. Les AS / RS sont utilisés pour stocker et récupérer des charges dans divers paramètres. Les principaux composants d'un AS / RS sont les racks, les machines S/R, les allées, les points de dépôt livraison D/L et les positions de sélection. Les racks sont typiquement des structures métalliques avec des emplacements pouvant accueillir des charges (par exemple des palettes) qui doivent être stockées. Les machines S/R sont des machines de stockage et de déstockage entièrement automatisées qui peuvent déplacer, ramasser et déposer des charges de manière autonome. Les allées sont formées par les espaces vides entre les grilles, où les machines S/R peuvent se déplacer. Un point d'entrée / sortie (I / O-point, D/L) est un emplacement où les charges stocker ou déstocker. Il faut classer selon leur configuration physique, à savoir :

- Le nombre de machines S/R utilisées ;
- La capacité de la machine S/R ;
- La disposition des racks et des allées dans le système ;
- Les positions des stations de dépôts/livraisons ;
- La profondeur des racks
- Le nombre maximum de produits pouvant être stocké dans un même casier.

Il y a plusieurs modèles et catégories des AS/RS :

- Les AS/RS à charge unitaire.
- Les AS/RS à mini charge ou à charge réduite.
- Les AS/RS multi allées.
- Les AS/RS à racks glissants.
- Les AS/RS à carrousel.
- Les AS/RS à personne embarquée.
- Les AS/RS à étagères profondes.
- Les AS/RS à convoyeur gravitationnel.
- Les AVS/RS
- AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine
- AS/RS à chariots gravitationnels bidirectionnels ou le bi-directional flow-rack AS/RS

I.3.1 AS/RS à charge unitaire :

AS / RS à charge unitaire est généralement un système automatisé de grande taille conçu pour manipuler des charges unitaires stockées sur des palettes ou dans d'autres conteneurs standard. Le système est contrôlé par ordinateur et les transstockeurs sont automatisés et conçus pour gérer des conteneurs à chargement unitaire, Ces systèmes prennent des charges supérieures à 250 KG. [4]

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

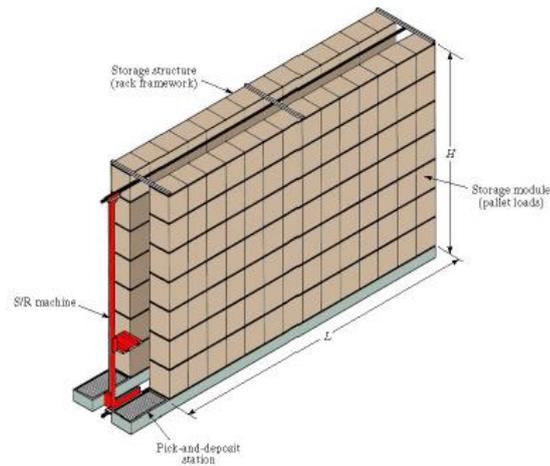


Figure 1.7 AS/RS à charge unitaire

Les autres avantages de l'AS / RS à charge unitaire comprennent :

- Permet un transport stable et rapide des marchandises vers et depuis un stockage haute densité ;
- Capable de gérer plusieurs types de chargement, y compris les cages de roulis et les articles plus gros ;
- Faible consommation d'énergie pour le fonctionnement ;

Il existe deux principaux types d'AS / RS à charge unitaire, à savoir :

Allée fixe - Ces systèmes disposent de rayonnages ou de conteneurs à rangées étroites. Vous verrez des grues fixées à une seule rangée de palettes qui montent verticalement ou horizontalement pour stocker ou déstocker des articles.

Allée mobile - Les machine S/R se déplacent entre plusieurs allées de palettes au lieu d'une seule allée. Cela les rend très polyvalents et couvre plus d'espace de travail.

I.3.2 AS/RS à mini-charge ou à charge réduite :

Ce système de stockage est généralement plus petit qu'un AS/RS à chargement unitaire et il est utilisé pour traiter de petites charges (pièces ou fournitures individuelles) contenues dans de petits conteneurs, bacs ou tiroirs standard dans le système de stockage.

Un mini-charge AS/RS fonctionne comme un système à charge unitaire, sauf que les dispositifs stockage/déstockage sont conçus pour manipuler des conteneurs, bacs ou plateaux standard qui stockent des pièces, des composants et des outils au lieu de charges unifiées. [5]

Les autres avantages de la mini-charge AS / RS inclut :

- Courbe d'apprentissage minimale pour l'opération
- Plus d'espace
- Renforcement de la sécurité des marchandises
- Conçu pour une utilisation ergonomique optimale de l'opérateur
- Fonctionne généralement à plusieurs vitesses



Figure 1.8 AS/RS à charge réduite

I.3.3 AS/RS multi allées :

Ce type d'AS/RS est une variation de l'AS/RS à charge unitaire. Un AS/RS multi allées est composé d'un ensemble de racks fixes, disposés deux à deux en parallèle et séparés par des allées. Chacune de ces allées, appelée : allée de desserte donne accès aux deux racks. Une allée commune placée perpendiculairement aux racks relie toutes les allées de desserte (figure 1.9). [6]

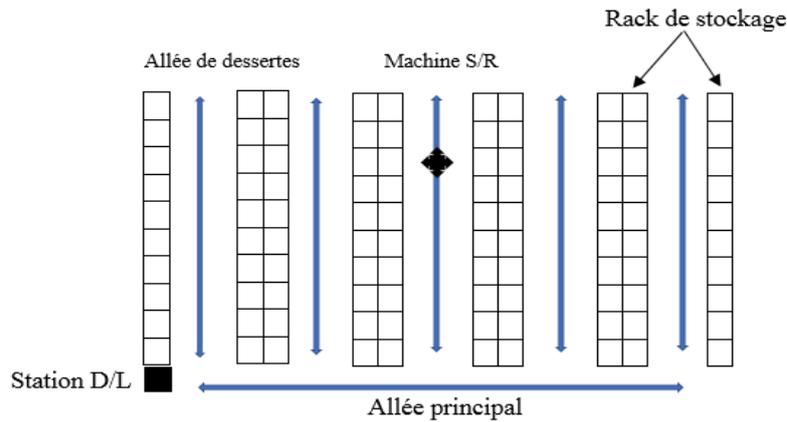


Figure 1.9 AS/RS multi allées

I.3.4 AS/RS à racks glissants :

Le système de rack mobile (M-AS / RS) est un système de stockage de haute densité (voir la figure 1.10).

Il n'y a qu'une seule allée nécessaire pour manipuler les marchandises, de sorte que l'espace est très bien utilisé.

Le déplacement est réalisé par le chariot de roulement motorisé sur lequel sont installés les racks. Après avoir séparé deux rangées d'équipements adjacentes, une allée est formée. La machine S/R entre dans l'allée pour stocker ou récupérer l'article sur un rack de stockage. La vitesse de déplacement est commandée par un système de contrôle très précis, de sorte que le mouvement est très stable. [7]

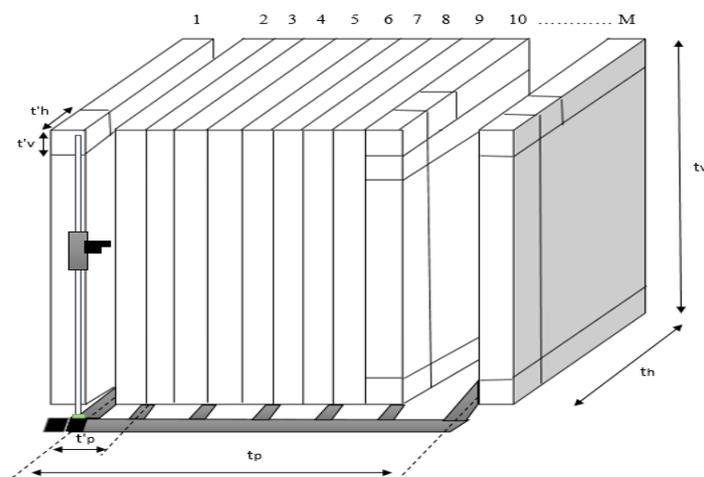


Figure 1.10 AS/RS à racks glissants

I.3.5 AS/RS à carrousel :

Les AS/RS à carrousel représentent une architecture assez spécifique, la différence majeure qu'ils représentent, c'est que les casiers qui constituent les racks sont en mouvement. Dans chaque rack, les différents casiers sont montés en carrousel, ce qui leur permet de se déplacer d'une telle manière à ce que tous les casiers puissent arriver chacun à son tour, à l'extrémité du rack via un déplacement horizontal, où l'opération de stockage/déstockage sera réalisée.

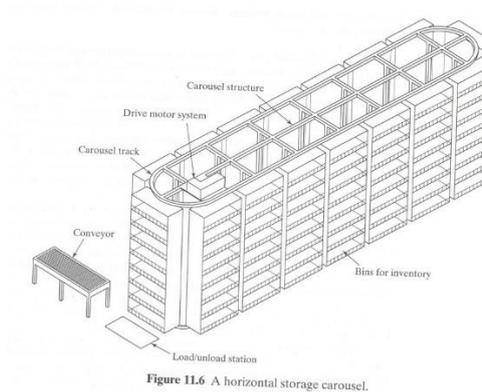


Figure 1.11 AS/RS à carrousel

I.3.6 AS/RS à personne embarquée :

Ce système permet de stocker des articles en quantités inférieures à la charge unitaire. L'opérateur humain se déplace sur le chariot de la machine S / R pour ramasser des articles individuels dans un bac ou un tiroir. Le système permet de prélever des articles individuels directement sur leurs lieux de stockage. Cela permet d'augmenter le débit du système. L'opérateur peut sélectionner les éléments et les placer dans un module. Il est ensuite transporté par la machine S/R jusqu'au bout de l'allée ou sur un convoyeur pour atteindre sa destination.

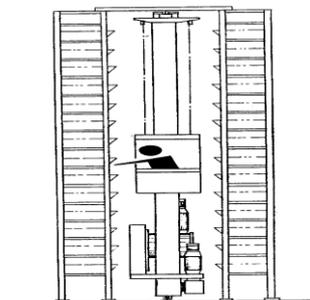


Figure 1.12 AS/RS à personne embarquée

I.3.7 AS/RS à étagères profondes :

Il s'agit d'un système de stockage unitaire à haute densité adapté au stockage de grandes quantités de stock. Les éléments sont stockés dans un stockage multi-profond avec jusqu'à 10 éléments dans un seul rack, un chargement derrière le suivant. Chaque rack est conçu pour un débit continu, avec des entrées et des sorties du côté opposé. La machine est utilisée du côté entré du rack pour le chargement d'entrée et les charges sont récupérées de l'autre côté par une machine de type S / R. Les machines S/R sont similaires à la machine S/R à charge unitaire, à ceci près qu'elles ont des fonctions spécialisées telles que la commande de véhicules à crémaillère.

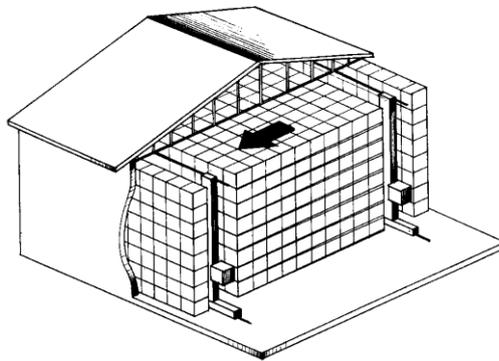


Figure 1.13 AS/RS à étagères profondes

I.3.8 AS/RS à convoyeur gravitationnel :

L'AS/RS à convoyeur gravitationnel est un rack profond constitué d'un ensemble de casiers dont les supports sont des convoyeurs gravitationnels. Les casiers sont profonds et chacun est muni de deux machines S/R. La première sur la face avant du rack pour le stockage et la seconde sur la face arrière pour le déstockage. Ces deux machines sont reliées entre elles par un convoyeur de restockage permettant à la machine S/R d'accéder aux produits pour les restocker. [8]

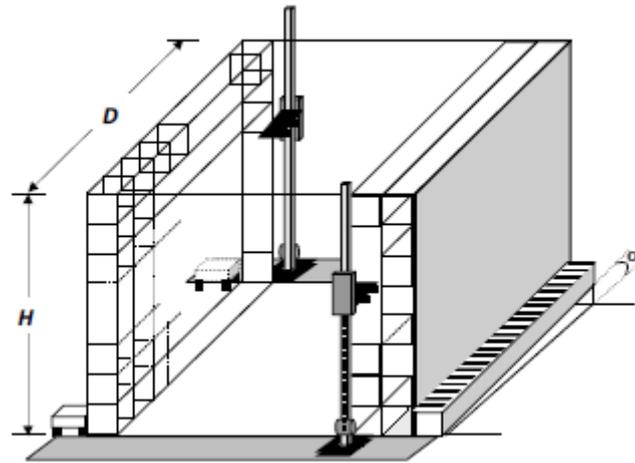


Figure 1.14 AS/RS à convoyeur gravitationnel

I.3.9 Les AVS/RS :

AVS/RS (Autonomous vehicle storage and retrieval systems) utilisent des véhicules guidés par rail se déplaçant dans des trajectoires rectilignes dans et entre les allées des racks de stockage. Le mouvement vertical du véhicule est assuré par des ascenseurs installés à des emplacements fixes le long de la périphérie du rack. En tant qu'alternative aux systèmes de stockage et de déstockage automatisés traditionnels, les systèmes de véhicules autonomes permettent aux utilisateurs de faire correspondre la taille du parc de véhicules et le nombre d'ascenseurs au niveau de demande de transactions dans un système de stockage. Des outils de conceptualisation analytique basés sur les caractéristiques des systèmes de véhicules autonomes sont proposés pour modéliser les performances attendues en fonction des principaux attributs du système, notamment la capacité de stockage, la configuration du rack et la taille de la flotte. Les modèles sont démontrés pour un problème d'échantillonnage et comparés aux outils de conceptualisation analytique utilisés pour les systèmes automatisés de stockage et déstockage. [9]

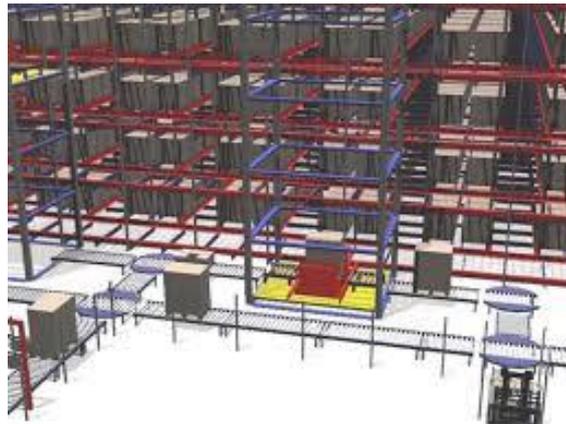


Figure 1.15 AVS/RS en bleu et jaune : les ascenseurs

I.3.9 L'AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine :

Les AS/RS à convoyeur gravitationnel à une seule machine composé d'une seule machine S/R utilisée pour le stockage et le déstockage, de deux racks séparés par une allée de service permettant à la machine S/R de se déplacer, et d'une station dépôt/ livraison située au coin bas du système (figure 1.16). [10]

Pour le point de repos de la machine S/R nous avons deux possibilités :

- Le point de repos est situé à la station dépôt/livraison.
- Le point de repos est situé au milieu du système.

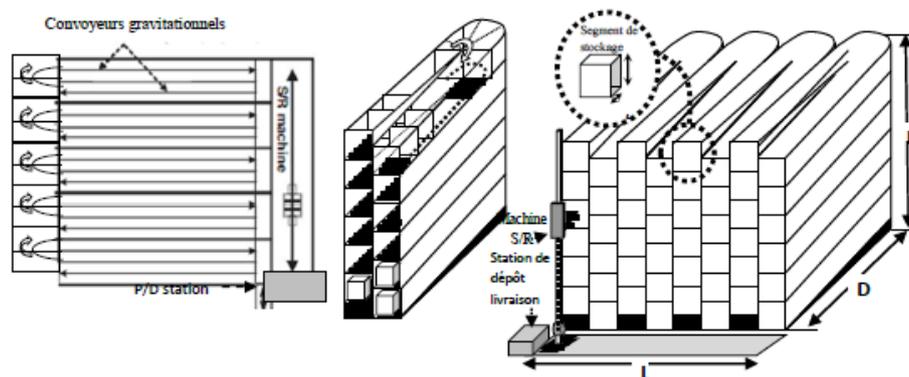


Figure 1.16 Configuration et composants de l'AS/RS à convoyeurs gravitationnel et une seule machine S/R [10]

Les racks de stockage sont profonds et ils sont composés d'un ensemble de casiers pouvant contenir plusieurs produits placés les uns à la suite des autres (sur plusieurs couches). Chaque

casier est muni d'un convoyeur gravitationnel à base de rouleaux ou roues libres, incliné de telle façon à permettre le glissement des produits d'un bout à l'autre du casier. Pour stocker un produit la machine S/R récupère ce dernier de la station dépôt/ livraison et le transporte directement au casier de stockage, ce produit est donc stocké dans la dernière couche vide du casier. Pour un déstockage la machine S/R se déplace vers le casier de déstockage retire les produits qui se trouvent avant le produit à déstocker un à un et les replace dans ce même casier de l'autre coté (figure 1.17), jusqu'à ce qu'elle récupère le bon produit et le transporte à la station de livraison.

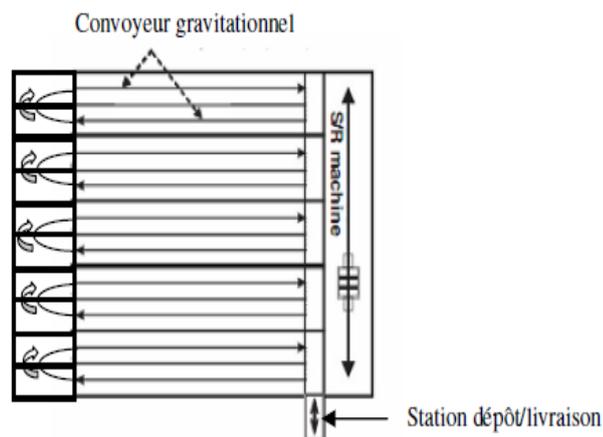


Figure 1.17 Déplacement des produits à l'intérieur des casiers [10]

I.3.10 L'AS/RS à chariots gravitationnels bidirectionnels ou le bi-directional flow-rack AS/RS :

L'AS/RS à chariots gravitationnels bidirectionnels appartient aux familles des AS/RS compacts nommés aussi profonde, chaque casier a une capacité multiple, ceci permet une grande densité de stockage et une utilisation de l'espace maximum.

Ce système est combiné entre les deux systèmes précédemment cités l'AS/RS à convoyeur gravitationnel et l'AS/RS à chariots gravitationnels à une seule machine, il se compose d'un ensemble de casiers superposés, mis côte à côte, et penchés par alternance vers l'une ou l'autre des faces du rack dont les supports sont des convoyeurs gravitationnels, deux machines S/R qui se situent sur les deux extrémités des racks, l'une sur une face assurant le stockage et l'autre sur la face opposée assurant le déstockage. Cette structure de forme U permet d'éliminer le virage en épingle de cheveux difficile à réaliser d'une manière performante d'un point de vue

mécanique, D'autres conceptions de racks de stockage ont été examinées, telles que les racks de stockage basés sur le chiffre d'affaires. [11]

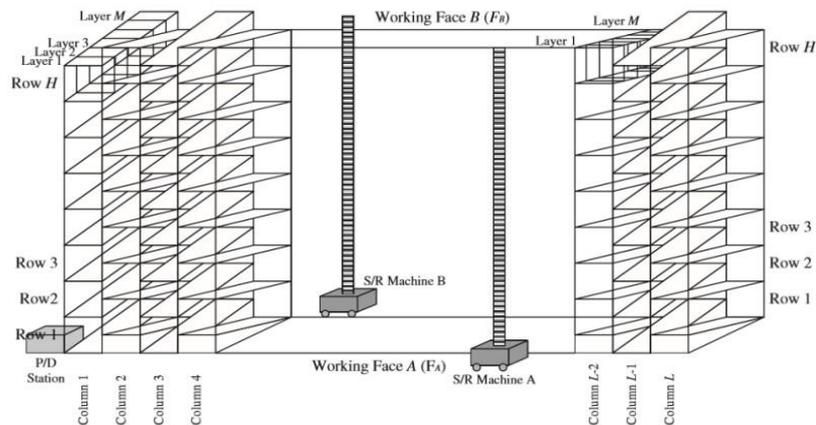


Figure 1.18 à chariots gravitationnels bidirectionnels

I.4 Evaluation des performances d'un système de stockage :

La mesure de performance la plus couramment utilisée d'un AS/RS est le débit du système, défini comme le nombre de demandes de stockage et déstockage effectuées par le système par période. En pratique, cela signifie qu'il faut résumer le nombre de conteneurs traités dans tous les cycles effectués sur une période donnée. Au cours de la phase de conception du système, il est important d'estimer le débit maximal du système qui est influencé par la configuration du système, les paramètres de conception physique et les règles de contrôle de la machine S/R.

Expérimentalement, le débit maximal peut être mesuré à partir du temps total nécessaire pour traiter une quantité prédéfinie de demandes de stockage et de récupération dans la file d'attente. Le débit maximal pour une seule allée est l'inverse du temps de cycle moyen attendu.[12]

Une autre mesure importante des performances est le délai d'exécution de la demande, également appelé temps de réponse du système, défini comme le délai entre l'arrivée et la fin d'une demande. Cela comprend l'attente dans la file d'attente pour l'arrivée de La machine S/R et le déplacement jusqu'au point D/L en cas de tâche de déstockage ou de stockage de l'emplacement en cas de tâche de stockage. Outre le temps de réponse moyen, le temps de réponse maximum ou le cas le plus défavorable est souvent pris en compte. Une partie du délai d'exécution de la demande est le temps de réponse de la grue. C'est le temps qu'il faut à la machine S/R pour atteindre la

demande depuis son emplacement actuel. Les tâches de récupération sont généralement urgentes. Ils peuvent avoir des délais stricts, qui doivent être respectés.

Par exemple : une commande de préparation d'entrepôt a une heure limite, qui détermine si la commande sera effectuée à temps pour la distribution. Dans les applications de fabrication flexibles, une ligne de production peut s'arrêter si le bon composant n'est pas récupéré pour traitement dans le temps. Ainsi, la précocité ou le retard de l'exécution d'une demande peut également constituer une mesure de performance vitale.

I.4.1 Méthodes d'évaluation :

Les AS/RS utilise principalement deux approches pour évaluer les performances d'un système donné : les modèles de temps de cycle statiques et la simulation à événements discrets. Les modèles de temps de cycles statiques se concentrent sur le comportement en régime permanent d'un AS/RS. Ils utilisent une analyse mathématique pure pour calculer les temps de cycle de la machine S/R dans des conditions très spécifiques. Tous les modèles de temps de cycles s'appliquent à une configuration de système unique et à un ensemble de règles de contrôle. Ils supposent normalement une ou plusieurs des simplifications suivantes : continu et / ou carrés, ordonnancement pour les demandes de stockage et de récupération, stockage aléatoire, positionnement inactif du point de connexion au point D/L. Un modèle de temps de cycles doit également utiliser des statistiques pour estimer la quantité relative de différents types de cycle de fonctionnement. [13]

Des modèles de temps de cycle précis ont été développés pour les configurations AS/RS les plus courantes. Il existe également au moins deux normes publiées par FEM (Fédération européenne de manutention de matériaux) et MHI (Material Handling Institute) qui ont été publiées pour calculer les temps de cycle. Ces normes visent à fournir une approche unifiée pour obtenir des durées de cycle approximatives pour différents types de systèmes. Ils visent à être simples plutôt que précis car leur utilisation principale est la négociation de contrats. Ils ne doivent donc pas être comparés à des modèles de temps de cycle plus sophistiqués. La recherche de modèles de temps de cycle est loin d'être exhaustive, car il existe de nombreuses combinaisons de paramètres de fonctionnement et de conception.

I.4.2 Simulation pour l'évaluation des performances :

La simulation est une technique d'analyse numérique conçue pour évaluer les réponses de modèles complexes. Il a été utilisé dans plusieurs études AS / RS au cours des 30 dernières années. Il est obligatoire d'utiliser la simulation pour modéliser de manière adéquate toutes les caractéristiques opérationnelles d'un AS/RS dans son environnement dynamique.

Dans un modèle de simulation, il est possible de modifier l'état du système et la charge et de la machine S/R avec un ensemble de paramètres. Des contrôles peuvent également être paramétrés, ce qui rend leur comparaison possible. [12]. L'évaluation des performances dans ce travail est réalisée avec le simulateur ARENA.

I.5 Etat de l'art :

L'étude des systèmes automatisés de stockage/déstockage fait l'objet de nombreux travaux.

L'objectif initial est toujours le même : il s'agit de minimiser le temps de cycle moyen de la machine S/R. Il existe plusieurs critères de modélisation :

Selon le mode de déplacement et les caractéristiques fonctionnelles de la machine S/R, la structure des cellules de stockage dans les racks, la conception des racks et la disposition physique des AS/RS, selon la politique du point de repos de la machine S/R, la position de la station D/L et selon les stratégies du stockage.

Parmi les recherches sur **le temps de cycle d'un AS/RS**, Hausman et al. [13] ont modélisé le temps de simple cycle pour un AS/RS à charge unitaire par des expressions analytiques continues pour différentes stratégies de stockage (le stockage aléatoire, le stockage dédié et le stockage par classe). Graves et al. [14] ont modélisé le temps de double cycle pour le même type de système et avec les mêmes hypothèses. Ghomri et al. [25] ont développé un modèle analytique continu permettant un calcul approximatif du temps de simple cycle d'un AS/RS multi allées. Cette expression a été utilisée par Kouloughli et al. [6] pour trouver les dimensions optimales d'un AS/RS multi allées pour un temps de cycle minimal. Sari et al. [21] a établi les expressions analytiques discrètes pour les AS/RS multi allées et pour les AS/RS à racks glissants.

Par la suite, Guezzen et al. [7] ont effectué deux travaux différents sur les AS/RS à racks glissants. Ils ont développé deux modèles analytiques continus permettant un calcul du temps moyen de simple cycle. Dans le premier modèle les auteurs considèrent le cas où le temps de glissement des racks est inférieur au temps de déplacement le long de l'allée principale. Dans le deuxième modèle, ils ont considéré le cas où le temps de glissement des racks est supérieur au temps de déplacement le long de l'allée principale.

Xuan-Thuong et al. [15] ont présenté L'objectif principal de ce problème de séquençage est de minimiser le temps de parcours total d'une machine de stockage/déstockage afin de compléter une liste de demandes de stockage et de récupération. Différents algorithmes de recherche locaux sont utilisés pour résoudre le problème de séquençage formulé, Les performances des algorithmes proposés sont examinées et évaluées par le biais d'expériences de calcul approfondies. Les expériences suggèrent une recherche locale appropriée ainsi qu'un opérateur de variation efficace.

Bessenouci et al. [17] présenté deux algorithmes métaheuristique appliqués au contrôle d'un système de stockage/déstockage à rack glissant. Ces algorithmes métaheuristiques sont développés pour contrôler la machine d'extraction de L'AS/RS afin de minimiser le temps de cycle de déstockage.

Wen Wang et al. [18] ont présenté une méthode de résolution basée sur un algorithme génétique (GA) est proposée. Dans cette méthode, chaque chromosome de GA représente un ensemble de règles qui peuvent être utilisées pour décrire des projets d'ordonnancement concrets et chacune est codée par un codage entier par morceaux. Afin d'obtenir la valeur de la fonction adaptative de chaque chromosome, une méthode d'optimisation de la décision intégrant le processus de hiérarchie analytique (AHP) est utilisée. Les résultats de la simulation indiquent que cette méthode peut être utilisée pour optimiser les règles de planification dans les problèmes de planification de stockage/déstockage d'un AS/RS.

Jean-Philippe Gagliardi et al. [19] faire un travail concentre sur les décisions tactiques pour un AS/RS. Montre que le séquençement des requêtes (c.-à-d. La planification de l'ordre dans lequel les demandes de stockage et de récupération sont effectuées) est d'une importance primordiale dans les performances AS/RS réelles. Des résultats de calcul étendus basés sur un plan d'expérimentation de simulation complet confirment que le bon séquençage peut avoir un impact mesurable (jusqu'à 23%) sur les performances de l'AS/RS. Lorsqu'elle est associée à une stratégie

d'attribution de stockage, une approche intégrée englobant le séquençement des requêtes et les décisions d'emplacement de stockage peut réduire jusqu'à 45% le temps de trajet total, ce qui représente des gains de performances significatifs.

Zhuxi chen et al. [20] ont présenté le problème d'ordonnancement des stockage/déstockage dans un AS/RS en rack avec politique de stockage de durée de séjour est analysé et une heuristique en deux étapes appelée méthode de regroupement est proposée pour minimiser le temps de parcours total. Des opérations. La méthode de mise en correspondance de groupes proposée attribue des charges unitaires en groupes lors de l'étape de regroupement et associe les groupes et les compartiments de la baie de flux en une étape de mise en correspondance. Deux heuristiques de regroupement sont conçues pour l'étape de regroupement. Le sous-problème correspondant est formulé comme une tâche à résoudre. Des expériences de simulation sont menées pour évaluer l'efficacité et l'efficacité de la méthode de regroupement et des deux heuristiques de regroupement utilisées pour le sous-problème de regroupement.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différents systèmes des AS/RS ainsi que de se familiariser avec les différents termes. Une multitude de définitions ont été exposées, en plus des AS/RS les plus répandus, et en insistant sur les éléments les plus importants qui les constituent. La revue de la littérature à la fin du chapitre est venue synthétiser de manière globale ce qui a été fait dans ce domaine de recherche. Dans le chapitre suivant on passera à la partie de formulation mathématique de temps de cycle pour l'AS/RS à rack glissant et l'algorithme proposé pour l'ordonnancement des requêtes des stockage/déstockage.

Chapitre II :
Temps de cycle et l'ordonnancement des
requêtes de l'AS/RS à rack glissant

II.1 Introduction

Le problème principal dans ce mémoire est de développer une méthode d'ordonnancement efficaces et optimales des requêtes de stockage/déstockage dans un AS/RS à racks glissants pour la minimisation de temps et bonnes affectations des requêtes. Notre modèle dans ce chapitre est le temps de simple cycle des AS/RS à rack glissant comprennent les différents résultats théoriques, ce modèle consiste à un support mathématique adapté aussi bien pour l'évaluation analytique, optimisation et la simulation de ce genre de système automatisé.

Le temps de cycle est parmi les paramètres les plus importants d'un AS/RS. Il influe sur les performances du système global. Il permet de la conception optimale de système AS/RS dans le cas où le système n'existe pas, ainsi de calculer leur débit si le système existe déjà. Dans ce chapitre nous intéressons à l'expression de temps de cycle de système AS/RS à rack glissant, ce modèle permet facilement l'optimisation des démentions des AS/RS, et le plus importants ce modèle nous permet de calculer le temps de simple cycle de système.

L'ordonnancement des requêtes de stockage et déstockage a attiré de nombreux chercheurs [18], [19]. Pour la classe du problème d'ordonnancement de base (c'est-à-dire pour les systèmes AS/RS à charge unitaire), les auteurs ont traité un ordonnancement de problème à de temps de cycle qui minimise le temps de parcours total de la machine S/R. Dans ce chapitre on 'appliqué un algorithme qui gérer les requêtes des stockage/déstockage dans un AS/RS à rack glissant pour minimiser les temps de simple cycle.

II.2 Description du système :

Un AS/RS à rack glissant est une variation des AS/RS multi-allées. Ce système est composé de :

1. Une seule machine S/R utilisée pour le stockage et le déstockage.
2. Des racks mises en parallèles placés sur des rails qui leurs permettent de se déplacer latéralement de telle sorte qu'on puisse ouvrir une allée entre n'importe quels deux racks mitoyens

3. Une station dépôt/livraison située au coin bas du système.

A l'Etat initiale, il existe une seule allée de service (une allée aléatoire), la machine S/R au repos se trouve à la station P/D, Cette machine S/R se déplace ainsi, suivant trois axes :

- Verticalement : le long des colonnes formants les racks
- Horizontalement : le long des allées de desserte
- Transversalement : le long de l'allée commune à l'Etat initiale

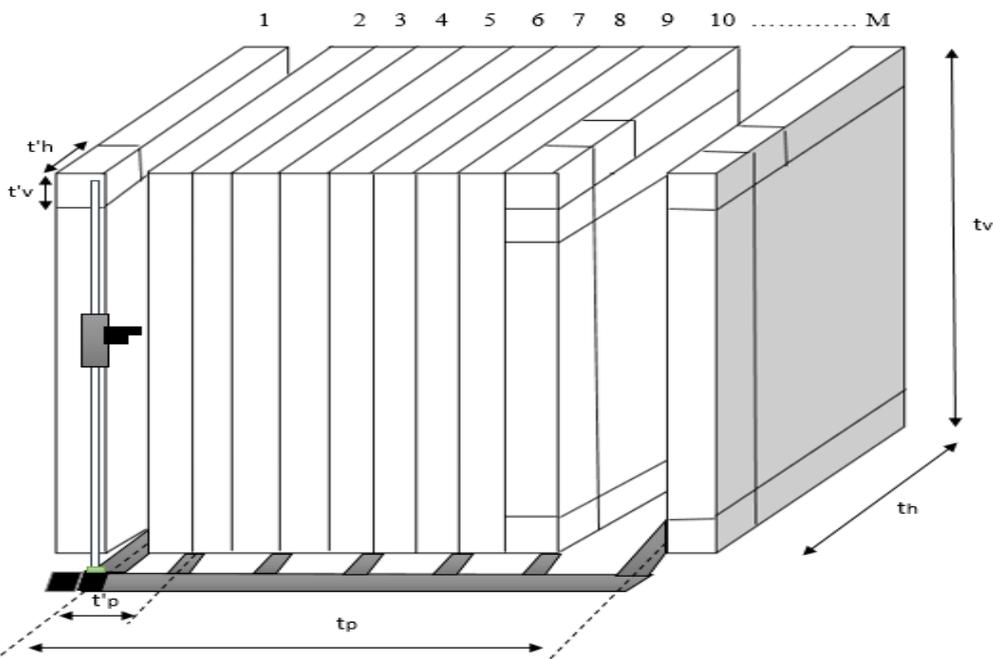


Figure 2. 1 : AS/RS à rack glissants

II.3 Hypothèses et Notations :

II.3.1 Hypothèses :

Les hypothèses suivantes ont été utilisées dans le présent document :

1. La station D/L est située dans le coin inférieur gauche du système de stockage.
2. A l'état initial, la machine S/R se trouve à la station D/L.
3. Le système suit une politique de stockage aléatoire
4. Si une requête se produit pendant le retour de la machine S/R à la station de D/L, la machine doit compléter son cycle avant d'effectuer la nouvelle requête.

5. Les délais dus à l'accélération/décélération de la machine S/R ne sont pas pris en considération.
6. La machine S/R est capable de se déplacer simultanément dans le sens horizontal et vertical à vitesse constante. Donc, le déplacement nécessaire pour atteindre n'importe quel endroit dans le système est approximé par un déplacement de Tchebyshev.
7. La machine S/R ne peut faire qu'une seule opération à la fois et ne peut fonctionner que dans les modes simple ou double-cycle.
8. Les temps de dépôt/livraison associés à la manutention des produits par la machine S/R ne sont pas pris en considération dans le calcul du temps de cycle. Ces temps sont généralement indépendants de la forme du rack et de la vitesse de la machine S/R. Ils sont souvent déterministes et, donc, peuvent être ajoutés aux expressions des temps de cycles à posteriori.
9. Chaque casier dans le système a la même probabilité de subir une opération de stockage/déstockage, ce qui veut dire qu'on considère un stockage aléatoire.
10. Dans l'approche continue, les faces des racks sont considérées comme étant une surface continue où les produits peuvent être stockés/déstockés en n'importe quel point.

II.3.2 Notation :

- M : Nombre de racks dans un AS/RS à rack glissant.
- $M/2$: Nombre d'allée dans un AS/RS à rack glissant.
- N_h : Nombre de casiers par lignes (casiers horizontaux).
- N_v : Nombre de casiers par colonne (casiers verticaux).
- T_r : Temps nécessaire pour l'ouverture d'une allée (ou le temps de glissement des racks).
- T_h : Temps nécessaire pour parcourir la longueur d'un rack ou d'une allée.
- T_p : Temps nécessaire pour parcourir l'allée principale du système.
- T_v : Temps nécessaire pour parcourir la hauteur d'un rack.
- T'_h : Temps de déplacement horizontal d'un casier au suivant.
- T'_p : Temps de déplacement d'une allée à la suivante.

- T'_v : Temps de déplacement vertical d'un casier au suivant.
- $\overline{E(SC)}$: Temps moyen de simple cycle
- $\overline{E(DC)}$: Temps moyen double cycle
- $\overline{E(TB)}$: Temps moyen de déplacement entre deux casiers quelconques dans un AS/RS

II.4 Fonctionnement d'un AS/RS à rack glissant :

II.4.1 Simple cycle :

Pour le simple cycle une seule opération a effectué par la machine S/R soit une opération de stockage ou bien de déstockage.

- **Dans le cas de stockage :**

Au repos, la machine S/R se trouve dans la station de dépôt livraison ou il y'a une seule allée de service, après la réception d'un produit à stocker, la machine S/R se déplace horizontal et verticale simultanément jusqu'à le casier de stockage, au même temps l'allée correspondante au casier de stockage s'ouvre pour que la machine peut atteindre le casier prévu, après le stockage de produit, la machine S/R revient au point de dépôt livraison.

- **Dans le cas de déstockage :**

Après la réception d'une commande, la machine S/R se déplace vers le casier de déstockage afin de récupérer le produit à déstocker et revient au point de repos.

- a. Expressions discrètes du temps de simple cycle :**

Le temps de simple cycle de la machine S/R est le temps nécessaire pour aller du point de dépôt/livraison au casier de stockage (déstockage) plus le temps nécessaire pour le retour [4].

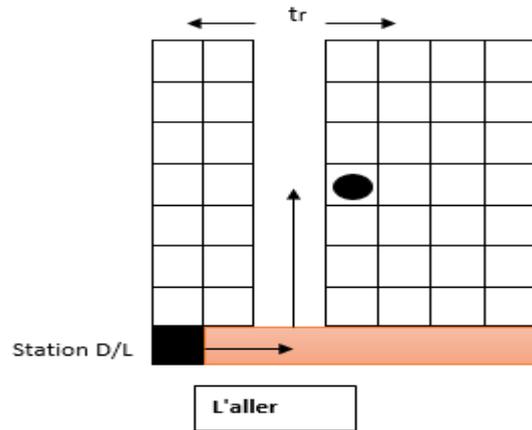


Figure 2.2 Fonctionnement simple cycle (aller de la machine S/R vers un casier)

Considérons le casier de coordonnées (i, j) dans la $k^{\text{ième}}$ allée. Le déplacement horizontal nécessaire pour atteindre ce casier est :

$$t'_{h.i} + \max(t_r ; t'_{p.(k-1)}) \quad (1)$$

Le déplacement vertical nécessaire pour atteindre ce même casier est :

$$t'_{v.(j-1)} \quad (2)$$

Grâce au déplacement de **Chebychev**, le temps global que met la machine S/R pour atteindre ce casier est le maximum entre le déplacement horizontal et le déplacement vertical.

$$\text{Max}[t'_{h.i} + \max(t_r ; t'_{p.(k-1)}) ; t'_{v.(j-1)}] \quad (3)$$

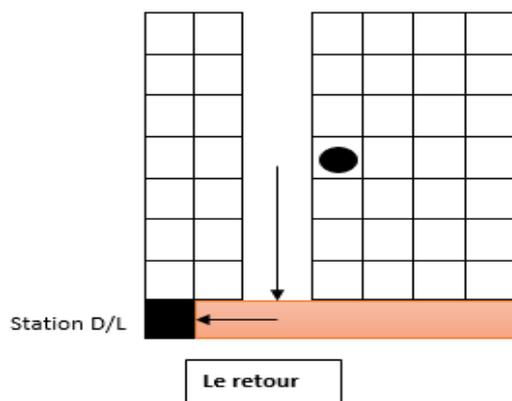


Figure 2.3 Fonctionnement simple cycle (Retour de la machine S/R vers la station D/L)

Le temps global que met la machine S/R pour retourner au point de dépôt/livraison ne dépend pas de t_r . Il est donné par l'expression :

$$\text{Max}(t'_h.i + t'_p.(k-1) ; t'_v.(j-1)) \quad (4)$$

Par conséquent, on peut calculer le temps de cycle moyen pour tous les casiers par l'expression discrète suivante :

$$\overline{E(SC)} = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{M^2} \sum_{i=1}^{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} (\text{max}[t'_h.i + \text{max}(t_r, t'_p.(k-1)), t'_v.(j-1)] + \text{max}[t'_h.i + t'_p.(k-1), t'_v.(j-1)]) \quad (5)$$

b. Approche continue :

Guezzen (2014) [4], Il a présenté les principales étapes de calcul des expressions continues du temps moyen de simple cycle d'un AS/RS à racks glissants. Ce temps comprend le temps de déplacement de la machine S/R à partir de la station D/L vers un casier de stockage/déstockage qui dépend du temps de glissement des racks, plus le temps pour retourner vers la station de dépôt/livraison. Ce dernier est indépendant du temps de glissement des racks.

- **Cas N°1 ($t_r < t_p < t_h$) :** on a 5 cas pour calculer le temps moyen ($E(SC)_1$) nécessaire pour atteindre un casier afin de faire une opération de stockage ou bien de déstockage dans tout le système :

1^{er} Cas : $0 < t_v \leq t_r$

$$E(SC_1) = \frac{t_p}{2} + \frac{t_h}{2} + \frac{t_r^2}{2t_p} \quad (6)$$

2^{eme} Cas : $t_r < t_v \leq t_p$

$$E(SC_1) = \frac{t_p}{2} + \frac{t_h}{2} + \frac{t_r^2}{2t_p} + \frac{8t_v t_r^3 - 6t_r^2 t_v^2 + t_v^4 - 3t_r^4}{24t_p t_h t_v} \quad (7)$$

3^{eme} Cas : $t_p < t_v \leq t_h + t_r$

$$E(SC_1) = \frac{t_p}{2} + \frac{t_h}{2} + \frac{t_r^2}{2t_p} - \frac{(t_p - t_v)^4 + (t_v - t_r)^4 - 2t_v^4 - 4t_v t_r^3 + 2t_r^4 + 4t_v^3 t_r}{24t_p t_h t_v} \quad (8)$$

4^{eme} Cas : $t_h + t_r < t_v \leq t_p + t_h$

$$E(SC_1) = \frac{t_p}{2} + \frac{t_h}{2} - \frac{(t_v - t_h)^4 + (t_v - t_p)^4 - t_v^4 - 6t_h^2 t_r^2 + 8t_h t_r^3}{24t_p t_h t_v} \quad (9)$$

5^{eme} Cas : $t_p + t_h < t_v$

$$E(SC_1) = \frac{t_v}{2} + \frac{3t_h t_r^2 + 3t_p^2 t_h + 4t_r^3 + 3t_p t_h^2 + 2t_p^3}{12t_p t_v} \quad (10)$$

Le temps de cycle moyen noté $E(SC_2)$:

$$\overline{E(SC_2)} = \frac{r_p}{2} + \frac{r_h}{2} + \frac{r_v^3}{24t_p t_h} + \frac{(r_v - r_p - t_h)^3 \text{Max}(r_v - r_p - t_h, 0) - (r_v - t_p)^3 \text{Max}(r_v - t_p, 0) - (r_v - t_h)^3 \text{Max}(r_v - r_h, 0)}{24t_p t_h t_v} \quad (11)$$

Pour calculer $E(SC) = E(SC_1) + E(SC_2)$, il suffit donc d'ajouter la partie $E(SC_2)$ à n'importe quel cas présenté auparavant selon la configuration du système.

- **Cas N°2 ($t_p < t_r < t_h$):**

Le temps moyen de simple cycle que fait la machine S/R pour aller à un casier de stockage/déstocage est :

$$E(SC_1) = \frac{1}{2} t_h + t_r + \frac{\max(0, t_v - t_r)^3}{6t_h t_v} + \frac{\min(0, t_h + t_r - t_v)^3}{6t_h t_v} \quad (12)$$

Le temps global que met la machine S/R pour retourner au point de dépôt/livraison ne dépend pas de t_r :

$$\overline{E(SC_2)} = \frac{t_p}{2} + \frac{t_h}{2} + \frac{t_v^3}{24t_p t_h} + \frac{(t_v - t_p - t_h)^3 \text{Max}(t_v - t_p - t_h, 0) - (t_v - t_p)^3 \text{Max}(t_v - t_p, 0) - (t_v - t_h)^3 \text{Max}(t_v - t_h, 0)}{24t_p t_h t_v} \quad (13)$$

Le temps moyen de simple cycle d'un AS/RS à racks glissants est :

$$E(SC) = t_h + t_r + \frac{1}{2}t_p + \frac{\max(0, t_v - t_r)^3}{6t_h t_v} + \frac{\min(0, t_h + t_r - t_v)^3}{6t_h t_v} + \frac{t_v^3}{24t_p t_h} + \frac{(t_v - t_p - t_h)^3 \max(0, t_v - t_p - t_h) - (t_v - t_p)^3 \max(0, t_v - t_p) - (t_v - t_h)^3 \max(0, t_v - t_h)}{24t_p t_h t_v} \quad (14)$$

II.4.2 Double cycle :

A partir d'état initial, la machine S/R reçoit un produit dans la station D/L, après la réception de produit, la machine S/R se déplace vers le casier prévu pour le stockage, les déplacements horizontale et verticale se fait simultanément jusqu'à ce qu'elle atteint le casier, au même temps les racks glissent latéralement sur des rails pour que l'allée correspondante au casier prévu pour ce stockage s'ouvre. La machine S/R s'introduit à l'intérieur de cette allée pour déposer le produit.

Après l'opération de stockage la machine S/R revient pour déstocker un produit, si le produit à déstocker se trouve dans la même allée, la machine S/R se déplace vers le casier directement, si le produit à déstocker se trouve dans une autre allée, la machine S/R sort de cette allée, les racks glissent pour faire ouvrir l'allée prévue pour le déstockage, au même temps la machine se déplace horizontalement et verticalement vers le casier où se trouve le produit à déstocker, celle-ci le récupère pour revenir à la fin, à la station dépôt/ livraison.

(Figure 2.4-b-)

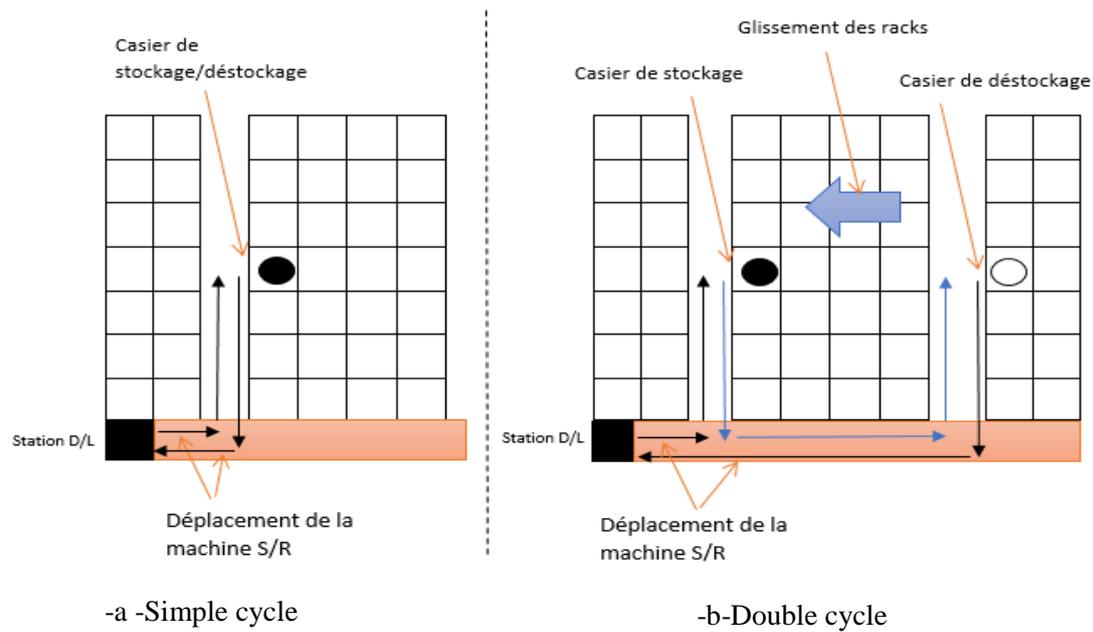


Figure 2. 4: Simple et double cycle de la machine S/R

II.5 Modèle mathématique de temps de double cycle d'un AS/RS à rack glissant :

II.5.1 Modèle discrete :[4]

Dans le cas de double cycle la machine S/R fait trois déplacements donc le temps moyen double cycle comprend trois temps de déplacements le temps de déplacement de la machine S/R vers le casier de stockage ($E(SC)1$), le temps de déplacement de la machine S/R du casier de stockage vers le casier de déstockage ($E(TB)$) et le temps de retour de la machine S/R depuis ce casier de déstockage vers la station de dépôt/livraison ($E(SC)2$)

Le temps moyen double cycle comprend le temps de déplacement de la machine S/R vers le casier de stockage ($E(SC)1$), le temps de déplacement de la machine S/R du casier de stockage vers le casier de déstockage ($E(TB)$) et le temps de retour de la machine S/R depuis ce casier de déstockage vers la station de dépôt/livraison ($E(SC)2$).
 $E(DC)=E(SC)1+E(TB)+E(SC)2$

Le temps moyen de la somme du premier et du dernier mouvement vaut exactement le temps moyen de simple cycle ($E(SC)$).

$$E(SC)_1 = \max[T'_h \cdot i_1 + \max(t_r; t'_p \cdot k_1); t'_v \cdot j_1].$$

$$E(SC) = \max[(t_r; t'_p \cdot k_2); t'_v \cdot j_2].$$

Reste à estimer le temps de déplacement entre les casiers de stockage et de déstockage. Ce déplacement est noté $E(TB)$

Considérons deux casiers de coordonnées respectives (i_1, j_1) dans l'allée k_1 et (i_2, j_2) dans l'allée k_2 .

Deux cas peuvent se présenter :

- 1er cas : le stockage et le déstockage se font sur la même allée ($k_1=k_2$):

$$E(TB) = \max(t'_h \cdot |i_2 - i_1|, t'_v \cdot |j_2 - j_1|)$$

- 2ème cas : le stockage et le déstockage se font sur deux allées différentes ($k_1 \neq k_2$):

$$E(TB) = \max[(t'_h |i_2 + i_1| + \max(t_r; t'_p \cdot |k_2 - k_1|)), t'_v |j_2 - j_1|]$$

pour le premier terme de $E(TB)$, nous avons:

$$A_1 = t'_h \cdot |i_2 - i_1| \text{ (pour } k_2 = k_1)$$

$$A_2 = t'_h \cdot |i_2 + i_1| + \max(t_r; t'_p \cdot |k_2 - k_1|) \text{ (pour } k_1 \neq k_2)$$

Sachant que $|i_2 + i_1| = |i_2 - i_1| + 2 \min(i_1, i_2)$

$$A_1 = A_2 = A_3 = t'_h (|i_2 - i_1| + 2 \min(i_2 - i_1, \min(|k_2 - k_1|; 1))) + \max(t_r; |k_2 - k_1| t'_p) \min(|k_2 - k_1|; 1)$$

$$= t'_h (|i_2 - i_1| + \min(|k_2 - k_1|; 1) (2 \min(i_2 - i_1) + \max(t_r; |k_2 - k_1| t'_p)))$$

Le temps moyen de déplacement entre deux casiers peut donc être estimé par l'expression mathématique discrète suivante :

$$E(TB) = \max(A; t'_v |j_2 - j_1|)$$

Le temps moyen de double cycle est la somme du temps moyen de simple cycle et du temps moyen de déplacement entre les deux casiers de stockage et déstockage.

$$\overline{E(DC)} = \overline{E(SC)} + \overline{E(TB)}$$

On obtient l'expression suivante :

$$\overline{E(DC)} = \frac{4}{N^2 - 2N} \left[\sum_{k_1=1}^{M/2} \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{j_1=1}^{N_h} \sum_{k_2=1}^{M/2} \sum_{i_2=1}^{N_1} \sum_{j_2=1}^{N_h} \left[\begin{aligned} &\max(t'_h i_1 + \max(t'_p k_1; t_r); t'_v j_1) \\ &+ \max(t'_h i_2 + t'_p k_2; t'_v j_2) \\ &+ \max(t'_h |i_2 - i_1| + \min(k_2 - k_1; 1) (2t'_h \min(i_1; i_2) + \max(t_r; |k_2 - k_1| t'_p)); t'_v |j_2 - j_1|) \end{aligned} \right] - \sum_{k=1}^{M/2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_h} \max(t'_h i + \max(t'_p k; t_r); t'_v j) + \max(t'_h i + k t'_p; t'_v j) \right] \quad (15)$$

II.5.2 Modèle continue :

Selon **Bozer et White** [22], l'expression qui donne la moyenne de déplacement entre deux casiers aléatoires dans un fonctionnement en double cycle est :

$$\overline{E(TB)} = \frac{Max(t_v, t_h)}{3} + \frac{Min^2(t_v, t_h)}{6Max(t_v, t_h)} - \frac{Min^3(t_v, t_h)}{30Max^2(t_v, t_h)} \quad (16)$$

Si on a un autre système avec des déferents dimensions il faut ajouter le temps nécessaire pour le déplacement entre un casier de stockage vers an autre casier de déstockage (Time between (17)), au temps moyen de simple cycle $E(SC)$ qui correspond au système étudié.

On faire une application sur le cas N^2 ($t_p < t_r < t_h$) :

$$E(DC) = E(TB) + E(SC)$$

$$E(DC) = t_h + t_r + \frac{1}{2}t_p + \frac{\max(t_v, t_h)}{3} + \frac{\min^2(t_v, t_h)}{6\max(t_v, t_h)} + \frac{\min^3(t_v, t_h)}{30\max^2(t_v, t_h)} + \frac{\max(0, t_v - t_r)^3}{6t_h t_v} + \frac{\min(0, t_h + t_r - t_v)^3}{6t_h t_v} + \frac{t_v^3}{24t_p t_h} \quad (16)$$

$$+ \frac{(t_v - t_p - t_h)^3 \max(0, t_v - t_p - t_h) - (t_v - t_p)^3 \max(0, t_v - t_p) - (t_v - t_h)^3 \max(0, t_v - t_h)}{24t_p t_h t_v}$$

II.6 Ordonnancement efficace des requêtes de stockage/déstockage dans un AS/RS à racks glissants :

L'ordonnancement des requêtes a été identifié comme une décision de contrôle pouvant potentiellement améliorer le débit AS/RS dans des situations où la machine S/R est au maximum de son utilisation et où de nombreuses tâches des deux types sont dans la file [12]. Il existe de nombreuses méthodes possibles pour l'ordonnancement des requêtes, en particulier lorsqu'il est associé au problème de temps de cycle. Bien que le problème d'ordonnancement et de temps de cycle soit affecté par la stratégie de stockage choisie, son effet sur les performances est indépendant des incertitudes liées aux attributs. Aucune information statistique ou méthode de prévision n'est nécessaire pour prendre les décisions de contrôle.

Le premier problème est la sélection des casiers ouverts, La sélection d'un casier dépend de la stratégie d'attribution de stockage. Dans le cas d'une politique de stockage dédiée, les emplacements des requêtes de stockage sont prédéterminés, ce qui rend inutile le choix des casiers de stockage. Si plusieurs casiers possibles existent pour les requêtes de stockage, comme dans un stockage aléatoire ou basé sur des classes, la sélection d'un casier ouvert peut être incluse dans le problème d'ordonnancement. Pour les systèmes à navette unique, il a été démontré qu'une telle approche intégrée peut entraîner une augmentation du débit par rapport à l'ordonnancement avec stockage dédié [19].

Le modèle de temps de stockage que nous présentons dans cette section est similaire au modèle de temps de simple cycle développé par Bozer et White [22] pour la charge unitaire AS/RS. Les machines de stockage et déstockage se déplacent à la même vitesse sur deux surfaces rectangulaires parallèles de mêmes dimensions.

Pour une opération de stockage, une machine de stockage dans un rack AS/RS fonctionne exactement comme une machine S/R dans l'AS/RS à charge unitaire. Par conséquent, les résultats de Bozer et White [22], qui ont développé les expressions de temps de cycle attendues pour une charge unitaire, peuvent être utilisés pour représenter le temps de déplacement prévu d'un simple cycle en tant que :

$$E(SC) = T \left(\frac{b^2}{3} + 1 \right) \text{ où } T = \text{Max}(t_v, t_h)$$

$$b = \text{Min}\left(\frac{t_v}{T}, \frac{t_h}{T}\right)$$

Le temps de déstockage prévu pour l'AS/RS à rack donné par Sari et al. [21] peut être écrit comme suit :

$$E(\text{RC}) = T\left(\frac{b^2}{3} + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} \cdot p \cdot M\right) \quad \text{Pour} \quad \frac{1}{M} \leq p \leq 1.$$

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

Xuan T.tran et al. [15] proposé une méthode utilisée pour trouver l'ordonnancement optimale des requêtes de stockage et de déstockage dans chaque groupe des arrivées. Etant donné qu'une liste de requêtes se compose de M requêtes de stockage et de M requêtes de déstockage, la méthode pour trouver l'ordonnancement optimale est exprimée dans les étapes suivantes :

Étape 1 : Répertorie tous les ordonnancements possibles de toutes les requêtes.

Étape 2 : Calculez la fonction de coût (temps de parcours) de chaque ordonnancement possible.

Étape 3 : L'ordonnancement avec un coût minimal est sélectionné comme un ordonnancement optimal.

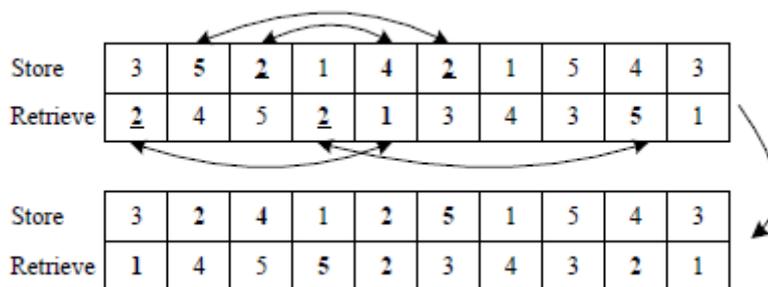


Figure 2. 5 : Changement les emplacements des requêtes

II.6.1 L'approche proposée :

Dans cette section on a présente un algorithme qui minimise le temps de simple cycle requis pour exécuter les requêtes de stockage/déstockage dans un système donné, Cet algorithme exige en premier la génération des requêtes de stockage/déstockage selon l'allée ouvert dans le système.

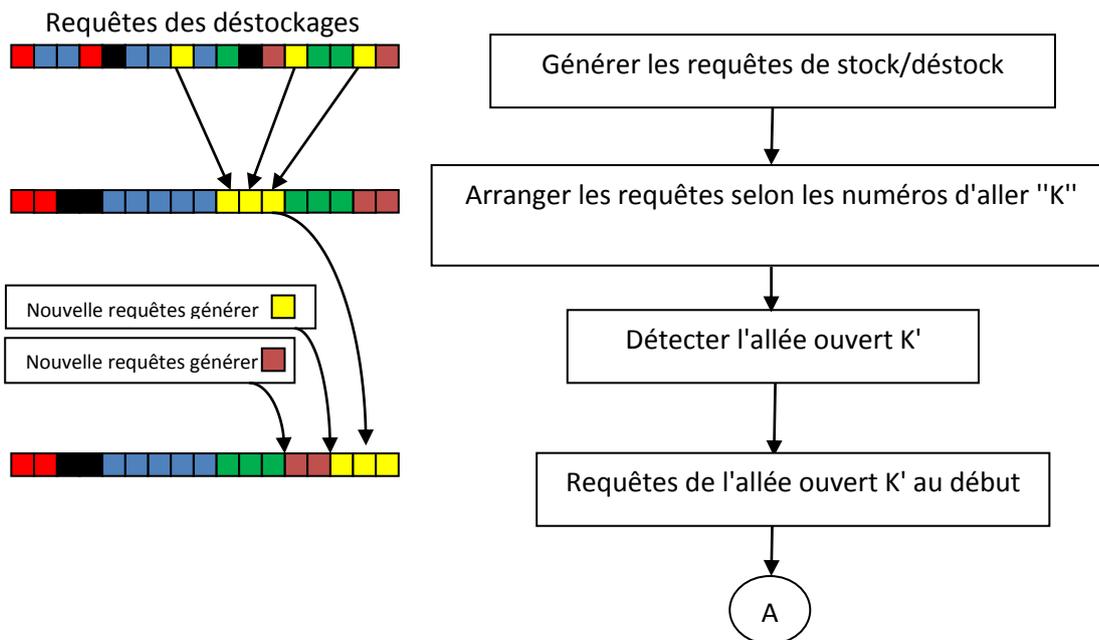
- La station D/L est située dans le coin inférieur gauche du système.
- La machine S/R est capable de se déplacer simultanément verticalement et horizontalement à des vitesses constantes. Ainsi, le temps de parcours nécessaire pour atteindre n'importe quel casier du système est approximativement déterminé par le déplacement Tchebyshev.
- La machine S/R a une seule navette et ne peut fonctionner que dans simple ou double cycle.

Algorithme :

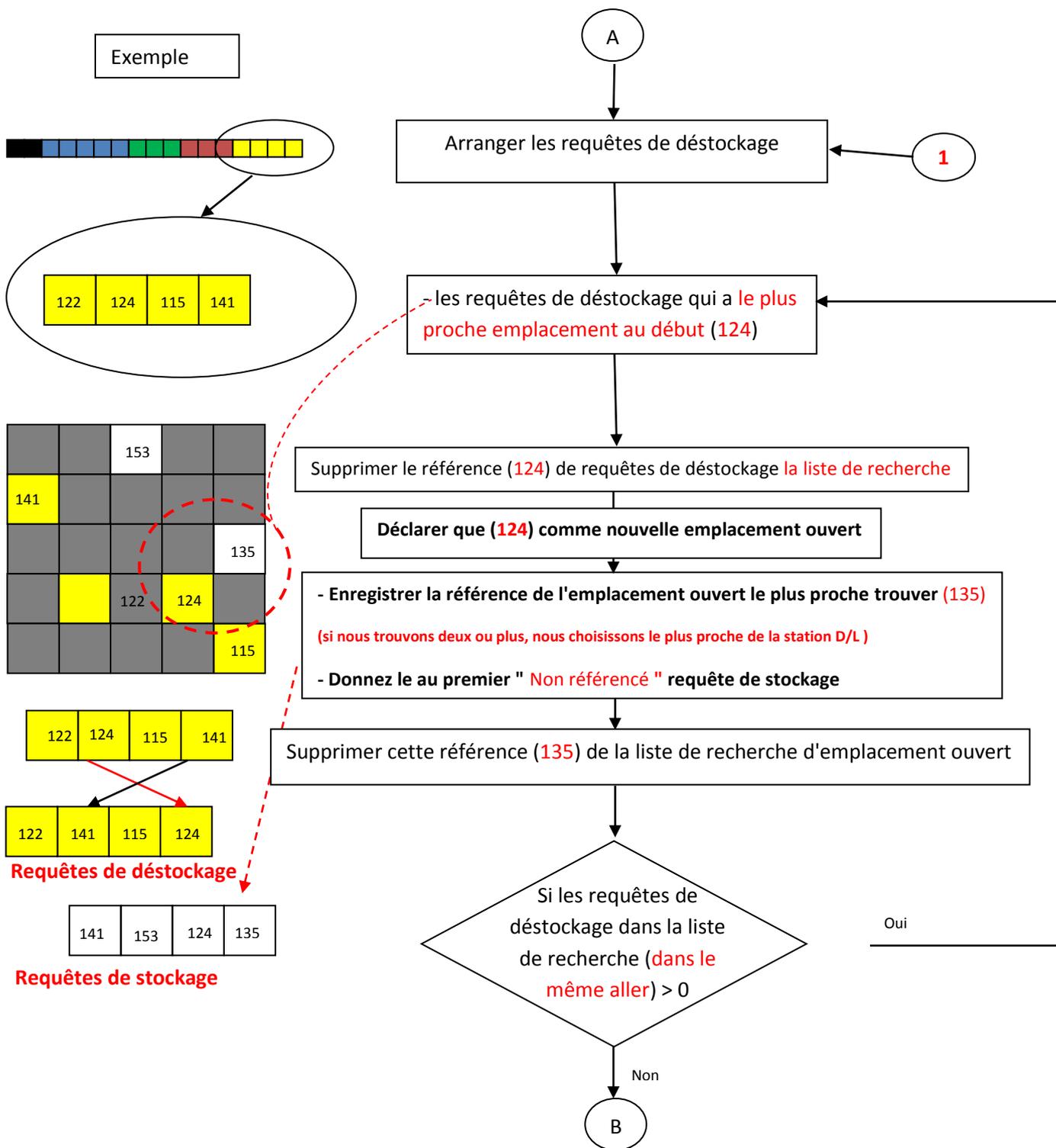
L'algorithme est un moyen pour le programmeur de présenter son approche du problème à d'autres personnes. En effet, un algorithme est l'énoncé dans un langage bien défini d'une suite d'opérations permettant de répondre au problème. Un algorithme doit donc être :

- Lisible : l'algorithme doit être compréhensible même par un non-informaticien
- Précis : chaque élément de l'algorithme ne doit pas porter à confusion, il est donc important de lever toute ambiguïté
- Concis : un algorithme ne doit pas dépasser une page. Si c'est le cas, il faut décomposer le problème en plusieurs sous-problèmes
- Structuré : un algorithme doit être composé de différentes parties facilement identifiables

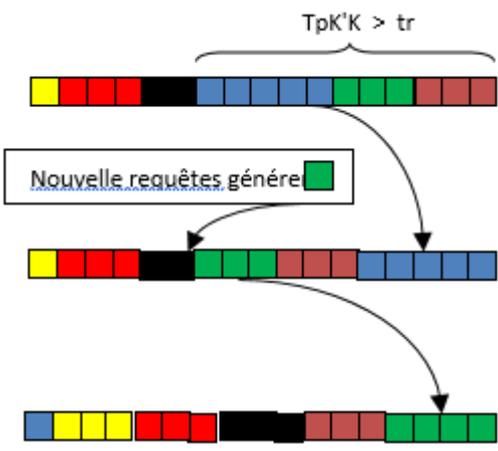
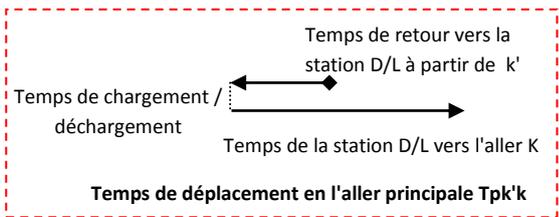
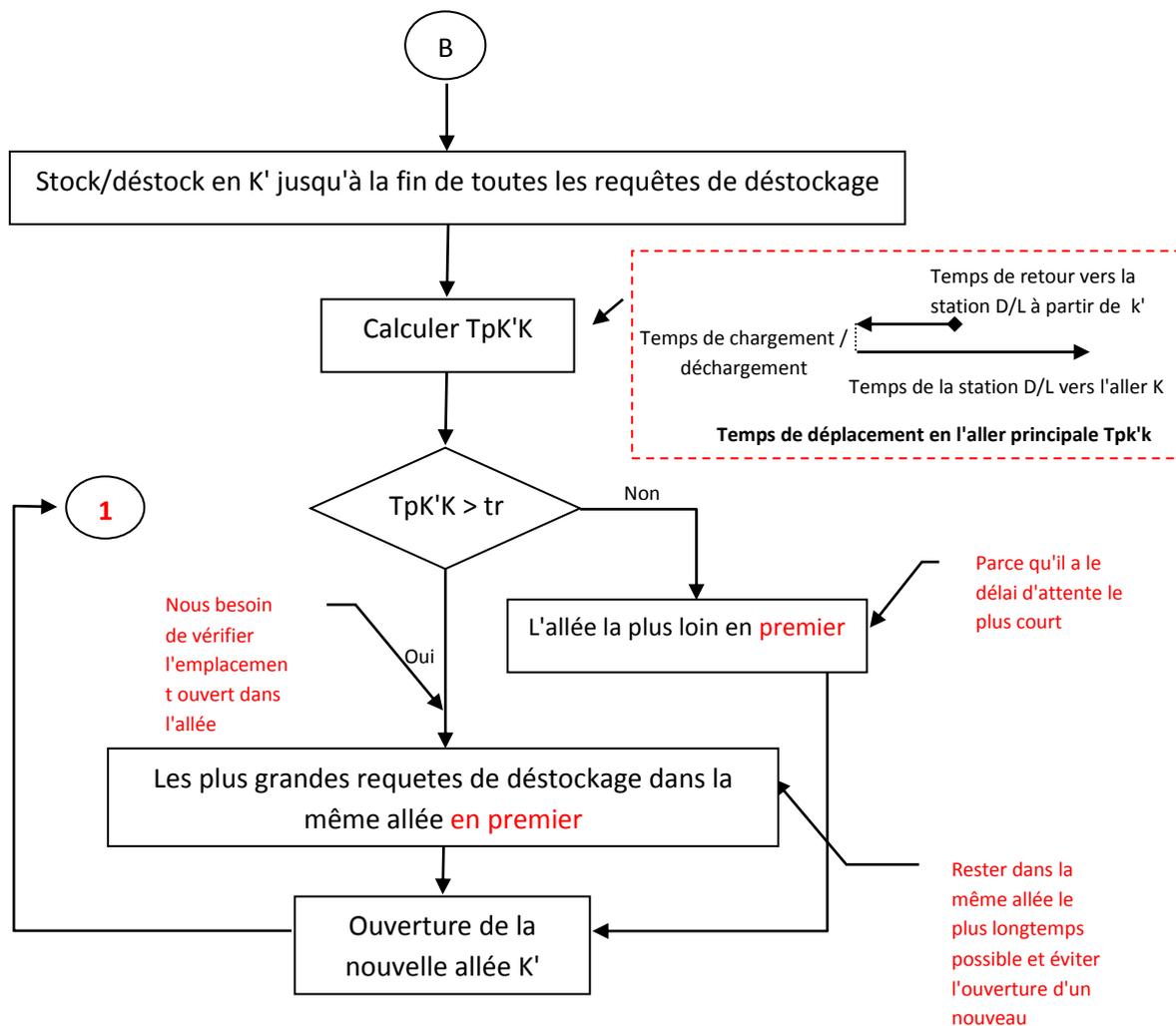
Notre algorithme concerne la génération des requêtes avant de faire une opération de stockage ou déstockage dans un AS/RS à rack glissant AS/RS à rack glissant, nous avons présenté le comme suite :



Algorithme : Algorithme proposé pour la génération des requêtes



Algorithme : Algorithme proposé pour la génération des requêtes



Algorithme : Algorithme proposé pour la génération des requêtes

II.6.2 Exemple d'application :

Pour faire une petite expérience sur cet algorithme nous avons créé un système sur Excel qui contient 250 casiers et on a calculer le temps de cycle aléatoire et le temps de cycle selon l'algorithme, S'est passé comme suite :

- **Les casiers référencés :**

Tableau 2.1 : Ensemble des casiers référencés dans un AS/RS

151	152	153	154	155	251	252	253	254	255	351	352	353	354	355	451	452	453	454	455	551	552	553	554	555	651	652	653	654	655
141	142	143	144	145	241	242	243	244	245	341	342	343	344	345	441	442	443	444	445	541	542	543	544	545	641	642	643	644	645
131	132	133	134	135	231	232	233	234	235	331	332	333	334	335	431	432	433	434	435	531	532	533	534	535	631	632	633	634	635
121	122	123	124	125	221	222	223	224	225	321	322	323	324	325	421	422	423	424	425	521	522	523	524	525	621	622	623	624	625
111	112	113	114	115	211	212	213	214	215	311	312	313	314	315	411	412	413	414	415	511	512	513	514	515	611	612	613	614	615

- **Affectation des requêtes d'une manière aléatoire FIFO :**

Tableau 2.2: Ensemble des opérations de stockage/déstockage selon l'affectation aléatoire

Opération DC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
stockage	142	141	125	235	213	245	251	153	252	323	443	434	421	445	532	433	642	634	523	611
déstockage	231	134	123	211	255	143	132	233	244	421	444	342	531	425	414	635	554	415	522	521

- **Résultats obtenus :**

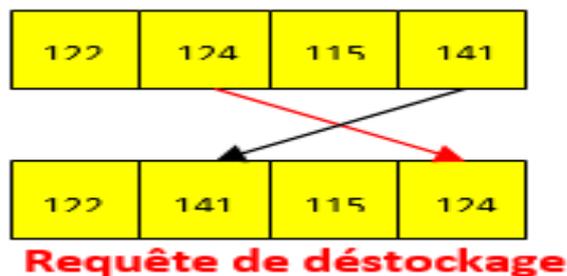
Tableau 2.3 : Temps de cycle aléatoire de 20 opération stock/déstock

	Aleatoire (FCFS)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	8	19	29	39	51	62	72	82	93	103	112	122	139	156	180	206	226	257	273	287

- Affectation des requêtes selon l'algorithme :

Tableau 2.4: Ensemble des opérations de stockage/déstockage selon l'algorithme

Selon l'algorithme		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
stockage		213	141	142	125	153	251	235	245	252	421	323	434	443	433	445	611	523	532	534	642
déstockage		211	123	132	231	233	134	143	244	255	342	421	414	444	415	425	521	522	531	554	635



après d'ordonnancé les requete de déstockage selon la dernière opération de stockage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
stockage		213	141	142	125	153	251	235	245	252	421	323	434	443	433	445	611	523	532	534	642
déstockage		211	231	132	123	143	233	134	255	244	342	421	414	444	425	415	521	522	531	635	554

- Résultats obtenus :

Tableau 2.5 : Temps de cycle de 20 opérations obtenues selon l'algorithme

Algorithmique		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		6	15	24	35	46	57	68	79	91	100	108	119	133	148	166	178	193	209	228	248

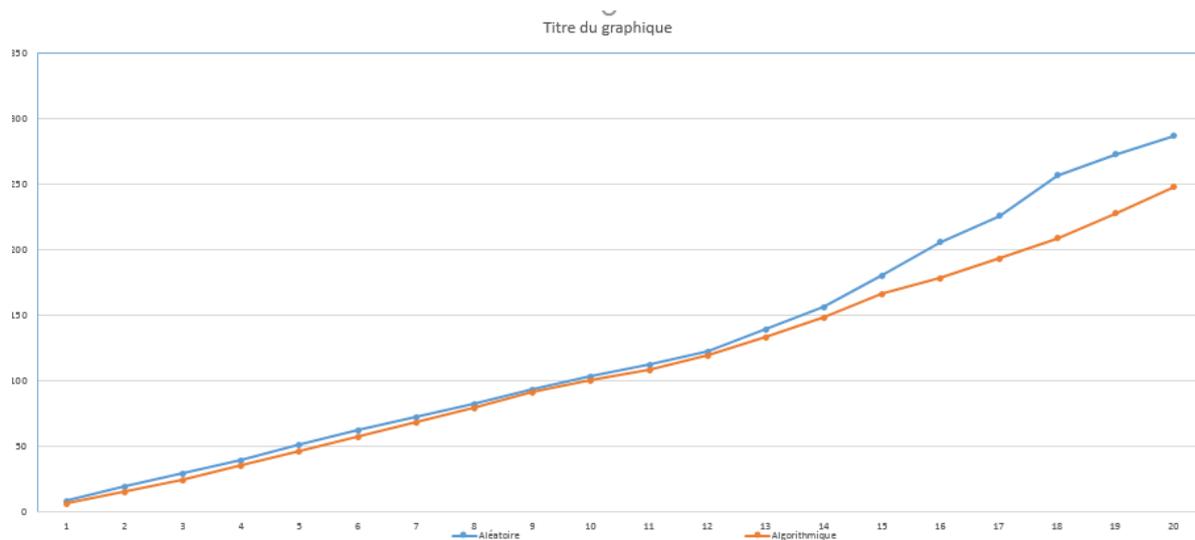


Figure 2. 6 : Comparaison entre les résultats aléatoire et algorithmique

La **figure 2.6** représente une comparaison des résultats de temps de cycle (l'axe verticale) après l'affectation des requêtes aléatoirement et selon l'algorithme proposé de 20 opérations (l'axe horizontale)

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté dans la première partie de façon plus détaillée les AS/RS à racks glissants leur définition et leur fonctionnement, et après nous avons abordé la formulation mathématique de temps de cycle qui est développé par **Guezzen** [4] et les le modèle discret qui est développé par **Sari** [8]. Nous avons présenté, en deuxième partie de ce chapitre le rôle de l'ordonnancement des requêtes dans un AS/RS et l'algorithme proposé pour générer les requêtes pour minimiser les temps de cycle d'un système.

Dans le chapitre suivant, nous allons utiliser le logiciel Arena pour la simulation et l'application de l'algorithme proposé dans ce chapitre.

Chapitre III :
Simulation d'un AS/RS à rack glissant
selon l'algorithme proposé

III.1 Introduction :

Le terme simulation est dérivé du mot latin « simulare » qui signifie feindre, donc l'action de simuler consiste à faire apparaître comme réelle qui ne l'est pas, cela consiste à d'implanter un modèle simplifié du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat.

C'est une technique largement utilisée pour l'évaluation des performances, elle présente l'avantage par rapport aux méthodes analytiques de traduire d'une manière plus réaliste le comportement du système à évaluer.[23]

Les techniques de simulation sont devenues, dans le courant des dernières années, incontournables dans le processus de conception, d'analyse et d'amélioration des systèmes.

Quel que soit le domaine d'application (services, production manufacturière...), la simulation se montre comme un outil efficace pour l'étude de tout système dynamique possédant une grande interactivité et complexité, et dont l'incertitude des paramètres et des variables rend très difficile l'utilisation d'autres approches analytiques classiques.

Dans ce chapitre nous allons donner une approche sur la simulation de terme générale, puis nous allons donner la simulation d'un AS/RS à rack glissant selon l'algorithme proposé, le logiciel utilisé est ARENA/SIMAN.

III.2 Définition de la simulation :

Selon certains chercheurs la simulation est :

- « ...l'art et la science de la création d'une représentation d'un processus ou d'un système dans le but d'expérimenter et d'évaluer » [23]
- « ...le processus de conception d'un modèle d'un système réel et de conduite d'expérimentations source modèle dans le but de comprendre le fonctionnement et/ou d'évaluer différentes stratégies de pilotage » [24]

Une définition générale et plus simple de la simulation « La simulation est un outil utilisé par le chercheur, l'ingénieur, le militaire etc. pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. »

La simulation correspond à un vaste ensemble de méthodes et d'applications pour imiter le comportement du système réel, généralement sur un ordinateur avec le logiciel approprié. En fait, « la simulation » peut être extrêmement un terme général puisque l'idée s'applique à travers beaucoup de domaines industries, et de l'application. Ces jours, la simulation est plus populaire et plus puissante que jamais puisque les ordinateurs et mieux que jamais.

En fait, la simulation peut être un terme extrêmement général puisque l'idée s'applique à travers beaucoup d'industries de champs (domaines) et la demande (l'application).

III.2.1 Objectif de simulation :

A l'heure actuelle, les recherches concernant les méthodes et outils formels relatifs à l'analyse du comportement des systèmes dynamiques hybrides et à la synthèse de leurs lois de commande en sont encore à leurs débuts[24]. La simulation reste donc un passage obligé lorsque l'on envisage :

- d'aider à la conception d'une installation et de valider cette conception,
- de valider le modèle élaboré (dans un but de prévision, par exemple) pour une installation existante,
- de valider la commande conçue pour une installation. La simulation a ainsi pour objectif de détecter les erreurs dans les modèles élaborés avant d'implanter la commande correspondante. Il ne faut cependant pas perdre de vue qu'une simulation n'est qu'une représentation de la réalité et non la réalité elle-même... avec toutes les précautions que cela induit lors des premiers essais de fonctionnement.

III.2.2 Simulation numérique :

Lorsque l'outil de simulation utilise un ordinateur on parle de simulation numérique. La simulation numérique est l'un des outils permettant de simuler des

phénomènes réels, appelée aussi simulation informatique, elle désigne un procédé selon lequel on exécute un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler par exemple un phénomène physique complexe (par exemple : chute d'un corps sur un support mou, résistance d'une plateforme pétrolière à la houle, fatigue d'un matériau sous sollicitation vibratoire, usure d'un roulement à billes...).

La simulation fait allusion aux méthodes pour faire les études sur une large variété de modèles par l'évaluation numérique en utilisant le logiciel qui a été destinée à imiter les opérations du système ou ces caractéristiques. D'un point de vue pratique, la simulation est le processus de conception et de création d'un modèle informatisé de système réel ou proposé pour le but d'accomplir des expériences numériques pour nous donner une meilleure compréhension de la conduite de ce système pour un ensemble donné des conditions. Bien que soient peut être utilisé pour étudier le système simple, la puissance active de cette technique est complètement réalisée quand nous l'utilisons pour étudier le système complexe.

Pendant que la simulation peut ne pas être le seul instrument nous pourrions utiliser pour étudier le modèle, c'est souvent la méthode pour le choix. La raison pour cela est que l'on peut permettre que le modèle de simulation devienne tout à fait complexe.

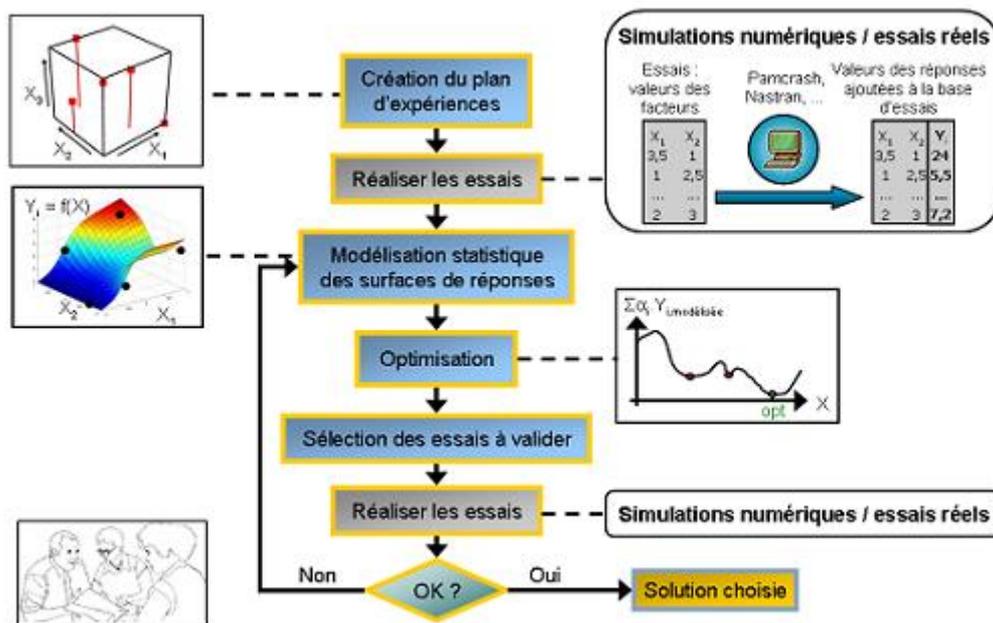


Figure 3.1 Méthodologie de simulation numérique

➤ **Différents types de simulations numériques :**

La réalité du comportement que l'on veut simuler s'obtient à l'aide d'un **modèle mathématique** qui traduit ce comportement sous forme d'un système d'équations à résoudre. Cette résolution s'effectue, soit sous forme analytique (résolution à l'aide de fonctions mathématiques qui conduit à une ou plusieurs formules explicites directement utilisables pour donner la solution), soit sous forme numérique lorsqu'il n'existe pas de développement analytique possible ou lorsque le nombre d'équations est trop important.

Dans ce dernier cas, le système d'équations est résolu de manière approchée par des techniques numériques, notamment des techniques de « discrétisation » qui permettent d'appréhender le comportement d'un milieu continu par une discrétisation de ce milieu (en limitant la résolution en un certain nombre de points du milieu, le nombre infini de points étant réduit à un nombre fini, ces points correspondant aux inconnus du système d'équations à résoudre).

Les principales méthodes numériques connues sont les méthodes par éléments finis (les plus répandues), par différences finies, par volumes finis, par équations intégrales.

➤ **Les principaux types de modèles :**

- **Simulation du fonctionnement** pour ce qui concerne la prédiction des performances en service (vitesse, accélération, effort, énergie, précision, bruit, débit...);
- **Simulation de la tenue en service** pour prédire la défaillance sous l'effet des sollicitations extérieures sur le système (dimensionnement). On pourra se reporter à l'article qui traite de l'analyse de l'offre des logiciels de modélisation des structures pour plus de précisions ;
- **Simulation des procédés** pour prédire les performances de fabrication du système et de ses composants

- **Statique & dynamique** : le temps ne joue pas de rôle indispensable dans les modèles statiques contrairement aux modèles dynamiques. La plupart des modèles opérationnels sont dynamiques.
- **Continu & discret** : dans un modèle continu, l'état de système peut changer constamment au cours du temps. Dans un modèle discret, le changement peut se produire seulement aux points séparés à temps, comme dans un système industriel avec l'arrivée de produits et le départ dans des temps donnés, On peut avoir des éléments du changement tant continu que discret dans le même modèle, que l'on appelle des modèles discret-continus hybrides.

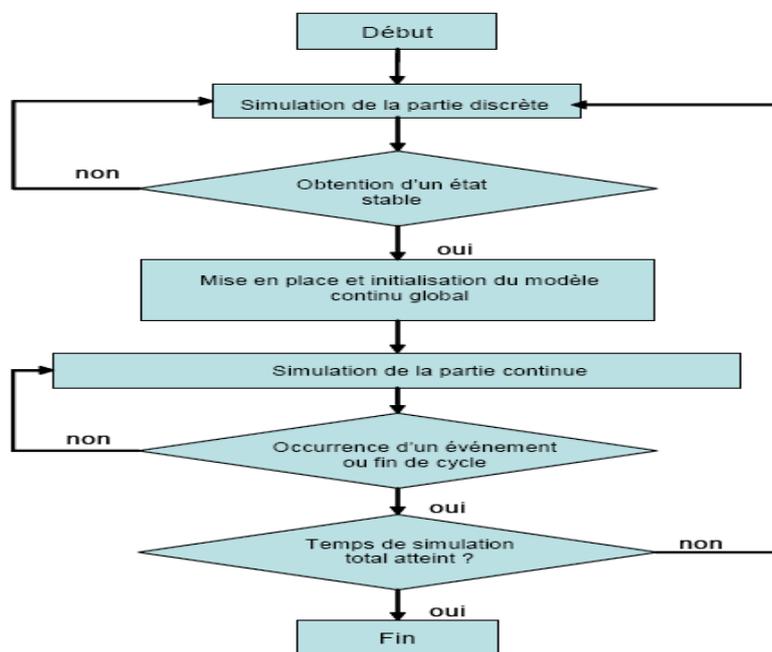


Figure 3.2 Architecture générale d'une simulation discrète-continu

- **La simulation à évènements discrets** : Dans une simulation à évènements discrets, les variables d'état que l'on désire connaître à tout instant sont discrètes. L'ensemble des valeurs que ces variables peuvent prendre constitue l'espace d'état du système. Il s'ensuit que l'espace d'état est dénombrable ou fini. Du fait de sa définition, on remarque que chaque changement d'état où événement se produit d'une manière discrète dans le temps à des instants que l'on appelle des dates d'évènement. En général les évènements sont contingents, c'est-à-dire que leur occurrence dépend de l'évolution du système et donc d'autres évènements

antérieurs. Néanmoins, il peut exister des événements dits déterminés qui ont lieu à certains instants prédéfinis par une horloge du système.

III.2.3 Méthodologie générale de simulation :

On distingue classiquement quatre phases distinctes :

- La modélisation.
- La programmation.
- L'expérimentation.
- Interpretations des résultats.

III.3 Présentation du logiciel utilisé « Arena » :

Pour valider l'algorithme proposé dans le chapitre précédent nous avons choisi de faire une simulation du système étudiée AS/RS à racks glissants en utilisant le logiciel de Arena de Rockwell Software.

Arena est un outil facile à utiliser, puissant qui permet de créer et réaliser des expériences sur des modèles animée de systèmes. Il a été développé par la société Systèmes Modeling Corporation. Il est notamment dédié à la modélisation, simulation et animation des systèmes de production qui peuvent être représenté par une combinaison de flux. Le logiciel est basé sur les concepts de programmation orientée objet et de modélisation hiérarchique.

A l'aide d'ARENA on peut développer un projet complet de simulation. ARENA est un support intégré pour l'analyse des données d'entrée, la construction du modèle, l'exécution interactive, l'animation, la traçabilité et la vérification de l'exécution et l'analyse des sorties.

Les utilisateurs peuvent développer de nouveaux modèles dans la fenêtre du modèle, des nouvelles constructions de modélisation dans la fenêtre de template, identifier les caractéristiques des données d'entrée dans la fenêtre d'entrée et analyser les résultats de simulation dans la fenêtre de sortie.

Le choix de ce logiciel "Arena" revient essentiellement à sa réputation et son exploitation dans le monde universitaire comme il est montré dans la figure 3.3, tandis qu'il occupe 38 % de l'ensemble des logiciels utilisés. [24]

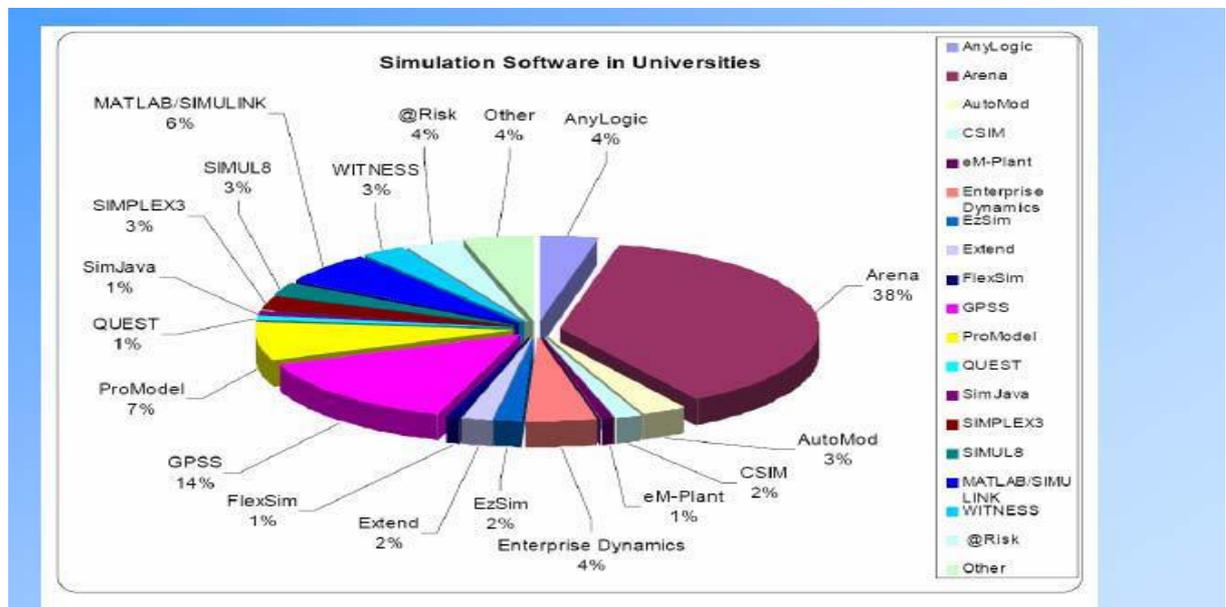


Figure 3.3 Taux d'exploitation du logiciel Arena dans le monde universitaire

III.3.1 Concepts de simulation Arena :

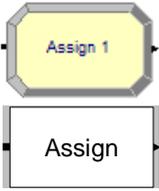
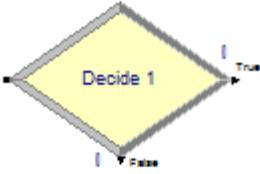
Le modèle représente le cœur de la simulation. C'est une véritable maquette du système étudié où l'on retrouve les hommes, les machines, l'ensemble des composantes physiques ou logiques qui interagissent lors du fonctionnement, le logiciel Arena permet d'intégrer les concepts qui nous aident à modéliser le système étudié tels que :

- Les entités et attributs ;
- Queues Ressources ;
- Les régulateurs ;
- Stockages ;
- Les tanks de stockage et de réactions ;
- Convoyeurs ;
- Transporteurs.

III.3.3 Modules utilisés dans la simulation :

Dans le Tableau (**Tableau 3.1**), nous allons définir les blocs que nous avons utilisés pour la simulation de notre système.

Tableau 3.1 : Différents modules utilisés pour la simulation du système.

Les modules	Description
	le bloc Create permet de créer les requêtes de stockage/déstockage
	Bloc Assigne permet d'assigner une valeur, notamment, à un attribut ou à une variable
	Le bloc décide permet de diriger le flux d'entités parmi plusieurs destinations. Il inclut l'option pour prendre une décision basée sur une ou plusieurs conditions.
	Le module Delay retarde une entité d'une durée spécifiée. Lorsqu'une entité arrive à un module Delay, l'expression de délai est évaluée et l'entité reste dans le module pour la période de temps résultante.
	Un bloc Dispose permet de modéliser une sortie d'entité du modèle.
	Le bloc Tally enregistre le nombre d'observations de valeur dans Tally ID (compter le nombre d'entités traversant le bloc et recueillir les temps mis par les entités traversant une partie d'un modèle).

	<p>Le module Delay retarde une entité d'une durée spécifiée. Lorsqu'une entité arrive à un module Delay, l'expression de délai est évaluée et l'entité reste dans le module pour la période de temps résultante.</p>
	<p>Le module Station définit une station (ou un ensemble de stations) correspondant à un emplacement physique ou logique où le traitement a lieu. Si le module Station définit un ensemble de stations, il définit efficacement plusieurs emplacements de traitement.</p>
	<p>Le module Request affecte une unité de transport à une entité et déplace l'unité vers l'emplacement de la station de l'entité. Une unité de transport spécifique peut être spécifiée ou la sélection peut se produire sur la base d'une règle. Lorsque l'entité arrive au module de Request, un transporteur lui est affecté lorsqu'il est disponible. L'entité reste sur le module Request jusqu'à ce que l'unité de transport ait atteint la station de l'entité. L'entité quitte ensuite le module Request.</p>
	<p>Le module de transport transfère l'entité de contrôle à une station de destination. Après le délai requis pour le transport, l'entité réapparaît dans le modèle à la station module. Les transporteurs à parcours libre sont toujours déplacés vers la même destination de station que l'entité.</p>
	<p>Le module Free libère l'unité de transport la plus récemment attribuée à l'entité. Si une autre entité attend dans une file d'attente pour demander ou attribuer le transporteur, le transporteur sera donné à cette entité. S'il n'y a pas d'entité en attente au moment où l'unité de transport est libérée, le transporteur attendra au repos à l'emplacement de la station de l'entité de libération, sauf indication contraire dans le module Transporteur.</p>
	<p>L'élément Networks répertorie tous les liens à inclure lors de la définition d'une carte système que suivent les transporteurs guidés. SIMAN génère automatiquement une table de distance la plus courte entre toutes les intersections du réseau en utilisant les informations fournies dans les éléments INTERSECTIONS, LINKS et NETWORKS. Tous les mouvements du transporteur dans le modèle suivent ces trajets les plus courts définis par la carte du système.</p>
	<p>L'élément Links définit les caractéristiques d'un chemin de transport guidé entre un nom d'intersection de début de pair d'intersection et un nom d'intersection de fin.</p>
	<p>L'élément Intersections définit les caractéristiques de toutes les intersections dans un système de transporteur guidé. Le numéro d'intersection ou le nom de l'intersection peut être utilisé dans les blocs de transport (REQUEST, TRANSPORT, etc.) et dans l'élément LINKS.</p>

<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Stations</div>	L'élément Stations spécifie le nombre total de stations, leurs noms, leurs intersections et / ou recettes associées et leur zone d'activité associée.
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Remove</div>	Le bloc Remove supprime l'entité à une position définie par le rang de l'entité résidant dans Queue ID et l'envoi à l'étiquette de bloc définie par l'opérande Destination d'entité supprimée. Pour notre système on a utilisé le bloc Remove pour supprimer la requête de stockage.
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Queue</div>	Le bloc QUEUE est utilisé pour modéliser un espace d'attente avant un bloc SELECT ou un bloc de type Hold (REQUEST). Les blocs QUEUE peuvent avoir une capacité spécifiée, et l'entité arrivant s'arrête au bloc de l'étiquette Balk Label lorsque la file d'attente est pleine
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Queues</div>	L'élément QUEUES spécifie le nombre total de files d'attente avec leurs noms, critères de classement et bloc de modèle associé QUEUE.

III.4 Simulation d'un AS/RS à rack glissant :

Notre travail consiste à simuler le système dans le mode aléatoire et après appliqué l'algorithme proposé pour voir la différence entre le stockage/déstockage des requêtes aléatoirement et après de générer les requêtes en utilisons un certain module d'ARENA pour générer le circuit de la machine S/R afin d'estimer le temps de cycle totale.

La figure 3.4 ci-dessous montre l'animation graphique générée pour un circuit comportant 3 allées ayant chacune une profondeur de 7 casiers.

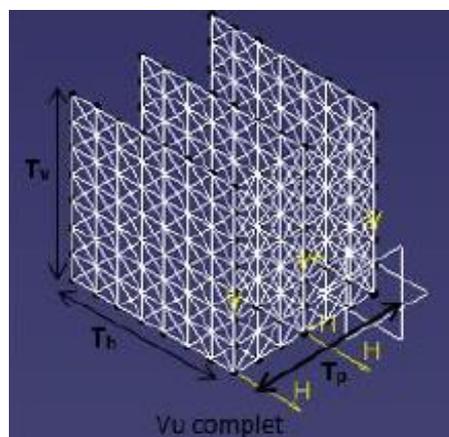


Figure 3.4 Animation graphique du circuit.

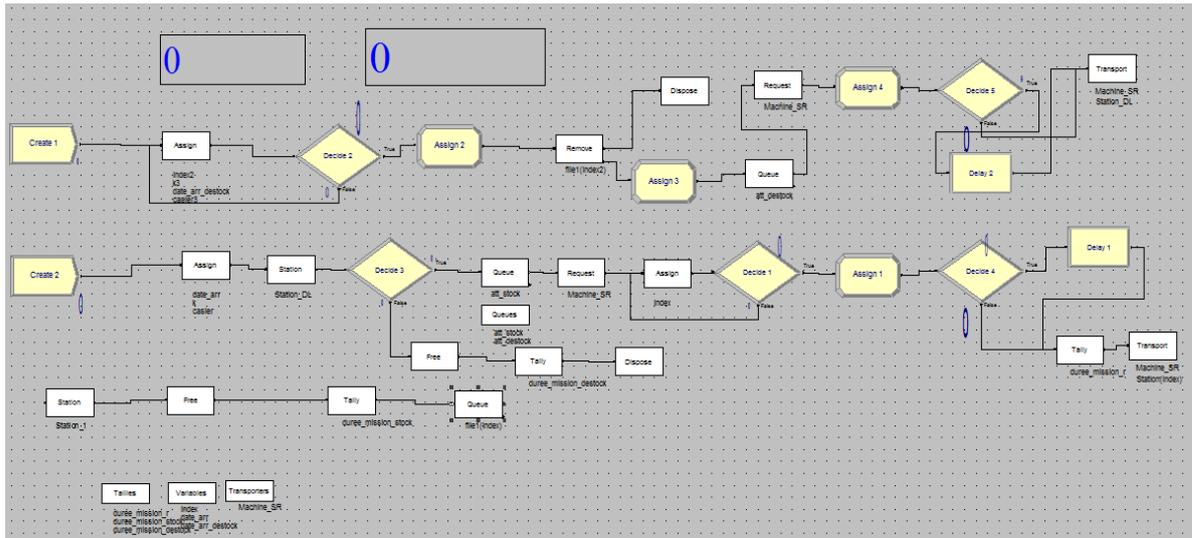


Figure 3.5 Modèle de simulation d'un AS/RS à rack glissant

III.4.1 Opération de stockage :

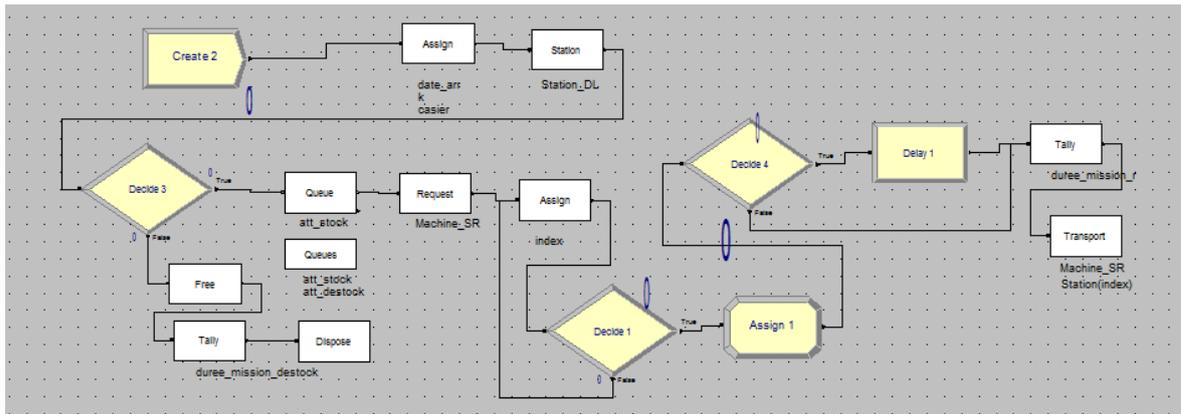


Figure 3.6 Affectation des requêtes de stockage

La Figure 3.6 représente le modèle utilisé pour créer les requêtes de stockage et les transportés vers les stations et la file d'attente (Figure 3.7)

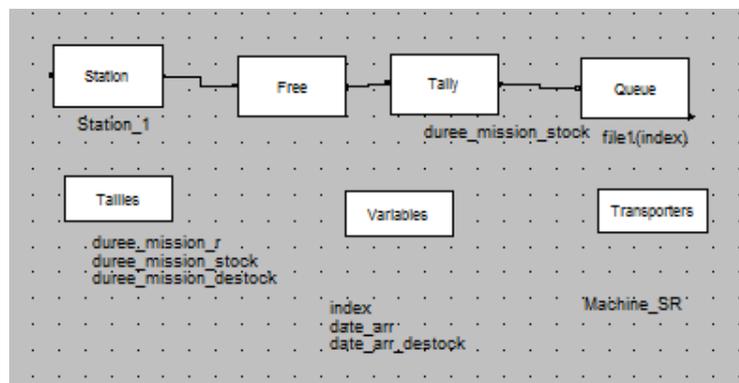


Figure 3.7 Réception et libération des requêtes

➤ **Stockage aléatoire :**

L'attribut **K** ($k = \text{disc}(1/k, 1, 2/k, 2, 3/k, 3, \dots, n/k, n)$) permis de transporté les arriver à l'un des allées.

La variable **date_arr** : calculer le temps des arrivées.

La variable **index** : dans un système de 150 station, **index** prend un numéro de 1 jusqu'à 150 par l'expression $\text{aint}(\text{ra} * 149 + 1)$.

➤ **Stockage selon l'algorithme :**

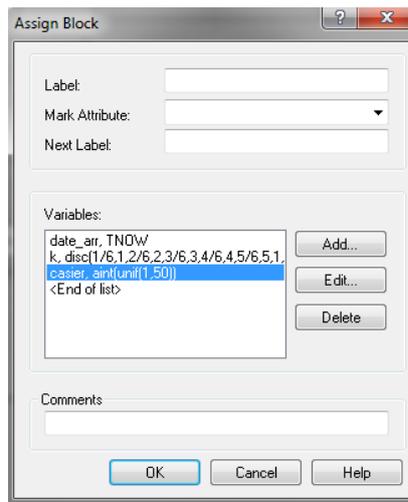


Figure 3.8 Contenu de bloc Assign (stockage)

L'attribut **Casier** qui fait la référencement des arrivées par l'expression $\text{aint}(\text{unif}(1, \text{nombre de casier dans l'allée } 1))$.

La déclaration de temps de glissement par l'expression qui définit l'allée ouvert et l'allée fermer $\text{MX}(0,6 - (\text{ABS}(k - \text{index} - \text{casier} - \text{casier}2 - k2)))$.

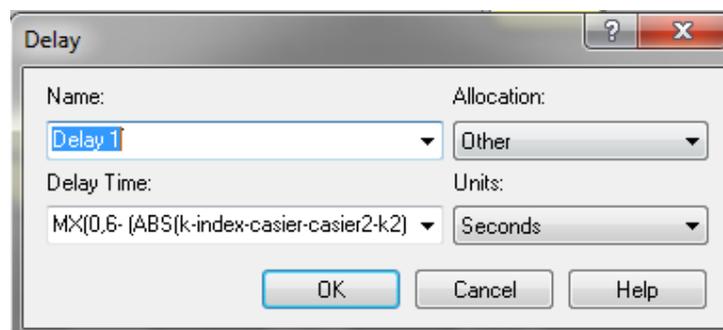


Figure 3.9 Contenu de bloc Delay

La variable **index** : dans un système de 150 station, **index** définie par l'expression $\text{aint}(\text{unif}(\text{INXNUM}(\text{Station}_1), \text{INXNUM}(\text{Station}_n)))$

III.4.2 Opération de déstockage :

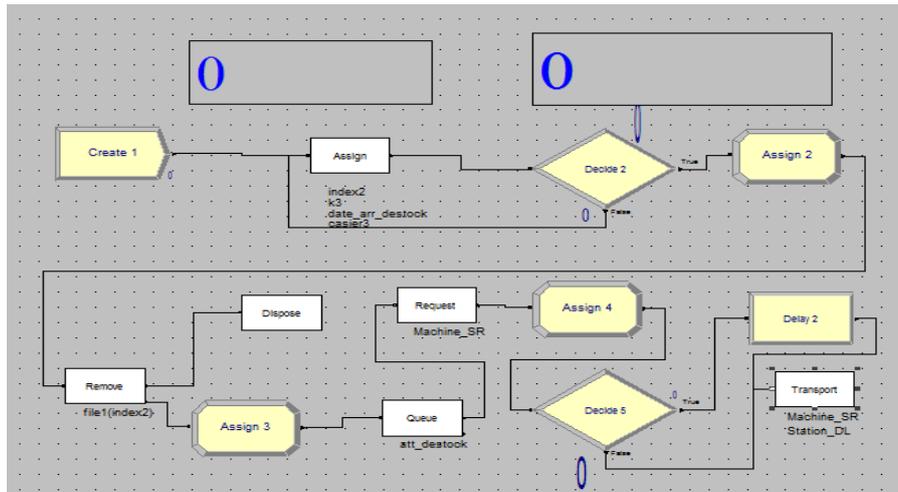


Figure 3.10 Modèles utilisés pour l'opération de déstockage

La Figure 3.10 représente le modèle utilisé pour créer les requêtes de déstockage et les transportés vers les stations pour la suppression des entités de la file d'attente (Figure 3.6).

➤ **Déstockage aléatoire :**

Figure 3.11 Création des requêtes de déstockage

L'opération de déstockage devrait attendre un peu de temps pour remplir les racks.

L'attribut **K3** ($k3 = \text{disc}(1/k, 1, 2/k, 2, 3/k, 3, \dots, n/k, n)$) permet de transporter les entités l'un des allées.

La variable **date_arr** : calculer le temps des arrivées.

La variable **index2** : dans un système de 150 stations, **index2** prend un numéro de 1 jusqu'à 150 par l'expression $\text{anint}(\text{ra} * 149 + 1)$.

➤ **Déstockage selon l'algorithme :**

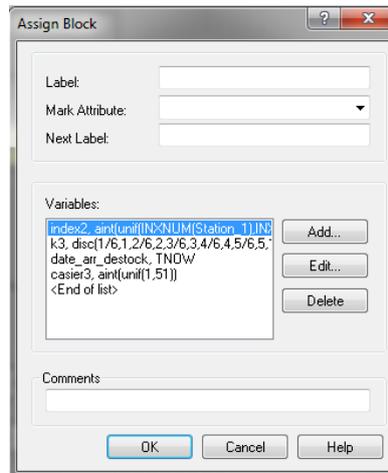


Figure 3.12 Contenu de bloc Assign (déstockage)

L'attribut **Casier3** qui fait la référence des entités par l'expression aint (unif (1, nombre de casier dans l'allée 1)).

La variable **index2** : dans un système de 150 station, **index2** définie par l'expression aint(unif(INXNUM(Station_1),INXNUM(Station_n)))

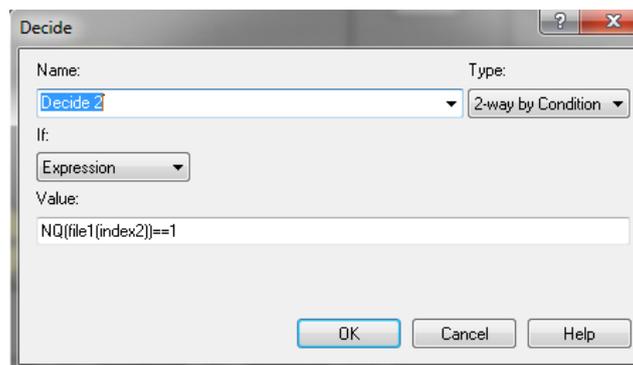


Figure 3.13 Contenu de bloc Decide

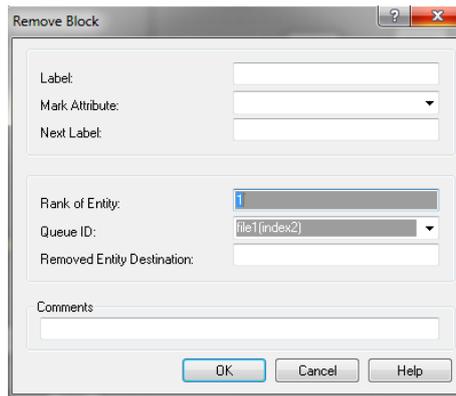


Figure 3.14 Contenu de bloc Remove

La **Figure 3.13** et **Figure 3.14** assurer la relation de remplacement entre **index** (entités de stockage qui déjà dans la file d'attente) et **index2** (entités de déstockage).

Le schéma suivant (**Figure3.15**) montre un exemple de création d'un réseau de circuit de la machine S/R compose de 6 allées et $N_h = N_L = 5$

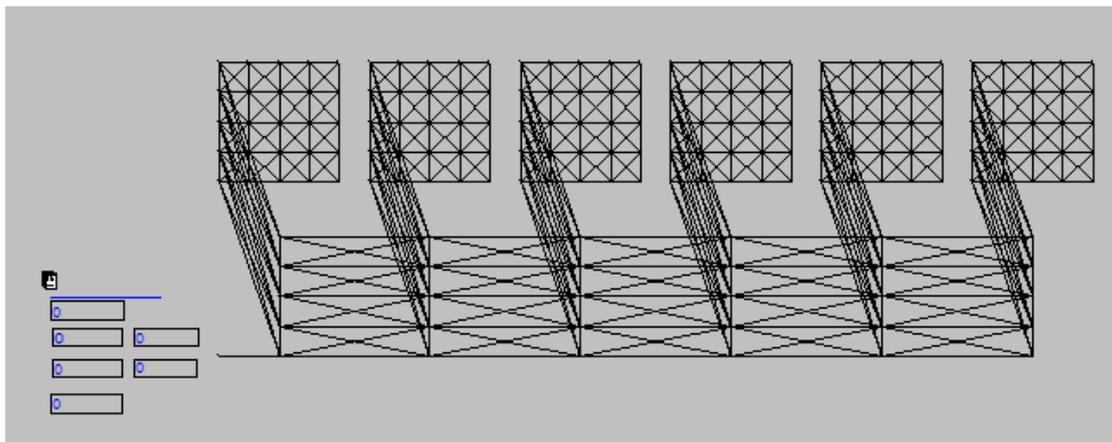


Figure 3.15 Schéma explicatif du système (Réseau de circuit de la machine S/R)

III.5 Résultats et interprétation :

Après l'établissement de modèle et les données nécessaires pour simuler ce système, nous effectuons plusieurs simulations sur des configuration déférent, la simulation donna un ensemble des résultats, qu'est recordé et résumés dans le **Tableau 3.2**, dans cette partie, nous comparons les résultats établit par la simulation aléatoire et celle établit par la simulation algorithmique, en calculant la déférence entre la simulation algorithmique et aléatoire ou bien le gain de temps qu'on a gagné après l'ordonnancement des requêtes.

Tableau 3.2 : Résultats obtenus par simulation aléatoire, algorithmique et analytique

Configuration	Simulation Aléatoire	Simulation Algorithmique	Analytique	Le gain en pourcentage
Nbr des requêtes = 1000 Nbrs d'allées = 2 Tp =100 Nh = 5 NL = 5 Tr =6	Stock = 239.99 Destock = 221.29 Moy =230.64	Stock = 195.55 Destock = 181.80 Moy =188.675	211.14	18.19%
Nbr des requêtes = 5000 Nbrs d'allées = 2 Tp =100 Nh = 5 NL = 5 Tr =6	Stock = 234.19 Destock = 229.61 Moy =231.9	Stock =188.85 Destock = 186.10 Moy = 187.47	207.35	19.15%
Nbr des requêtes = 10000 Nbrs d'allées = 2 Tp =100 Nh = 5 NL = 5 Tr =6	Stock =234.57 Destock = 231.78 Moy =233.175	Stock =188.52 Destock = 187.15 Moy = 187.835	209.24	19.55%
Nbr des requêtes = 15000 Nbrs d'allées = 2 Tp =100 Nh = 5 NL = 5 Tr =6	Stock =234.48 Destock = 232.28 Moy = 233.38	Stock =187.58 Destock = 186.66 Moy = 187.12	208.91	19.82%
Nbr des requêtes = 20000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =6	Stock =298.49 Destock = 290.67 Moy =294.58	Stock =247.26 Destock = 246.57 Moy = 246.915	260.54	16.18%
Nbr des requêtes = 50000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =10	Stock =297.74 Destock = 290.58 Moy =294.805	Stock = 246.11 Destock = 240.96 Moy =243.105	280.47	17.53%
Nbr des requêtes = 25000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =10	Stock = 298.67 Destock = 290.94 Moy =294.16	Stock =246.54 Destock = 239.67 Moy =243.535	270.35	17.27%

Nbr des requêtes = 20000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =20	Stock =301.65 Destock = 291.59 Moy =296.62	Stock =271.65 Destock = 269.32 Moy =270.485	291.74	8.81%
Nbr des requêtes = 30000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =20	Stock =361.88 Destock = 352.06 Moy = 356.97	Stock =309.97 Destock = 311.28 Moy =310.625	340.27	12.98%
Nbr des requêtes = 30000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =40	Stock =365.14 Destock = 353.15 Moy = 359.145	Stock = 320.81 Destock = 319.27 Moy =320.04	351.26	10.88%
Nbr des requêtes =20000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =40	Stock =365.22 Destock = 352.11 Moy = 358.665	Stock =319.35 Destock = 318.21 Moy = 318.78	349.35	11.12%
Nbr des requêtes = 20000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =60	Stock =369.61 Destock = 353.99 Moy = 361.8	Stock =321.96 Destock = 321.85 Moy =321.905	341.69	11.02%
Nbr des requêtes = 50000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =60	Stock =379.56 Destock = 364.60 Moy = 372.08	Stock =337.26 Destock = 337.01 Moy =337.135	357.98	9.40%
Nbr des requêtes = 20000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =100	Stock =388.35 Destock = 366.26 Moy = 377.305	Stock = 351.57 Destock = 350.98 Moy =351.275	356.77	6.89%
Nbr des requêtes = 40000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =100	Stock =387.60 Destock = 366.11 Moy = 376.855	Stock =345.67 Destock = 344.89 Moy =345.28	361.55	8.37%

Nbr des requêtes = 40000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =50	Stock =307.29 Destock = 293.52 Moy = 300.405	Stock =260.79 Destock = 260.12 Moy =260.455	285.37	13.29%
Nbr des requêtes = 20000 Nbrs d'allées = 4 Tp =200 Nh = 5 NL = 5 Tr =50	Stock =307.39 Destock = 293.00 Moy = 300.195	Stock =262.31 Destock = 261.93 Moy =262.12	286.41	12.68%
Nbr des requêtes =20000 Nbrs d'allées = 6 Tp =300 Nh = 5 NL = 5 Tr =40	Stock =355.22 Destock =342.11 Moy = 348.665	Stock =301.89 Destock = 301.22 Moy =301.555	325.92	13.51%

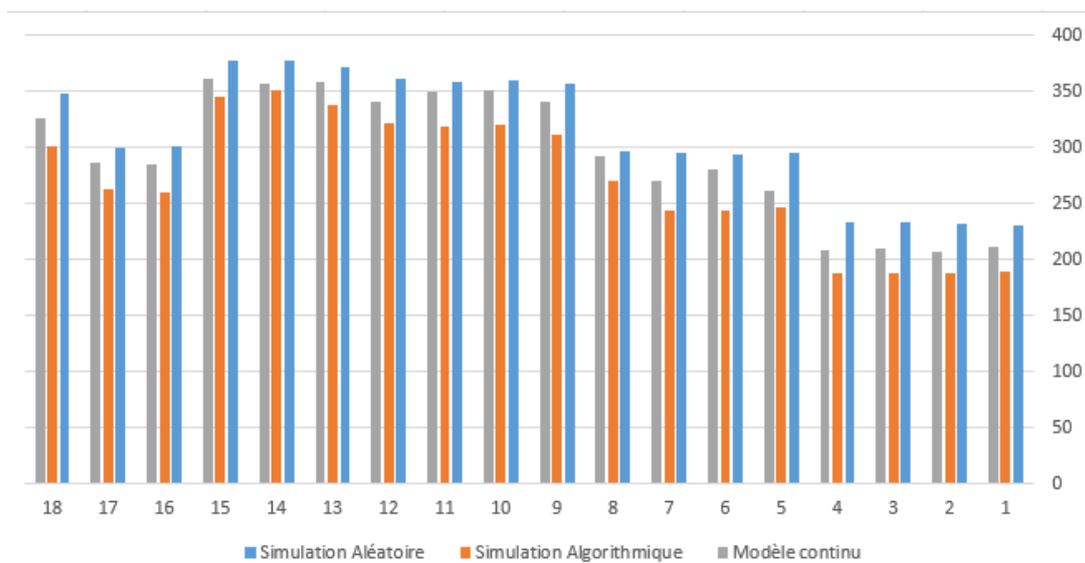


Figure 3.16 Comparaison entre les résultats de la simulation aléatoire, la simulation de l’algorithme développée et les résultats analytique.

La **Figure 3.16** représente une comparaison entre les résultats de la simulation aléatoire et algorithmique d’un AS/RS à racks glissants et les résultats analytiques, Nous avons remarqué que la simulation selon l'algorithme proposé qu’il ordonnance les requêtes des stockage/déstockage nous donne des résultats éloignés de celles de la simulation aléatoire avec un gain de temps qu'on a gagné compris entre 6.89% et

19.82% qui dépend à la configuration du système et la valeur de glissement des racks Tr.

III.6 Conclusion :

Dans cette partie du mémoire on a exploité les capacités du logiciel Arena pour la simulation d'un système AS/RS et pour l'application de l'algorithme proposé, Plusieurs résultats ont été obtenus en utilisant ces générateurs de modèles. Les résultats de la simulation de plusieurs configurations d'AS.RS à rack glissant ont permis de montrer que l'algorithme est efficace pour ces genres des systèmes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre intérêt dans ce mémoire est les systèmes automatisés de stockage/déstockage appelés AS/RS. Ces systèmes sont une solution technologique très répandue dans le domaine de l'industrie, et leur valeur ajoutée dans l'entreprises qui y font appel est très importante et pour attirer plus d'attention à ses systèmes en raison de ses avantages importants à savoir : une meilleure gestion de stock, réduction de la main d'œuvre, une utilisation minimale de l'espace de stockage, augmentation de la capacité de stockage, augmentation de la sécurité, une meilleure traçabilité des produits stockés. L'installation de ce genre d'équipement n'est pas une mince affaire, car en plus du choix du type de système, de sa taille, et de son implémentation afin de satisfaire au mieux les exigences d'un cahier des charges méticuleusement rédigé, la périphérie du système est quasiment aussi importante que l'entité elle-même.

Dans les environnements de fabrication et de distribution, les systèmes AS/RS sont utilisés pour stocker des produits et déstocker les produits stockés en réponse à des ordres de fabrication ou à des commandes de clients, Il existe plusieurs catégories importantes d'AS/RS et dans ce mémoire notre choix est porté sur l'AS/RS à racks glissants. Ce dernier se caractérise par l'existence de plusieurs racks qui se déplacent latéralement sur des rails de telle sorte qu'on puisse ouvrir une allée entre deux racks mitoyens dans laquelle la machine S/R circule. Ce type d'AS/RS est utilisé en particulier dans l'industrie pharmaceutique et dans les bibliothèques. Il permet une utilisation optimale de l'espace de stockage, en réduisant au minimum le nombre des allées de service.

Dans ce mémoire nous avons voulu ouvrir une brèche vers des travaux futurs, l'approche proposé passe de l'affectation des requêtes d'une manière aléatoire vers une affectation algorithmique, cette algorithmie montre une réduction du temps de simple cycle d'un AS/RS à rack glissant et par conséquent à l'amélioration du débit de sortie, qui correspond au nombre de produits délivrés par unité de temps.

Les résultats obtenus par la simulation sont très proches à ceux obtenus par le modèle analytique avec une erreur relative compris entre 6.89% et 19.82 %. Ce qui rend la simulation est fiable et utilisables pour développer ou bien calculer n'importe quel temps de simple cycle. L'avantage de cette méthode d'ordonnement est qu'elle donne le nombre minimum de cycles de la machine S/R permettant de satisfaire le lot de la demande des clients. Cette méthode d'ordonnement sont considérés comme une contribution à l'aide de décision, en tant qu'approche ou technique rend l'utilisation de ce système plus flexible et peu plus rapide et convivial

Ce projet de fin d'études vient donc ponctuer cinq années d'études au sein de l'université de Tlemcen, et plus précisément au niveau de la filière à recrutement national en génie industriel, nous avons acquis un savoir, que nos professeurs ont su nous inculquer, et à travers laquelle nous avons pu nous forger une identité professionnelle, à travers laquelle nous espérons être capable de faire valoir nos compétences sur le terrain.

Références bibliographiques

- [1] Roodbergen, K.J. and Vis, I.F.A. (2009), “A survey of literature on automated storage and retrieval systems”. *European Journal of Operational Research* 194(2), 343-362.
- [2] JEROEN P. V. and GADEMANN A. “Simulation study of an automated storage/retrieval system”, *int. j. prod. res.*, 2000, vol. 38, no. 6, 1339± 1356
- [3] Thomas A. and Lantschner D. “SIMULATIVE THROUGHPUT CALCULATION FOR STORAGE PLANNING Institute of Materials Handling, Material Flow, Logistics / Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik Technische Universität München
- [4] Guezzan. A.H., 2014 « Modélisation du temps de cycle d’un système automatisé de stockage/déstockage (AS/RS) multi-allées et à racks glissant ».
- [5]http://www.nuigalway.ie/staffsites/david_osullivan/documents/unit_9_automated_storage_systems.pdf
- [6] Kouloughli S., Sari, Z., Sari, T., 2008. “Optimisation des dimensions d’un AS/RS multi allées pour un temps de simple cycle optimal”. 7ème Conférence Internationale de modélisation et simulation MOSIM’08 Paris France
- [7] Guezzan A.H. Sari Z., “AN ANALYSIS OF SINGLE-COMMAND OPERATIONS IN A MOBILE RACK (AS/RS) SERVED BY A SINGLE ORDER PICKER” Université Abou-Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
- [8] Sari, Z., 2003. “Modélisation, analyse et évaluation des performances d’un AS/RS à convoyeur gravitationnel”. Thèse de doctorat d’état, Université de Tlemcen Algérie.
- [9] Charles J. Malmberg (2002) “Conceptualizing tools for autonomous vehicle storage and retrieval systems, *International Journal of Production Research*, 40:8, 1807-1822,
- [10] Kouloughli. S, Sari. Z., 2010, « Modélisation des temps de cycle d’un AS/RS à convoyeurs gravitationnel à une saule machine S/R. Conférence Internationale de MODélisation et SIMulation - MOSIM’10 - 10 au 12 mai 2010 - Hammamet - Tunisie

- [11] VICKY B. 2010 “WAREHOUSE SIMULATION AND ANALYSIS UNIVERSITY OF PRETORIA”
- [12] Pohjalainen A. 2015 “Control Policies of an Automated Storage and Retrieval System, université d'alto.
- [13] Hausman, W.H., Schéwarz, L. B., and Graves, S. C., 1976. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22 (6), 629- 638.
- [14] Graves, S.C., Hausman, W.H, Schwarz, L.B., 1977. “Storage retrieval interleaving .in automatic warehousing systems”, *Management Science*, vol. 23(9), p. 935-945
- [15] Xuan-Thuong T., Thanh-Do T. and Hwan-Seong K. “Local Search for Sequencing of Storage and Retrieval Requests in Multi-Shuttle Automated Storage and Retrieval Systems” IMECS 2014, March 12 - 14, 2014, Hong Kong
- [17] Bessenouci H.N., Sari.Z and Ghomri L. “Metaheuristic based control of a flow rack automated storage retrieval system”.
- [18] Wen W., Weiping F., Mingyun M. “Selection of AS/RS Scheduling Rules Based on Genetic Algorithm International Conference on Automation and Logistics” August 18 - 21, 2007, Jinan, China
- [19] Jean-Philippe G., Jacques R. and Angel R. “On Sequencing Policies for Unit-Load Automated Storage and Retrieval Systems”
- [20] Zhuxi Chen, Xiaoping Li & Jatinder N.D. Gupta (2015): Sequencing the storages and retrievals for flowrack automated storage and retrieval systems with duration-of-stay storage policy, *International Journal of Production Research*.
- [21] Sari, Z., Saying, C., Ghouali, N., 2005. “Travel time models for flow-rack automated storage/ retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 25, p. 979-987.
- [22] Bozer Y.A and White J.A., 1984. “Travel time for automated storage/ retrieval systems. *IIE transactions*, vol. 16, n°4, p. 329-338.
- [23] Pegden C. D. Introduction to SIMAN

[24] M. Yuri, P. Jelena, “ Discrete-Event Simulation: Methodology and Practice ”, [Support de cours, Department of Modelling and Simulation, Riga Technical University, Latvia, 2005], p. 41

[25] Ghomri, L., Sari, Z., Guezzan, A., Sari, T., 2008. Expression analytique du temps de cycle pour les AS/RS multi allées. 7ème Conférence Internationale de modélisation et simulation MOSIM'08 Paris France.

Résumé :

Dans ce travail nous nous intéressons aux systèmes automatisés de stockage/déstockage AS/RS à rack glissant. A travers les chapitres de ce mémoire, la définition, les avantages et les inconvénients des AS/RS ont été présentés, nous énoncerons aussi les principaux composants qui les constituent ainsi qu'une description des types d'AS/RS les plus répandus, nous exposons aussi un état de l'art en citant d'une façon global les travaux réalisés dans ce domaine de recherche, dans ce mémoire nous proposons une méthode d'ordonnancement efficace pour arranger les requêtes avant de les transporter par la machine S/R nous prenons en compte les configuration de système, L'objectif de la méthode d'ordonnancement proposée est d'affecter les requêtes dans les meilleurs emplacements dans le rack pour un lot de demande de clients et ceci en minimisant le temps de simple cycles de stockage/déstockage et par conséquent d'améliorer le débit du système.

Abstract:

In this work we are interested in the automated storage and retrieval systems AS/RS mobile-racks. Through the chapters of this thesis we have seen the definition, the advantages, the disadvantages have been presented, we will also state the main components that constitute them as well as a description of the most common types of AS/RS, we also expose a state of the art citing in a global way the work done in this area of research, in this thesis we propose an optimal scheduling method to arrange the requests before transporting them by the S/R machine we take in The purpose of the proposed scheduling method is to assign the requests in the best locations in the rack for a batch of customer requests and this by minimizing the time of single cycle storage/retrieval and therefore to improve the flow of the system.

ملخص:

في هذا العمل، نحن مهتمون بنظام التخزين والاسترجاع الأوتوماتيكي AS/RS مع رف متحرك. من خلال فصول هذه الأطروحة ، رأينا التعريف ، المزايا ، العيوب التي قد تم تقديمها ، كما سنذكر المكونات الرئيسية التي تشكلها وكذلك وصفاً لأنواع الأكثر شيوعاً من AS / RS ، كما نعرض في حالة من الفن الحديث على مستوى عالمي عن العمل المنجز في هذا المجال من البحث ، فإننا في هذه المذكرات نقترح طريقة جدولة فعالة لترتيب الطلبات قبل نقلها بواسطة الماكينة S / R التي نأخذها إلى الرف، طريقة الجدولة المقترحة هو تعيين الطلبات في أفضل المواقع في الحامل لدفعة من طلبات العملاء وذلك عن طريق تقليل وقت دورات التخزين / الاسترجاع البسيطة وبالتالي تحسين تدفق النظام.

Mot clé : Problème d'ordonnancement, AS/RS à rack glissant, Temps de simple cycle, Simulation, ARENA