

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abou bekr Belkaïd _TLEMCEM_

Faculté de TECHNOLOGIE

Département de génie industriel



Mémoire de fin de d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en ingénierie de Production

**Modèles statistiques pour le temps de simple cycle d'AS/RS : Cas de
l'industrie Algérienne**

Présenté par : GADI Chaima

Devant le jury composé de :

Président Pr.Belkaïd Fayçal	Professeur, Université de Tlemcen.
Examineur 1 Dr. Laribi Imane	M.C.B, Université de Tlemcen.
Examineur 2 Dr. Meghelli Nihed	M.C.B, Université de Tlemcen.
Encadrante Pr. Ghomri Latefa	Professeur, Université de Tlemcen.
Co-encadrante Dr. Khedim Amaria	M.C.B, Université de Tlemcen.

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur soutien et leur aide précieuse dans ce projet, recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.

je tiens avant tout à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, pour m'avoir accordé la force, la patience et la bénédiction nécessaire à l'accomplissement de ce travail.

je remercie chaleureusement l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, et plus particulièrement la Faculté de Technologie, pour les connaissances et les opportunités offertes tout au long de mon parcours. je suis reconnaissante envers toute l'équipe enseignante qui m'a accompagnée et soutenue durant mes années d'études, leur dévouement et leur conseils ayant joué un rôle fondamental dans la réussite de mon projet.

mes remerciements les plus sincères vont à mon encadrante, Pr. Ghomri Latefa, pour mon suivi rigoureux, ses encouragements et ses précieux conseils, je remercie également ma co-encadrante, Dr.Khedim Amaria, pour son accompagnement bienveillant et ces orientations avisées qui ont grandement contribué à la réussite de ce mémoire .

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur soutien et leur aide précieuse dans ce projet, recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.

dédicace

À mes amies Mahcer Kawter et Ouis Sara, pour les moments
partagés, les rires, et le soutien infaillible.

Ce travail est pour vous.

*À mes chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices et leur
soutien inconditionnel. vous êtes ma plus grande source de
motivation et de fierté.*

*À ma sœur Kawter, et à mes frères Ahmed, Aimen et Abdelkader,
pour leur présence et leurs encouragements constants.*

À mes amies Mahcer Kawter et Ouis Sara, pour les moments
partagés, les rires, et le soutien infaillible.

Ce travail est pour vous.

Table des matières

Remerciements	ii
dédicace	iii
Introduction générale	1
I. L'industrie Sidérurgique en Algérie	3
I.1 Historique de l'industrie sidérurgique en Algérie	4
I.2 Les processus de fabrication	6
I.2.1 Extraction et Préparation des Matières Premières	6
I.2.2 Production de Fonte	6
I.2.3 Production d'Acier	7
I.2.4 Affinage et Élaboration	8
I.2.5 Formage et Laminage	9
I.2.6 Traitement Thermique et Finition	9
I.2.7 Contrôle de Qualité et Emballage	10
I.3 Les produits fini et semi-fini de la sidérurgique	10
I.3.1 Produits semi-fini	11
I.3.2 Produits fini	11
I.4 Les entreprises de la sidérurgique en Algérie	12
I.4.1 Sider-El-Hadjar	12
I.4.2 TOSYALI ALGERIE	13
I.4.3 Algerian Qatari Steel	17
I.5 Etude de risque	18
II. systèmes de stockage et de récupération automatisés	24
II.1 Systèmes de stockage et déstockage automatisé	25
II.1.1 Définition de systèmes de stockage et déstockage automatisé	25
II.1.2 Fonctions	25
II.2 Composition	26
II.3 Terminologie	27
II.4 Les Avantages et inconvénients d'un systèmes de stockage et déstockage automatisé	28
II.4.1 Les avantages de systèmes de stockage et déstockage automatisé	28
II.4.2 Les inconvénients de systèmes de stockage et déstockage automatisé	29

II.5	Les types d'un systèmes de stockage et déstockage automatisé	29
II.5.1	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à charge unitaire	30
II.5.2	Systèmes de stockage et déstockage automatisé multi allées	30
II.5.3	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à racks glissants (racks mobiles)	31
II.5.4	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à carrousel	32
II.5.5	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à étagères profondes	32
II.5.6	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à navettes	33
II.5.7	Systèmes de stockage et déstockage automatisé à convoyeur gravitationnel	33
II.6	l'état de l'art	34
II.7	Le type de Systèmes de stockage et déstockage recommandé adapter à l'industrie sidérurgique (SLC-AS/RS)	35
II.8	Ressource d'un SLC-AS/RS	36
II.9	Description de zone	38
II.10	Fonctionnement des (SLC-AS/RS)	39
II.10.1	Cas de Stockage	39
II.10.2	Cas de récupération	41
III.	Calcul du temps de cycle	43
III.1	Définition et Objectif	44
III.1.1	Définition du temps de cycle	44
III.1.2	Objectif de calculer le temps de cycle	44
III.1.3	Technique de collecte les données	45
III.2	Définir les paramètre du modèle	45
III.2.1	Paramètre cinématique de la grue	47
III.2.2	Les hypothèses	47
III.2.3	Paramètre Géométrique du rayonnage	48
III.3	Modélisation du temps de cycle de simple cycle	49
III.3.1	le temps de cycle de la grue	49
III.3.2	intergration de navette et ascenseur	50
III.3.3	Une approche approximative possible	53
III.4	Optimisation	54
	Conclusion générale	56
	Bibliographie	56
	Résumé	60
	Abstract	61

Table des figures

1	Photos réelles de SLC-AS/RS, source : https://www.matter.it , 19.09.2024	2
I.1	Vue satellite du complexe d'El-Hadjar.	13
I.2	l'entreprise TOSYALI,15 Septembre 2024	14
I.3	Barre d'armature tosyali	14
I.4	Rond d'armature en bobine du tosyali	15
I.5	Fil Machine TOSYALI	15
I.6	Billettes d'acier Tosyali	16
I.7	Tuyeau en Spirale Tosyali	16
I.8	Bobine laminé à chaud tosyali	17
I.9	Localisation de AQS sur la carte géographique	17
I.10	L'entreprise Algerian Qatari Steel, https://aqz.dz/ ,15-09-2024	18
I.11	Blesseur pendant la manutention manuelle	18
I.12	Accident 1 pendants les processus de production	19
I.13	Accident 2 pendants les processus de production	19
I.14	Accident 1 ,source : https://imnews.imbc.com ,14.09.2024	20
I.15	Site d'accident ,source : https://imnews.imbc.com ,14.09.2024	20
I.16	Accident 2 , source : https://news.sbs.co.kr/news ,15.09.2024	21
I.17	Accident3,Source : https://www.kosha.or.kr ,14.09.2024	21
I.18	Accident 4, source : https://www.kosha.or.kr ,14.09.2024	22
I.19	Accident 5, source : https://ulsansafety.tistory.com/5605 ,14.09.2024	22
II.1	Terminologie	27
II.2	Classification des AS/RS	30
II.3	Les AS/RS à charge unitaire	31
II.4	L'AS/RS à racks glissants	31
II.5	AS/RS à carrousel	32
II.6	Les AS/RS à étagères profondes	33
II.7	AS/RS à navettes	33
II.8	L'AS/RS à convoyeur gravitationnel	34
II.9	les ressources de SLC-AS/RS en 3D	36
II.10	structure de rayonnage	37
II.11	Structure de système SLC-AS/RS 3D avec les coordonnées((x, w, y))	38
II.12	zone complet d'entrepôt	39

II.13 Stockage Au point d'E/S	40
II.14 Stockage au poin IP_{Dw}	40
II.15 Déstockage	41
III.1 L'interface de logiciel SCADA	45
III.2 L'interface de logiciel WMS	46
III.3 Diagramme de vitesse de la grue en fonction de distance parcourir	47
III.4 Caption	48
III.5 structure du SLC-AS/RS avec des machines en 3D	51
III.6 schéma de fonctionnemenent du système SLC-AS/RS,drawio	52

Introduction Générale

L'industrie l'un de pilier de l'économie mondial depuis le début du 19e siècle, et ce présente presque le quart de l'économie mondiale, et l'industrie Sidérurgique parmi les industries les plus importantes. En raison de l'importance du (fer et l'acier) et de la nécessité de le fabriquer pour plusieurs secteurs importants, voici ses principales utilisations : Industrie de transformation, Construction métallique chantiers, navales tube bouteille à gaz, industrie de Transformation, Emballage métallique divers pour les industries alimentaires et chimiques, Bâtiments pour l'agronomie industrie et élevage, Recherche et production pétrolière transport des Hydrocarbures, Bâtiment et travaux publics ..., Tous ces secteurs sont indispensables et font partie intégrante du secteur sidérurgique.

Ainsi, on a réfléchi à l'amélioration de la gestion de ce secteur et au développement de sa productivité à long terme, ce qui améliore une augmentation de la production au niveau de tous les secteurs mentionnés précédemment et autres.

C'est pourquoi on a pris en considération les risques sur les travailleurs car, même s'ils prennent des précautions pour se protéger contre les blessures.

Cependant, dans les usines sidérurgiques, il est très difficile d'assurer une sécurité à 100 % aux travailleurs, c'est pourquoi l'appuyer sur l'automatisation de secteur et d'éliminer l'intervention humaine est la seule solution pour éviter ce genre d'accident qui menace les ressources humaines ce qui provoque aussi de grandes pertes économiques à cause des enquêtes de sécurité qu'elle peut arrêter le travail un moment...

Dans notre mémoire de fin d'étude on a mentionné l'importance d'automatiser le secteur Sidérurgique et éliminer l'intervention humaine pour éviter les erreurs comme on a proposé à l'industrie sidérurgique Algérienne d'automatiser que les entrepôts pour réduire la probabilité qu'un accident se produise. Pour cette raison, on a choisi d'articuler ce travail en trois chapitres.

Le premier chapitre présente l'industrie Sidérurgique en Algérie, son historique, les étapes de production, on a présenté les entreprises sidérurgiques en Algérie et au final on a parlé d'étude de risque les problèmes d'accident de travail, on a également mentionné certaines informations réelles qui ont été présentées à propos de ces incidents.

Le deuxième chapitre présente le système de stockage et déstockage automatisé, les différents types d'AS/RS, et finalement on a présenté le type d'AS/RS recommandé et adapté à le

secteur sidérurgique (SLC-AS/RS) et leur fonctionnement .

Le troisième chapitre on a défini le temps de cycle qui est un indicateur important dans l'optimisation , les paramètre géométrique de la structure et cinématique de machines et on a présenté une modélisation de temps de cycle pour simple un cycle .

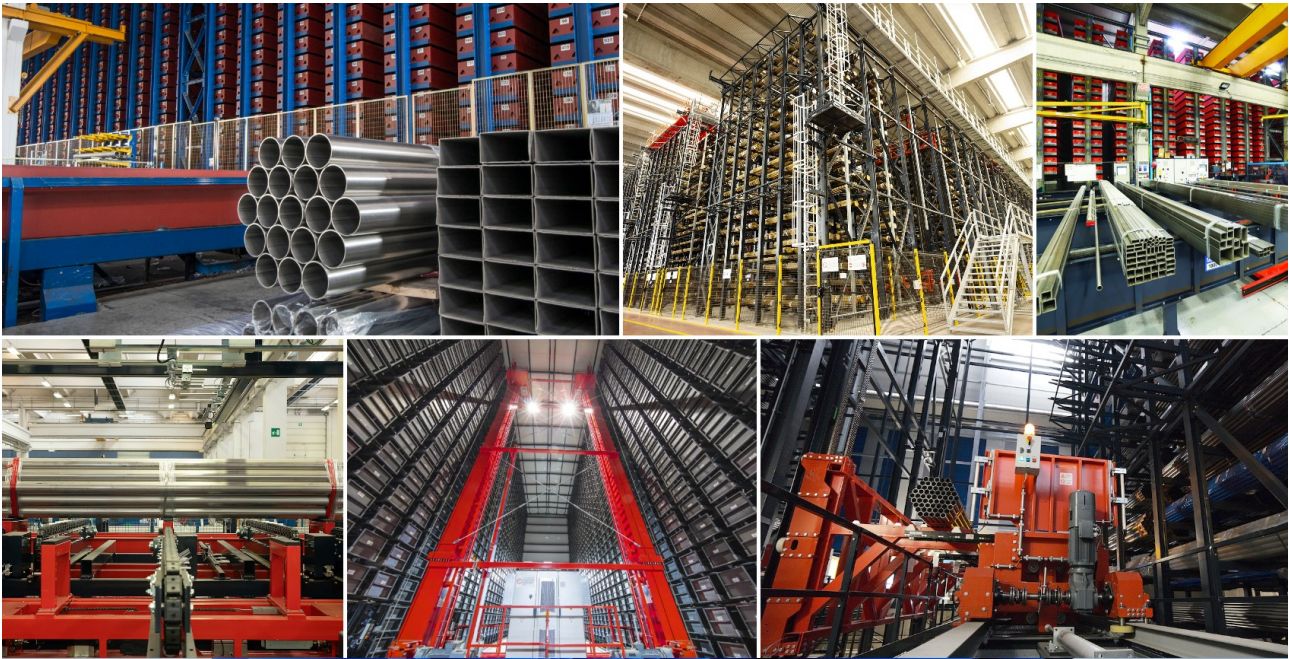


FIGURE 1 – Photos réelles de SLC-AS/RS, source :<https://www.matter.it>, 19.09.2024

Chapitre I

L'industrie Sidérurgique en Algérie

Introduction

Dans ce premier chapitre, nous explorerons l'industrie sidérurgique en Algérie sous plusieurs angles. Nous commencerons par retracer son historique, en mettant en lumière son évolution depuis ses débuts jusqu'à aujourd'hui. Nous détaillerons ensuite les processus de fabrication de l'acier, en décrivant les étapes de la production, de l'extraction du minerai à la fabrication des produits finis. Nous présenterons aussi les produits finis et semi-finis, en examinant leur utilisation et leur position sur le marché. Nous aborderons ensuite les principales entreprises du secteur, telles qu'El-Hadjar, Tosyali, et Qatar Steel, en analysant leur rôle et leur impact économique. Enfin, nous concluons par une étude des risques associés à l'industrie, en évaluant les défis majeurs et les stratégies de gestion des risques.

I.1 Historique de l'industrie sidérurgique en Algérie

La sidérurgie en Algérie a connu une évolution marquée par des phases distinctes, depuis ses débuts sous la période coloniale jusqu'à son développement après l'indépendance. L'histoire de cette industrie reflète non seulement les changements politiques et économiques du pays, mais aussi ses ambitions de développement industriel (10).

De la Période Coloniale à l'Indépendance (1830-1962)

Pendant la période coloniale, l'Algérie était profondément intégrée dans l'économie coloniale française, avec une industrialisation très limitée et principalement orientée vers les besoins de la métropole plutôt que vers le développement économique autonome de la colonie. La priorité était donnée à l'exploitation des ressources naturelles de l'Algérie pour satisfaire les besoins de la France, avec peu d'efforts pour encourager une industrie locale significative. En matière de sidérurgie, les infrastructures étaient rudimentaires et les installations disponibles étaient principalement conçues pour soutenir les projets coloniaux tels que les chemins de fer et les constructions publiques, plutôt que pour promouvoir une industrialisation locale.

Parmi les installations clés, les hauts fourneaux, tels que ceux d'Alès, étaient davantage axés sur l'extraction et la production de matériaux de construction pour le marché colonial, sans véritablement contribuer au développement industriel local.

En parallèle, quelques ateliers et petites usines étaient en activité pour produire des produits sidérurgiques de base, mais leur capacité et leur production restaient très limitées, insuffisantes pour répondre aux besoins potentiels du pays ou pour amorcer une véritable dynamique industrielle (10).

La Politique Industrielle de l'Algérie Indépendante (1962-1980)

À la suite de l'indépendance en 1962, le gouvernement algérien a adopté une politique de nationalisation des secteurs stratégiques, dont la sidérurgie, en mettant un accent marqué sur l'autarcie économique. Cette politique visait à établir une industrie locale robuste capable non seulement de soutenir les grands projets d'infrastructure mais aussi de réduire la dépendance du pays vis-à-vis des importations de produits sidérurgiques.

En 1964, la création de l'Entreprise Nationale des Sidérurgies (ENSID) a marqué une étape clé de cette stratégie, la nouvelle entité étant chargée de superviser et de développer le secteur sidérurgique à travers la modernisation et l'expansion des capacités de production. L'État a entrepris des investissements massifs pour construire et étendre les usines sidérurgiques, avec des sites importants établis à Annaba et Béchar pour produire de l'acier destiné à soutenir l'industrialisation rapide du pays. Cette politique a eu un impact significatif en rendant l'Algérie plus autonome en matière de production d'acier, ce qui a permis de réaliser des projets d'infrastructure majeurs comme des barrages, des routes et des bâtiments publics.

Cependant, malgré ces efforts, la gestion centralisée et la bureaucratie ont souvent engendré des inefficacités, des retards dans la construction et une qualité de production variable, limitant ainsi l'efficacité des investissements réalisés (10) .

Le Développement de la Sidérurgie et de la Métallurgie par la SNS (1964 à 1982)

En 1964, la création de la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) marqua un tournant décisif dans l'organisation du secteur sidérurgique algérien. Conçue pour centraliser et coordonner les efforts d'investissement et d'opération dans le domaine de la sidérurgie, la SNS avait pour mission de développer une infrastructure industrielle robuste dédiée à la production de fer et d'acier.

Cette entreprise publique avait pour objectif primordial d'améliorer la capacité de production nationale afin de répondre efficacement aux besoins croissants en matériaux de construction et en infrastructure du pays, tout en soutenant les ambitions d'industrialisation rapide de l'Algérie indépendante.

La SNS a supervisé la construction de plusieurs grandes installations, parmi lesquelles l'usine de sidérurgie de El Hadjar à Annaba, qui est devenue l'une des plus grandes et modernes d'Afrique du Nord, capable de produire une gamme étendue de produits sidérurgiques. Cette période a également été marquée par des efforts considérables pour moderniser les équipements et les procédés de production, bien que ces initiatives aient souvent été freinées par des problèmes de financement et une gestion complexe. Les fluctuations des prix du pétrole ont eu un impact direct sur la capacité de financement des projets, menant à des pénuries de matières premières et à des défis financiers accrus.

En parallèle, malgré les avancées réalisées, la SNS a continué de faire face à des défis liés à l'efficacité opérationnelle, à la maintenance des équipements et à la qualité des produits, des problèmes qui ont limité l'impact global de ses réalisations.

L'histoire de la sidérurgie en Algérie montre une transition d'une industrie embryonnaire sous la période coloniale à une tentative ambitieuse de développement industriel et d'autarcie après l'indépendance. La période de 1964 à 1982 a été marquée par des efforts significatifs pour établir une base industrielle solide avec la SNS comme acteur central.

Cependant, les défis économiques, les problèmes de gestion et les fluctuations des ressources ont continué d'affecter le secteur. Aujourd'hui, l'héritage de ces efforts est visible dans l'infrastructure sidérurgique existante, bien que le secteur continue d'évoluer pour répondre aux défis modernes de la compétitivité et de la durabilité (10).

I.2 Les processus de fabrication

Dans l'industrie sidérurgique, les processus de fabrication sont essentiels pour transformer les matières premières en produits finis en acier. Ces processus varient en fonction des types d'acier produits et des technologies utilisées, mais les principales étapes comprennent la préparation des matières premières, la fusion, la transformation, et le traitement des produits finis.

I.2.1 Extraction et Préparation des Matières Premières

L'extraction du minerai de fer constitue la première étape essentielle dans la chaîne de production de l'acier en Algérie, où les principaux gisements se trouvent principalement dans les régions de Ouenza et Boukhadra. Ces sites fournissent la matière première nécessaire pour la production de fonte, une étape préalable cruciale. L'extraction du minerai se fait principalement par des méthodes à ciel ouvert, adaptées aux gisements peu profonds, ou par forage, lorsque les gisements sont plus profonds. Une fois extrait, le minerai de fer passe par un processus de préparation en plusieurs étapes.

D'abord, il est concassé en morceaux plus petits pour faciliter les étapes suivantes.

Ensuite, le minerai concassé est broyé en une poudre fine, augmentant ainsi l'efficacité des étapes de traitement ultérieures. Pour améliorer la teneur en fer du minerai, un processus d'enrichissement est appliqué, souvent par séparation magnétique ou flottation, qui permet de retirer les impuretés telles que la silice et l'argile, afin de préparer un concentré de fer de haute qualité pour la production de fonte.

I.2.2 Production de Fonte

La production de fonte est un processus clé dans la transformation du minerai de fer en un métal utilisable pour la fabrication d'acier, réalisé principalement dans un four haut. Ce four est alimenté par un mélange de minerai de fer, de coke et de calcaire. Le processus commence par le chargement du four, où les matériaux sont empilés en couches successives pour créer une réaction chimique optimale.

À l'intérieur du four, le coke est brûlé à des températures extrêmement élevées, générant du monoxyde de carbone qui réagit avec le minerai de fer. Cette réaction chimique réduit le minerai en fer liquide tout en produisant du dioxyde de carbone. La fonte liquide, désormais riche en carbone, descend au fond du four. Pendant ce temps, des flux tels que le calcaire réagissent avec les impuretés présentes pour former un laitier, qui se sépare de la fonte. Ce laitier est ensuite retiré, laissant derrière lui une fonte liquide de haute qualité. Cette fonte, ayant une teneur élevée en carbone, est prête pour les étapes suivantes de traitement ou de transformation en acier.

I.2.3 Production d'Acier

La transformation de la fonte liquide en acier se fait principalement par deux méthodes : le convertisseur à oxygène et le four électrique à arc, chacune ayant ses propres caractéristiques et avantages.

Convertisseur à Oxygène

Dans le convertisseur à oxygène, la fonte liquide est convertie en acier de haute qualité par une méthode efficace et bien établie. Ce processus débute par l'injection d'oxygène pur dans la fonte liquide à travers une lance placée au-dessus du convertisseur. L'oxygène réagit avec le carbone présent dans la fonte, réduisant ainsi le taux de carbone à des niveaux désirés pour obtenir les propriétés mécaniques souhaitées de l'acier. En outre, cette injection d'oxygène élimine également d'autres impuretés telles que le silicium et le manganèse.

Ce processus produit de l'acier liquide dont la composition est ajustée en fonction des exigences spécifiques des applications futures, comme les structures de construction ou les pièces automobiles. Le résultat est un acier liquide homogène avec les caractéristiques chimiques et physiques optimisées pour son utilisation finale.

Four Électrique à Arc

L'alternative au convertisseur à oxygène est le four électrique à arc, qui offre une méthode flexible pour la production d'acier, souvent utilisée pour recycler des ferrailles d'acier. Dans cette méthode, des morceaux de ferraille, souvent issus de produits en acier usagés, sont chargés dans le four.

Les électrodes en carbone sont ensuite utilisées pour créer des arcs électriques entre elles et le métal. Ces arcs génèrent une chaleur intense, suffisante pour fondre la ferraille en acier liquide. Une fois le métal fondu, il est raffiné pour ajuster sa composition chimique selon les spécifications nécessaires. Ce processus peut inclure l'ajout d'alliages pour modifier les propriétés de l'acier, comme sa résistance ou sa ductilité.

La méthode du four électrique à arc est particulièrement avantageuse pour produire de l'acier

de haute qualité à partir de matériaux recyclés, contribuant ainsi à une approche plus durable et économique dans la fabrication d'acier.

I.2.4 Affinage et Élaboration

Affinage

L'affinage est une étape cruciale dans le processus de production d'acier, visant à ajuster ses propriétés pour répondre aux spécifications précises des applications finales. Cette phase commence par l'ajout d'alliages dans l'acier liquide.

Des éléments tels que le nickel, le chrome, et le molybdène sont incorporés pour conférer des propriétés spécifiques au matériau. Le nickel peut améliorer la résistance à la corrosion, le chrome augmente la dureté et la résistance à l'usure, tandis que le molybdène renforce la résistance à la chaleur et la ténacité. Ce processus permet de personnaliser l'acier pour des usages variés, comme les équipements de haute performance ou les structures résistant aux environnements corrosifs.

En parallèle, le contrôle précis de la température est essentiel pour garantir la qualité du produit final. La température de l'acier est rigoureusement surveillée et ajustée pour maintenir les caractéristiques physiques et chimiques requises, assurant ainsi une homogénéité et une performance optimale du matériau une fois qu'il est solidifié et utilisé dans des applications industrielles.

Coulée

Après l'affinage, l'acier liquide est prêt à être transformé en formes semi-finies par le processus de coulée. La coulée continue est une méthode largement employée, où l'acier liquide est versé de manière continue dans des moules spécialement conçus pour produire des formes telles que des brames, des billettes, ou des plaques. Cette technique permet de produire de grandes quantités d'acier de manière efficace, tout en maintenant une qualité uniforme.

Une fois l'acier coulé, il passe par une phase de solidification où il est refroidi progressivement dans les moules. Ce refroidissement contrôlé est crucial pour assurer une structure cristalline stable et éviter les défauts dans le produit final. Après solidification, le métal est démoulé et prêt à passer aux étapes suivantes de traitement ou de transformation, offrant ainsi des produits semi-finis qui serviront de base pour des applications diverses, des composants structuraux aux pièces de machines.

I.2.5 Formage et Laminage

Laminage à Chaud

Le laminage à chaud est une étape essentielle dans la transformation de l'acier brut en produits utilisables avec des dimensions précises. Ce processus commence par le chauffage de l'acier à des températures élevées, souvent au-dessus de 1 000°C, pour le rendre malléable. Une fois à la température appropriée, l'acier est passé entre des rouleaux chauffés qui exercent une pression constante, réduisant ainsi son épaisseur de manière contrôlée.

Ce passage entre les rouleaux permet de façonner l'acier en diverses formes, telles que des tôles, des barres, des poutres et des sections profilées, adaptées à une variété d'applications industrielles et de construction. Le laminage à chaud est crucial pour produire des matériaux avec des propriétés mécaniques et dimensionnelles cohérentes, tout en permettant une production à grande échelle.

Laminage à Froid

Après le laminage à chaud, l'acier peut nécessiter un laminage à froid pour répondre à des spécifications plus strictes et obtenir une finition de surface plus lisse. Ce processus consiste à refroidir l'acier et à le faire passer à travers des rouleaux à température ambiante.

Le laminage à froid affine davantage les dimensions de l'acier avec une précision accrue et améliore la qualité de la surface, rendant le matériau plus attrayant visuellement et fonctionnellement. Ce traitement supplémentaire est particulièrement important pour des applications nécessitant des tolérances dimensionnelles serrées et des finitions de haute qualité, comme dans les secteurs de l'automobile ou de l'électronique.

Le laminage à froid augmente également la résistance de l'acier par déformation, contribuant ainsi à des produits finaux plus robustes et performants.

I.2.6 Traitement Thermique et Finition

Le traitement thermique est une étape essentielle pour adapter les propriétés mécaniques de l'acier aux exigences spécifiques de ses applications finales. Ce processus commence par le recuit, où l'acier est chauffé à des températures élevées, souvent proches de son point de fusion, puis refroidi lentement. Ce traitement réduit la dureté de l'acier et améliore sa ductilité, ce qui le rend plus facile à travailler et moins susceptible de se fissurer sous contrainte.

Ensuite, la trempe consiste à chauffer l'acier à une température élevée avant de le refroidir rapidement, généralement en le plongeant dans de l'eau ou de l'huile. Cette méthode augmente la dureté de l'acier mais peut également le rendre plus fragile. Pour équilibrer cette fragilité, l'acier subit un revenu, où il est chauffé à une température inférieure après la trempe, puis refroidi lentement pour réduire la fragilité tout en conservant une bonne dureté et résistance.

En parallèle, les produits en acier sont soumis à des opérations de finition pour améliorer leurs caractéristiques et leur aspect final. Le décapage est le premier pas dans ce processus, consistant à enlever les oxydes et autres impuretés de surface qui se forment lors des traitements thermiques ou du laminage, ce qui assure une surface propre et prête pour les étapes suivantes. La galvanisation est une méthode courante où une couche de zinc est appliquée sur l'acier pour le protéger contre la corrosion, prolongeant ainsi sa durée de vie lorsqu'il est exposé aux intempéries ou à des environnements corrosifs.

Enfin, le revêtement comprend l'application de diverses couches protectrices ou fonctionnelles, comme des revêtements résistants à l'usure ou à la chaleur, qui confèrent des propriétés spécifiques à l'acier en fonction de ses applications finales, comme dans les secteurs de l'automobile, de la construction ou de l'industrie.

Ces étapes de finition sont cruciales pour assurer que les produits en acier non seulement remplissent leurs fonctions prévues mais présentent également une qualité et une durabilité accrues.

I.2.7 Contrôle de Qualité et Emballage

Le contrôle de qualité est une étape essentielle dans la production d'acier, visant à garantir que les produits finaux répondent aux normes de performance et de sécurité requises.

Les tests physiques sont effectués pour évaluer les propriétés mécaniques de l'acier, telles que la résistance à la traction, qui mesure la capacité du matériau à supporter des forces de tension, et la dureté, qui détermine sa résistance à la déformation ou à l'usure. Ces tests assurent que l'acier possède les caractéristiques nécessaires pour ses applications spécifiques.

En parallèle, les tests chimiques analysent la composition du métal pour vérifier qu'il respecte les spécifications requises. Cela inclut la mesure des niveaux d'éléments d'alliage et des impuretés, garantissant que le produit final répond aux standards de qualité et de performance. Une fois ces contrôles effectués, les produits finis passent à l'étape de l'emballage. Ils sont soigneusement emballés pour les protéger contre les dommages pendant le transport, utilisant souvent des matériaux de protection comme des films plastiques ou des coussins.

L'étiquetage joue également un rôle crucial ; chaque produit est étiqueté avec des informations détaillées concernant ses spécifications techniques, son numéro de lot, et les conditions de stockage recommandées. Cette étape garantit que les produits sont non seulement protégés mais aussi correctement identifiés et traçables tout au long de la chaîne d'approvisionnement, facilitant ainsi leur gestion et leur utilisation ultérieure.

I.3 Les produits fini et semi-fini de la sidérurgique

Dans l'industrie sidérurgique, les produits se classifient en deux grandes catégories : les produits semi-finis et les produits finis. Chacun de ces types de produits a des caractéristiques et des applications distinctes.

I.3.1 Produits semi-fini

Les produits semi-finis sont des formes intermédiaires d'acier qui nécessitent des étapes supplémentaires de transformation pour devenir des produits finis. Ils sont généralement obtenus par des processus tels que le laminage à chaud ou à froid, et servent de base pour la production d'articles plus spécifiques. Les principaux types de produits semi-finis incluent :

Brames

Ce sont de grandes plaques d'acier obtenues par coulée continue. Elles sont utilisées comme matière première pour le laminage à chaud afin de produire des tôles ou des plaques plus fines. Les brames ont une épaisseur importante, généralement entre 150 mm et 300 mm, et sont souvent utilisées dans la fabrication de composants de grande taille pour l'industrie de la construction et la fabrication de réservoirs.

Billettes

Ce sont des lingots d'acier de section carrée ou rectangulaire, obtenus à partir de la coulée continue ou de la solidification dans des moules. Les billettes sont principalement utilisées pour le laminage à chaud ou à froid afin de produire des barres, des profilés, ou des produits longs utilisés dans la construction, l'automobile, et d'autres industries.

Plaques

Ce sont des produits d'acier plat avec une épaisseur variable, obtenues par laminage à chaud à partir de brames. Les plaques sont utilisées dans la fabrication de structures lourdes, des équipements industriels, et pour des applications où une résistance accrue est nécessaire.

I.3.2 Produits fini

Les produits finis sont des formes d'acier qui ont subi toutes les étapes de transformation nécessaires pour atteindre les spécifications finales requises pour leur utilisation. Ils sont prêts à être intégrés directement dans des assemblages ou des structures. Les produits finis comprennent :

Tôles

Ce sont des feuilles d'acier plat, obtenues par laminage à chaud ou à froid. Les tôles peuvent varier en épaisseur et en largeur et sont utilisées dans divers secteurs, notamment la construc-

tion, l'automobile, et la fabrication d'équipements. Elles sont souvent employées pour la fabrication de carrosseries, de réservoirs, et de structures métalliques.

Barres

Ce sont des produits longs avec une section transversale constante, fabriqués par laminage des billettes. Les barres peuvent être pleines, creuses, ou profilées et sont largement utilisées dans la construction, l'industrie mécanique, et pour la fabrication de composants de machines et de structures.

Profilés

Ce sont des éléments en acier de formes variées, comme les I, U, et L, obtenus par laminage à chaud. Les profilés sont essentiels pour les constructions métalliques, les ponts, et les structures de bâtiments, où ils fournissent une résistance et une rigidité accrues.

Tubes

Les tubes en acier peuvent être de formes rondes, carrées ou rectangulaires, et sont fabriqués soit par laminage, soit par extrusion. Ils sont utilisés dans les systèmes de conduits, les structures de support, et dans l'industrie pétrolière et gazière.

Fils

Les fils d'acier, produits par le laminage ou le tirage à froid, sont utilisés dans une variété d'applications, notamment dans le câblage électrique, les structures de renforcement en béton, et la fabrication de ressorts et d'armatures.

En résumé, les produits semi-finis servent de matière première pour la création de produits finis, qui sont directement intégrés dans diverses applications industrielles et commerciales. Les produits finis sont généralement prêts à être utilisés dans leur forme actuelle, tandis que les semi-finis nécessitent des transformations supplémentaires pour atteindre leurs formes finales.

I.4 Les entreprises de la sidérurgie en Algérie

I.4.1 Sider-El-Hadjjar

Le projet de construction d'une usine sidérurgique à Annaba a débuté pendant la période coloniale avec la création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) en 1958.

Après l'indépendance, l'État algérien a fondé, le 3 septembre 1964, la Société Nationale de

Sidérurgie (SNS) pour construire le complexe d'El-Hadjar, inauguré en 1969. _ En 1983, l'entreprise a été restructurée pour devenir l'Entreprise Nationale SIDER, puis le Groupe SIDER en 1995. Un plan de redressement interne en 1999 a donné naissance à ALFASID, un acteur clé de la sidérurgie.

En 2001, ISPAT Annaba a été créée via un partenariat entre SIDER et LNM, suivie par la formation de Mittal Steel Annaba en 2004 après la fusion de LNM et ISPAT.

En 2007, elle devient ArcelorMittal Annaba suite à la fusion d'Arcelor et Mittal Steel, avant de se renommer ArcelorMittal Algérie en 2013 après une réorganisation du capital. Enfin, en août 2016, SIDER EL HADJAR devient entièrement algérienne, avec un transfert de 100% des actions du groupe ArcelorMittal au groupe public IMETAL(24).

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR est situé à l'est du pays dans la zone industrielle d'Annaba. Il est implanté à 15 Km au sud de la ville et occupe une superficie de 800ha :

- Trois cents (300) hectares occupés par les ateliers de production ;
- Trois cents (300) hectares réservés au stockage des matières premières et des produits sidérurgiques ;
- Deux cents (200) hectares affectés aux structures de services ;

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar représente un facteur économique pour le pays par la diversité de ses unités et ses installations de transformation. Il est constitué d'un ensemble d'ateliers ayant objectif la production de l'acier et sa transformation (18).



FIGURE I.1 – Vue satellite du complexe d'El-Hadjar.

I.4.2 TOSYALI ALGERIE

Tosyali Algérie pour la production du fer et d'acier c'est un investissement Turquie a commencé en 2011 représentant un complexe industriel spécialisé dans la Sidérurgie et situé à Bethioua Oran, à l'ouest Algérien.

Emploie plus de 3800 employeurs Algériens.

Produit jusqu'à 4 millions de tonnes/an.

superficie de 5 millions de m².

la principale société et exportatrice de l'Algérie dans le domaine industriel, à l'exception des secteurs liés aux hydrocarbures de l'Algérie.



FIGURE I.2 – l'entreprise TOSYALI,15 Septembre 2024

L'entreprise Tosyali Algérie a commencé à produire des tôles laminées à chaud, un produit conçu pour les entreprises spécialisées dans la construction de charpentes métalliques, les chantiers de construction navale et mécanique.

L'administrateur en charge des affaires de la société Tosyali Algérie, Alp Topcuoglu, a déclaré que l'entreprise avait pour but d'atteindre 1,5 milliard de dollars l'année prochaine grâce aux nouveaux produits en acier plat, et de dépasser les deux milliards de dollars en 2026 (tos).

Produit de TOSYALI ALGERIE

1. Barres d'acier d'armature :



FIGURE I.3 – Barre d'armature tosyali

Poids de paquet : de 1000 kg à 3000 kg

Longueur : De 6 mètres à 18 mètres.

2. Ronds d'armature en bobines :

Poids : 2000 kg



FIGURE I.4 – Rond d'armature en bobine du tosyali

3. Fil machine :

est obtenu par laminage à chaud de billettes. Poids de la Bobine 2100 kg.



FIGURE I.5 – Fil Machine TOSYALI

Diamètre extérieur :1250 mm

Longueur : 1750 mm

4. Les billettes d'acier de Tosyali Algérie

Utilisation : production de barres d'armature, fil machine et de barres d'armature en bobines.

Sa longueur de 6 mètres à 12 mètres et sa taille 160 mm x 160 mm et 180 mm x 180 mm.

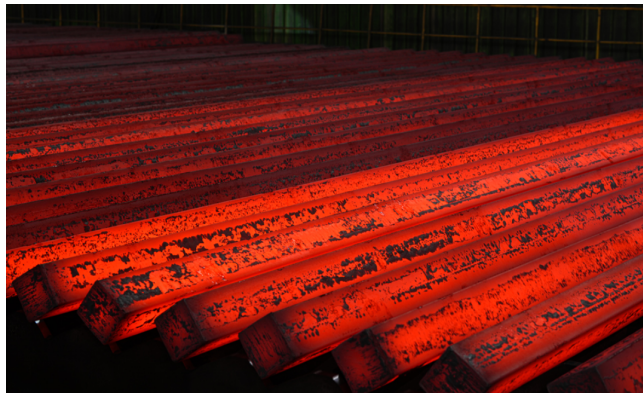


FIGURE I.6 – Billettes d'acier Tosyali

5. Tuyaux en spirale en acier

produits selon les normes ISO14001 et ISO 45001. Son diamètre 16 – 120 pouces (406,4 –



FIGURE I.7 – Tuyeau en Spirale Tosyali

3,048 mm).

6. bobines laminées à chaud

Épaisseur 200 à 250 millimètres.

Largeur 700 à 1650 millimètres.

Longueur 5800 à 12100 millimètres .



FIGURE I.8 – Bobine laminé à chaud tosyali

I.4.3 Algerian Qatari Steel

La société Algerian Qatari Steel (AQS) opère dans la zone industrielle de Bellara, dans la commune d'El-Milia wilaya de Jijel, située à 400 km de la capitale d'Alger, où elle exploite un Complexe sidérurgique d'une superficie totale de 216 hectares. créée en décembre 2013, est le fruit d'un partenariat entre la République Algérienne et l'État du Qatar L'AQS . Avec



FIGURE I.9 – Localisation de AQS sur la carte géographique

un capital social de 58,61 milliards de Dinars Algériens, AQS est détenue à 49% par Qatar Steel International (QSI), 46% par le Groupe Industriel SIDER, et 5% par le Fonds National d'Investissement (FNI). L'entreprise se distingue par son volume de production, sa fiabilité opérationnelle, et ses avancées techniques, consolidant ainsi sa position dans l'industrie sidérurgique nationale et régionale. SIDER et Qatar Steel, les principaux partenaires d'AQS, possèdent une vaste expérience dans le secteur, gérant respectivement les complexes d'El Hadjar en Algérie et MIC près de Doha au Qatar. La technologie utilisée par AQS, notamment la Réduction Directe, est similaire à celle employée dans le complexe MIC de Qatar Steel, garantissant des procédés modernes et efficaces(7).

L'Algerian Qatari Steel (AQS) met un point d'honneur à valoriser son capital humain en créant un environnement de travail propice à la créativité et à l'innovation pour ses 1 500 employés. L'entreprise joue un rôle crucial dans l'économie locale en répondant aux besoins du marché algérien du fer et en exportant sa production excédentaire sur les marchés régionaux et internationaux.

Lancée en 2017, AQS produit initialement environ 2 millions de tonnes par an de rond à béton et de fil machine. La deuxième phase de son programme d'investissement vise à diversifier la production avec des aciers spéciaux, portant ainsi la capacité annuelle de production à plus de 4 millions de tonnes.

L'AQS opère dans la zone industrielle de Bellara, dans la commune d'El-Milia wilaya de Jijel, située à 400 km de la capitale d'Alger, où elle exploite un Complexe sidérurgique d'une superficie totale de 216 hectares.



FIGURE I.10 – L'entreprise Algerian Qatari Steel, <https://aqs.dz/>, 15-09-2024

I.5 Etude de risque

Le stockage et le déstockage manuels des matériaux augmentent considérablement la probabilité des blessures même si les produits ne sont pas très lourds. Comme on voit dans la photo ci-dessous :



FIGURE I.11 – Blesseur pendant la manutention manuelle

Cela peut même entraîner des accidents mortels en raison de la manipulation directe des matériaux lourds et des équipements, Les travailleurs sont exposés à des dangers tels que les

chutes de charges, les écrasements, et les collisions avec les engins de manutention .
Ainsi, Les études de risque dans l'industrie révèlent que l'industrie sidérurgique connaît des accidents mortels dans l'ensemble de ses processus Voici quelques photos réelles des incidents survenus dans ce secteur, notamment des explosions et la perte de contrôle du four....



FIGURE I.12 – Accident 1 pendant les processus de production



FIGURE I.13 – Accident 2 pendant les processus de production

Cependant, même le risque dans les industrie sidérurgique particulièrement élevé lors du manutention, Où révélé la ministère de l'Emploi et du travail (Corée du sud) le 03-09-2021 que de 2016 à juillet 2021 (au bout de 5ans et 7mois) y a 75 personne sont mortes dans des accidents industriels dans la sidérurgie et les 71% des victimes (les 53) sont mortes dans la manutention de machine à cause de l'intervention humaine (han).

Quelque accident réelle dans la manutention des matériaux en Acier

1

Le 23.10.2022 un ouvrier d'une soixantaine d'années, a été écrasé à mort par une plaque de fer de 1.2 tonne (imb).



FIGURE I.14 – Accident 1 ,source :<https://imnews.imbc.com>,14.09.2024

voici le site d'accident :



FIGURE I.15 – Site d'accident ,source :<https://imnews.imbc.com>,14.09.2024

2

Un employé tué après s'être coincé dans une bobine d'acier de 6 tonnes (new).



FIGURE I.16 – Accident 2 , source :<https://news.sbs.co.kr/news>,15.09.2024

3

le 23 mai 2023 pendant levage d'une structure en acier de 1.6 tonnes le crochet qui soutenait la structure n'a pas pu résister à la charge et est tombé , provoquant l'écrasement de la jambe de la victime et sa mort(kos).



FIGURE I.17 – Accident3,Source :<https://www.kosha.or.kr>,14.09.2024

4

le 6 Avril 2023, dans usine d'acier la victime a été écrasée par une poutre en H qu'il était entrain de chargée à coté de la victime(kos).

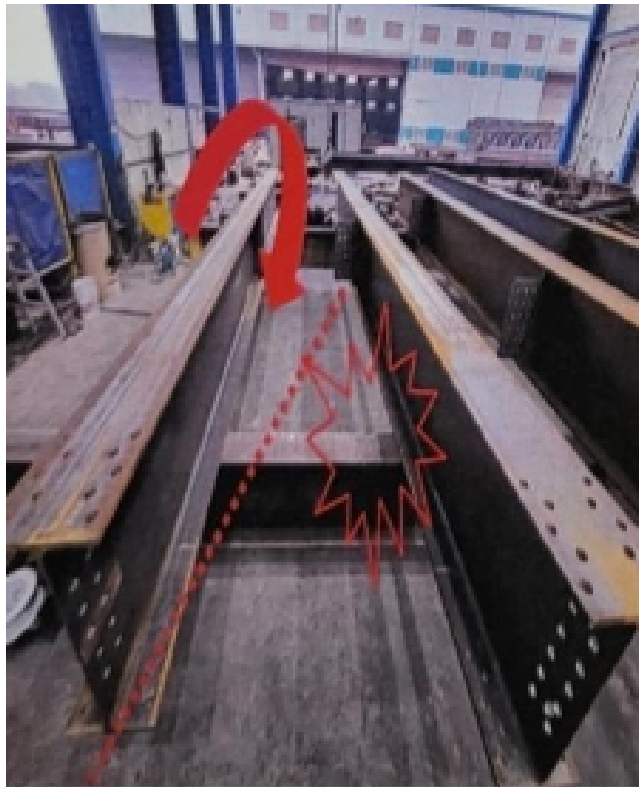


FIGURE I.18 – Accident 4, source :<https://www.kosha.or.kr> ,14.09.2024

5

Le 30 décembre 2023 victime en train de mourir après que des matériaux de 0.9 tonne chargé à proximité se sont effondrés(uls).

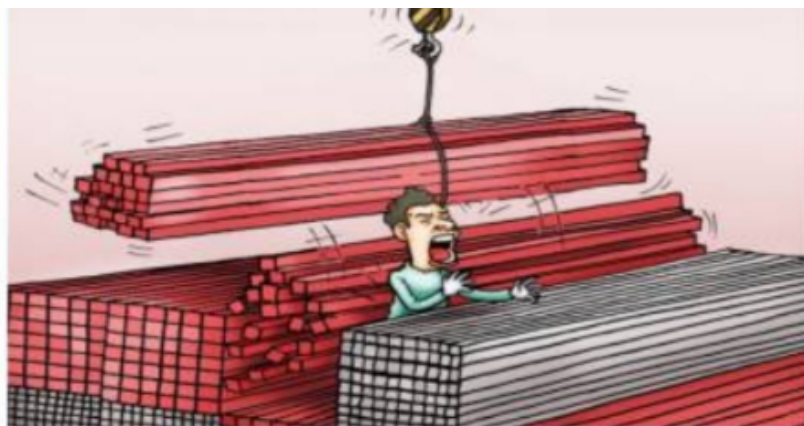


FIGURE I.19 – Accident 5, source :<https://ulsansafety.tistory.com/5605>,14.09.2024

Les accidents présenter précédemment est dans la Corée du sud . En revanche, l'adoption de systèmes automatisés pour le stockage et le déstockage réduit drastiquement ces risques, car elle élimine la nécessité d'intervention humaine. Les systèmes automatisés peuvent gérer les matériaux de manière plus sûre et plus précise, réduisant ainsi les erreurs humaines. Cela permet non seulement de diminuer les accidents, mais aussi d'améliorer l'efficacité et la sécurité globales du processus. L'automatisation contribue également à une meilleure gestion de l'espace

de stockage, à une réduction des temps de cycle, et à une optimisation des flux de travail, ce qui renforce encore la sécurité et la productivité de l'ensemble de l'opération sidérurgique.

Conclusion

En conclusion, ce premier chapitre offre une vue d'ensemble complète de l'industrie sidérurgique en Algérie. En retraçant son histoire et en décrivant les processus de fabrication de l'acier, nous avons mis en lumière l'évolution et l'importance de ce secteur. L'examen des produits finis et semi-finis, ainsi que de leur position sur le marché, a permis de mieux comprendre leur utilité et leur impact économique. L'analyse des principales entreprises du secteur, comme El Hadjar, Tosyali, et Qatar Steel, a révélé leur rôle crucial dans l'économie algérienne. Enfin, l'étude des risques associés à l'industrie a souligné les défis majeurs auxquels elle fait face et les stratégies de gestion des risques mises en place. Ce panorama détaillé constitue une base solide pour les chapitres suivants, où nous approfondirons ces différents aspects et explorerons les perspectives futures de l'industrie sidérurgique en Algérie.

Chapitre II

systemes de stockage et de récupération automatisés

Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous allons présenter le type de systèmes de stockage et de récupération automatisés (AS/RS) basé sur navette, ascenseur et grue SLC-AS/RS ce type s'adapte avec le secteur sidérurgique et ses produits lourds. Les AS/RS représentent une innovation majeure dans le domaine de la logistique et de la gestion des entrepôts, éliminant l'intervention humaine cela permet de minimiser les accidents, les erreurs et les coûts .

Nous commencerons par une présentation générale sur les (AS/RS), ses différents types, après le point clé de ce chapitre sera la description approfondie des composants principaux des SLC-AS/RS.

Ensuite, nous expliquerons le processus de fonctionnement de ces systèmes, de l'entrée des produits jusqu'à leur sortie, en passant par les étapes de stockage et de récupération.

II.1 Systèmes de stockage et déstockage automatisé

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 machines S/R traversant des allées entre les racks. Un AS / RS est capable de traiter des palettes sans l'interférence d'un opérateur.

II.1.1 Définition de systèmes de stockage et déstockage automatisé

Selon le Material Handling Institute (16) : Un système AS/RS signifie "Automated Storage and Retrieval System" est défini comme : « Une combinaison d'équipements et de systèmes de contrôle qui prend en charge, stocke et déstocke des produits avec précision, exactitude et célérité sous un certain degré d'automatisation »

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.

II.1.2 Fonctions

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 suivant :

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

II.2 Composition

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

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 :

- 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.

II.3 Terminologie

Casier	C'est l'espace tridimensionnel dans les racks de stockage utilisés pour stocker une seule unité de charge de matériau.
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.
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.
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.
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 II.1 – Terminologie

II.4 Les Avantages et inconvénients d'un systèmes de stockage et déstockage automatisé

Les systèmes de stockage et de déstockage automatisés offrent une variété d'avantages .

II.4.1 Les avantages de systèmes de stockage et déstockage automatisé

- **Diminution de l'espace requis** : un AS/RS peut diminuer grandement l'espace nécessaire au stockage. La place ainsi récupérée peut être utilisée pour augmenter la production.
- **Augmentation de la capacité** : pour le même espace, un AS/RS augmente considérablement la capacité de stockage. Une entreprise, dont le système de stockage est saturé, peut, en choisissant un AS/RS, accroître sa capacité de stockage, sans investir dans de nouveaux locaux.
- **Gestion et un contrôle des stocks améliorés** : à n'importe quel instant, le système de contrôle de l'AS/RS peut donner avec précision les quantités types et qualités, des produits, présents en stock, celles délivrées dans l'heure, la journée, la semaine...
- **Ordonnancement de production amélioré** : grâce à une meilleure connaissance et à un contrôle plus précis des en-cours, l'ordonnancement de la production peut être mieux optimisé.
- **Réduction des temps de réponse** : les systèmes AS/RS possèdent des temps de réponse très réduits, pour localiser, stocker ou déstocker des articles, par rapport aux systèmes classiques de stockage.
- **Réduction des stocks** : due à une meilleure gestion et contrôle des stocks, et à des temps de réponse réduits, il est possible de réduire, la quantité de produits en stock.
- **Réduction des risques de rupture de stocks** : grâce à une meilleure gestion des stocks, qui peut se faire en temps réel. Les ruptures de stocks sont pratiquement inexistantes, ou de très faibles durées lorsqu'elles sont inévitables.
- **Réduction de la main d'œuvre** : l'automatisation de la majorité des opérations dans les AS/RS permet de diminuer l'intervention humaine, que ce soit dans l'administration ou l'exécution.
- **Réduction des détériorations** : l'automatisation permet la diminution des risques de casse des produits.
- **Diminution des coûts de fonctionnement** : étant donné le haut degré d'automatisation, les coûts de fonctionnement sont réduits au maximum (réduction du personnel, de la lumière, du chauffage...).
- **Augmentation du rendement dans la production** : grâce à l'augmentation de la productivité des stations de travail, les AS/RS permettent d'augmenter le rendement du système de production.

- **Augmentation de la sécurité** : les AS/RS étant des aires autonomes et fermées, sans intervention humaine, la sécurité est grandement améliorée.
- **Réduction des vols** : les AS/RS étant des aires autonomes et fermées, sans intervention humaine, le vol de produits par le personnel, ou autres, est très réduit.
- **Grande flexibilité de fonctionnement** : les AS/RS peuvent s'accommoder d'une grande variété d'articles à stocker. De plus ils sont facilement intraçables avec des systèmes comme les AGVS, les FMS, les systèmes d'inspection...
- **Production juste à temps (JIT)** : les AS/RS permettent d'avoir le bon produit, outils, palette et support au bon endroit au bon moment grâce aux points cités ci-dessus. Ceci permet de contribuer amplement à la réalisation de la production juste à temps.

II.4.2 Les inconvénients de systèmes de stockage et déstockage automatisé

- Les systèmes AS/RS nécessitent des connaissances, des compétences et de l'expérience. Ils nécessitent des investissements importants du capital de l'entreprise, en particulier pour la maintenance et la mise à jour des différents sous-systèmes.
- L'investissement initial est très élevé. Par exemple, pour un AS/RS de 10000 casiers, 5 machines S/R et un convoyeur de 60m, l'investissement initial varie entre 2 et 3 millions de Dollars US(16).

II.5 Les types d'un systèmes de stockage et déstockage automatisé

Il existe de nombreuses catégories importantes d'AS/RS, elles peuvent être distinguées en fonction de certaines caractéristiques et applications.

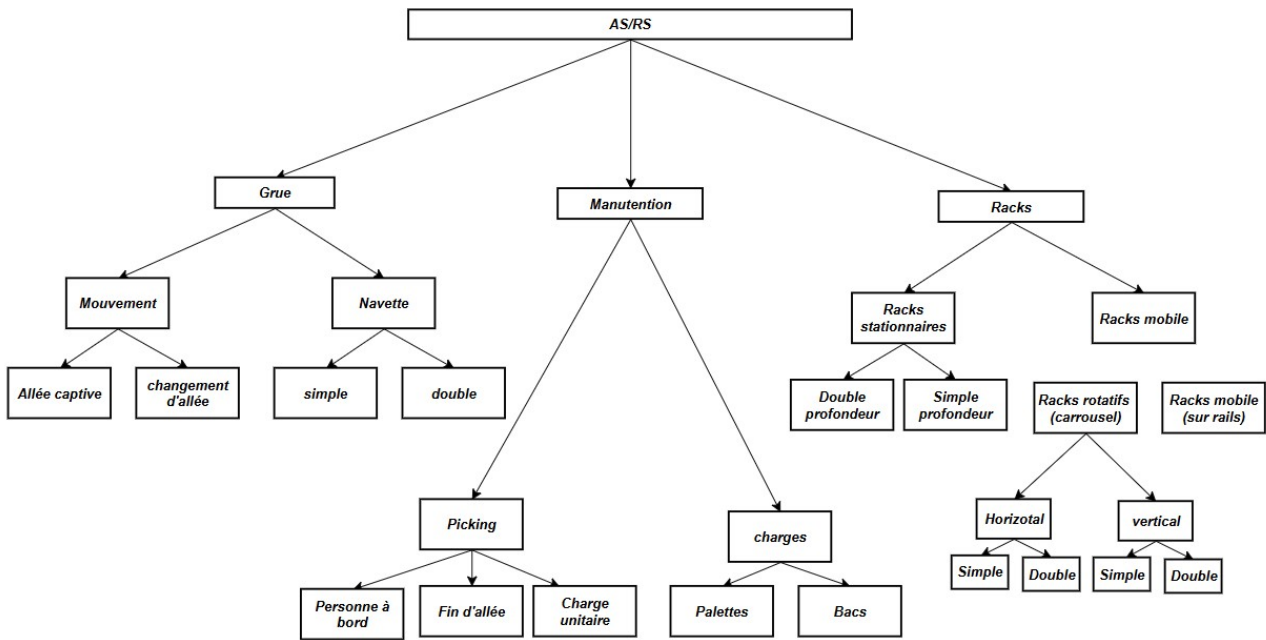


FIGURE II.2 – Classification des AS/RS

II.5.1 Systèmes de stockage et déstockage automatisé à charge unitaire

Les AS/RS à charge unitaire sont utilisés pour stocker des charges palettisées ou en container standard. Les charges sont en général supérieures à 250 kg par unité. En général, le système est commandé par ordinateur. Il est équipé d'une machine de stockage/déstockage S/R, conçue pour traiter des containers ou palettes à charge unitaire. Chaque machine est placée sur des rails fixés au sol. La machine S/R est composée d'un cadre sur lequel coulisse, verticalement, un plateau, qui sert à transporter les charges. Ce plateau peut se déplacer horizontalement à la perpendiculaire du cadre.

De ce fait, il peut charger/décharger les produits dans les casiers, ainsi qu'au niveau de la station de dépôt/livraison. Plusieurs types de mécanismes de support de la charge sont possibles :

- Le système à plateau coulissant : c'est le même principe que le transpalette.
- Le système à ventouse : la charge est accrochée en créant un vide dans des ventouses.
- Le système à aimant : approprié pour les produits en fer et acier.

II.5.2 Systèmes de stockage et déstockage automatisé multi allées

L'AS/RS multi allées est une variation de l'AS/RS à charge unitaire. Il est composé d'une seule machine S /R capable de circuler sur deux axes horizontaux, pour servir plusieurs allées à la fois. Sa topologie est identique à celle de l'AS/RS à charge unitaire. Toutefois une allée commune reliant toutes les allées de service est aménagée pour permettre à la machine S/R de circuler(14).

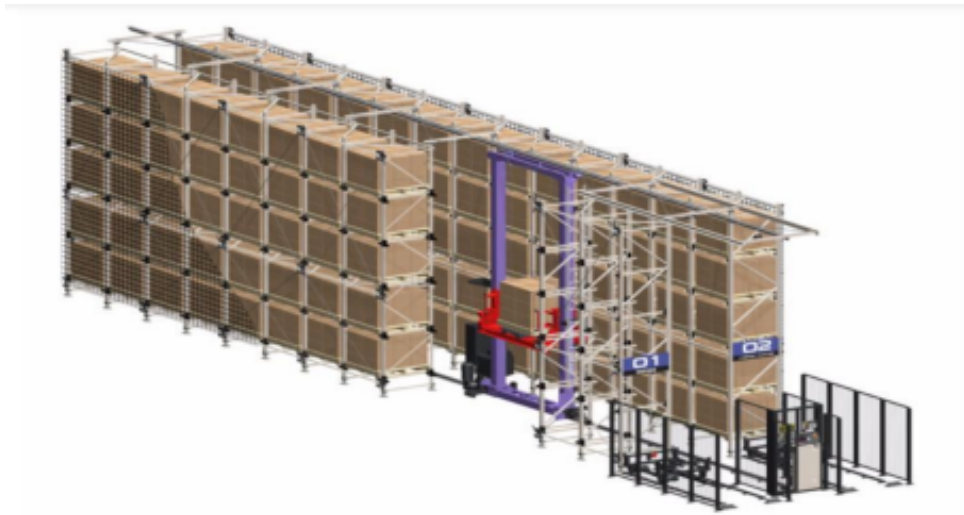


FIGURE II.3 – Les AS/RS à charge unitaire

II.5.3 Systèmes de stockage et déstockage automatisé à racks glissants (racks mobiles)

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

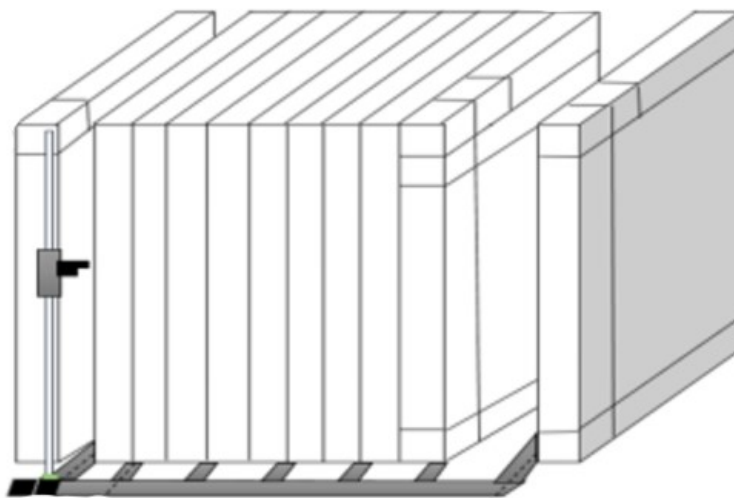


FIGURE II.4 – L'AS/RS à racks glissants

II.5.4 Systèmes de stockage et déstockage automatisé 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 II.5 – AS/RS à carrousel

II.5.5 Systèmes de stockage et déstockage automatisé à étagères profondes

II.2.6.5 AS/RS à étagères profondes Les AS/RS à étagères profondes est une variation de l'AS/RS à charge unitaire. La différence, est que dans les AS/RS à étagère profonde, plusieurs charges unitaires peuvent être stockées dans le même casier l'une après l'autre. Jusqu'à 10 charges peuvent être ainsi stockées dans le même casier, et donc, possédant la même adresse. Ceci permet une grande densité de stockage et une utilisation de l'espace maximum. Au niveau de chaque casier, les produits peuvent se Déplacer horizontalement. Ils sont stockés d'un côté du casier et déstockés de l'autre côté. Ce déplacement est possible grâce à un plateau mobile qui se déplace de la machine S/R à l'entrée du casier. La machine S/R est identique à celle d'un AS/RS à charge unitaire avec en plus des fonctions spécifiques pour lui permettre le contrôle des plateaux mobiles.

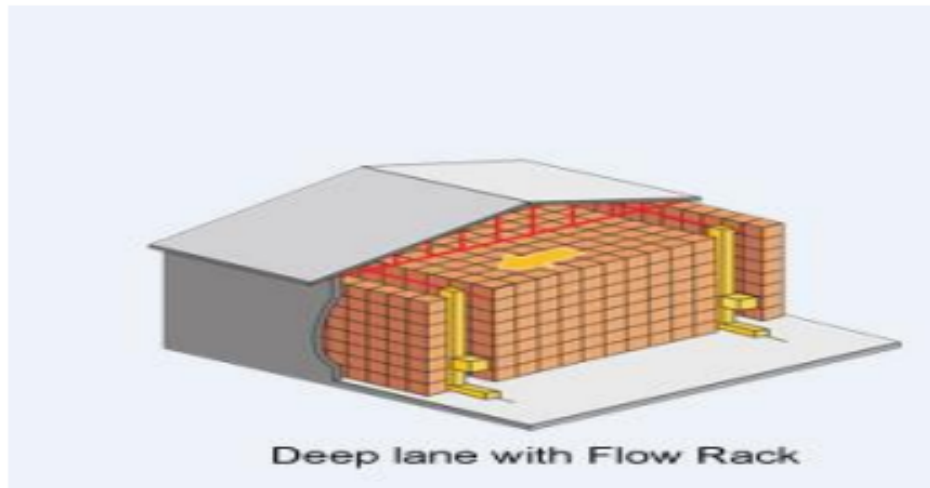


FIGURE II.6 – Les AS/RS à étagères profondes

II.5.6 Systèmes de stockage et déstockage automatisé à navettes

Les navettes AS/RS peuvent fonctionner sur 1 niveau, ou peuvent se déplacer à plusieurs niveaux via des ascenseurs situés à la fin des rangées. Les navettes sont alimentées par batterie et sont assez intelligentes pour savoir quand recharger. Lorsqu'un article est demandé, la navette se rend à l'emplacement du produit et le prend dans le rack. Il faudra ensuite conduire à la fin d'une rangée où un ascenseur sera en attente. L'ascenseur peut soit retirer le produit de la navette, soit transporter la navette elle-même. Une fois que le produit atteint le niveau de base du système de navette, il peut être déplacé vers un convoyeur et livré à la prochaine destination.



FIGURE II.7 – AS/RS à navettes

II.5.7 Systèmes de stockage et déstockage automatisé 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.

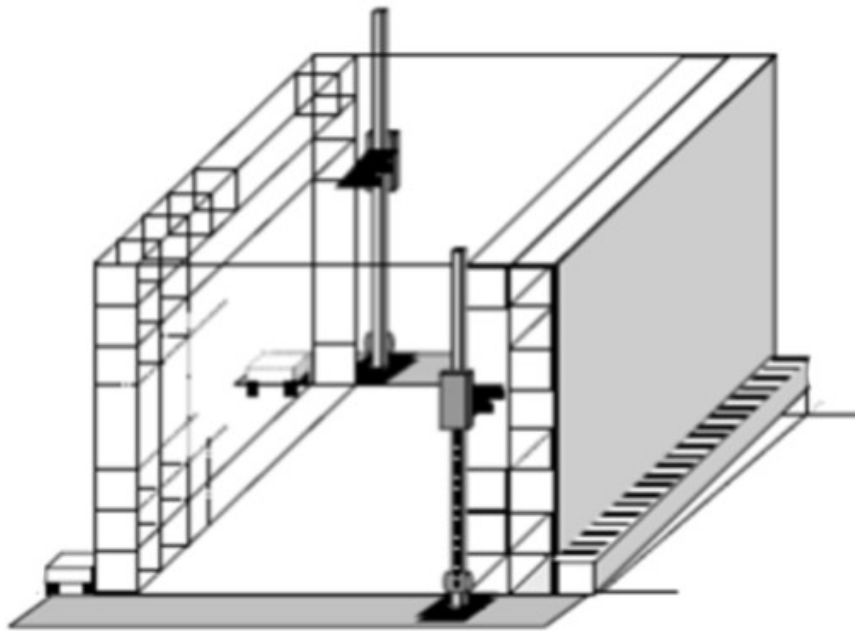


FIGURE II.8 – L'AS/RS à convoyeur gravitationnel

II.6 l'état de l'art

L'un des principaux objectifs des AS/RS est la minimisation de temps du cycle moyen de la machine S/R a fait l'objet de plusieurs études. Parmi les premiers qui ont développé un modèle analytique de temps de cycle, Hausman et al (14). Ils ont abordé le problème de l'assignement optimal de stockage. Ils 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).

Bozer et White (15) ont établi une expression pour le temps de cycle .Han et al (11) ont développé une expression mathématique estimant le temps du double cycle, sous la règle « plus proche voisin » (nearest-neighbor). Sous cette règle, les requêtes de stockage et les requêtes de déstockage les plus proches sont appariées pour minimiser le temps de double cycle.

Hwang et al (8) ont proposé une expression mathématique pour les AS/RS multi allées, dans ce travail, chaque rack est considéré comme une face continue et pour chaque rack, ils ont développé une expression analytique du temps de cycle. Chang et al (12), ont proposé un modèle pour le temps de cycle avec plusieurs vitesses et en tenant compte de l'accélération décélération de la machine S/R. Ashayeri et al., (23) ont proposé une approche géométrique pour modéliser le temps de cycle dans un AS/RS utilisant les Stockage par classe. Ghomri et

al., (19) ont proposé une expression analytique du temps moyen de simple cycle d'un AS/RS multi allées en considérant que l'ensemble des racks représentent un espace continue.

Dans Sari et al. (21) et Sari (17) un modèle exact et un autre approché du temps de cycle pour un AS/RS à convoyeur gravitationnel ont été développé. Le modèle approché est basé sur une approche continue, où le rack est supposé continu. Le modèle exact est basé sur une approche discrète. Les expressions des deux approches sont comparées via la simulation. S multi allées en considérant que l'ensemble des racks représentent un espace continue. Lerher et al. (13) ont développé un modèle analytique du temps de cycle d'un AS/RS multi-allées prenant en considération l'accélération et la décélération de la machine S/R. Kouloughli et al. (19) ont utilisé les résultats de Ghomri et al., (17) pour trouver les dimensions optimales du même système pour un temps de simple et double cycle minimal. Dans Kouloughli et al. (13), les auteurs ont fixé l'une des trois dimensions du l'AS/RS multi allées et déterminé les deux dimensions optimales restantes.

Des expressions analytiques discrètes pour les AS/RS multi allées et pour les AS/RS à racks glissants ont été développé par Sari(21).

Guezzen et al (22) les auteurs ont développé deux modèles analytiques continus de temps moyen de simple cycle pour un AS/RS à rack glissants. Dans le premier modèle les auteurs considèrent le cas où le temps de glissement des racks est inférieur au temps de déplacement le long de l'allée principale. Dans le deuxième modèle, ils ont considéré le cas où le temps de glissement des racks est supérieur au temps de déplacement le long de l'allée principale. Dans Sari et al (9), les auteurs se sont intéressés à développer une expression analytique pour le temps de cycle d'un nouveau type d'AS/RS à profondeur multiple composé d'une seule machine S/R et de convoyeurs gravitationnels.

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

II.7 Le type de Systèmes de stockage et déstockage recommandé adapter à l'industrie sidérurgique (SLC-AS/RS)

Un SLC-AS/RS est un système de stockage et de récupération automatisé basé sur (Shuttle,Lift,Crane)spécifiquement conçu pour l'industrie sidérurgique et les industries similaires qui manipulent des composants métalliques lourds et volumineux(barre d'acier, tube métallique, billettes...).Ces systèmes sont élaborés pour assurer une gestion efficace, sécurisée et rapide des matériaux lourds et encombrants, tout en optimisant l'utilisation de l'espace de stockage et en minimisant les coûts de main-d'œuvre.

II.8 Ressource d'un SLC-AS/RS

Point d'entrée/Sortie

c'est un convoyeur à chaîne qui joue même le rôle d'un tampon aussi (capable de collecter de 10 à 30 paquets de barre métallique) et équipées de capteurs pour contrôler le poids. points d'entrées ne sont pas dans le même coté avec les point de sortie et chaque point d'E/S a une seule navette pour éviter la collision.

Navette(shuttle)

assure les mouvements horizontaux peut charger un ou deux paquets.

L'ascenseur (Lift)

assure les mouvement verticaux .

La grue (Crane)

se compose de trois composant qui permet de se déplacer long de la longueur de rayonnage avec la structure principale. se déplace dans la largeur de rayonnage avec le train 2ème composant de la grue . et dans la direction verticale avec son 3ème composant (fourche)

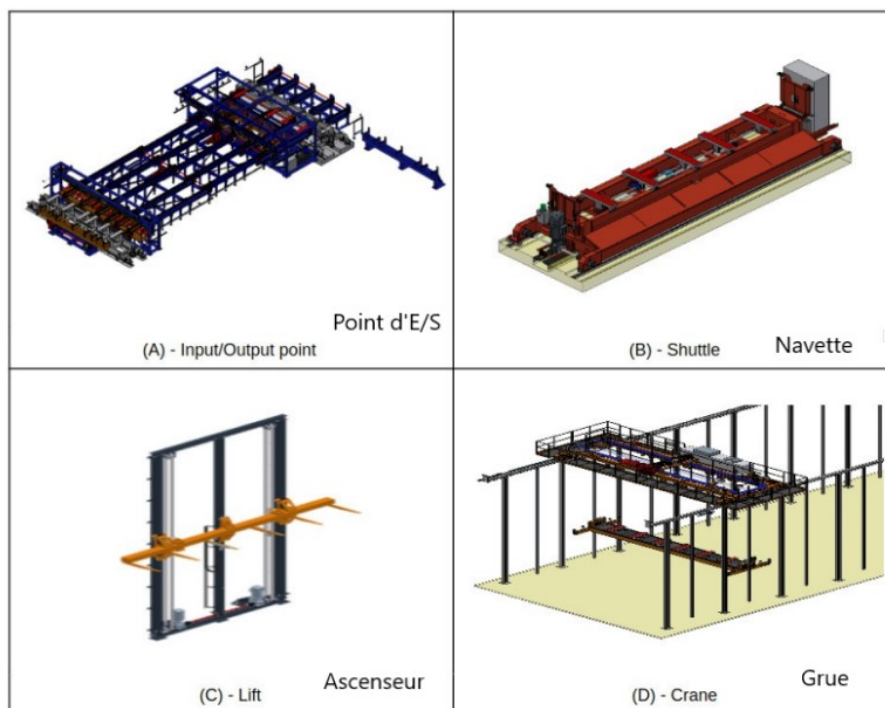


FIGURE II.9 – les ressources de SLC-AS/RS en 3D

rayonnage(rack)

une structure de stockage verticale, joue un rôle important pour minimiser l'espace de stockage se compose :

de colonnes verticale (de bas vers le haut) et des étagère horizontales où on peut stocké les barre d'acier.

un seule grue et plusieurs ascenseur. chaque rayonnage (de long 100 par exemple) constitue des passage entre les colonne pour la navette, cela permet de faciliter le déplacement de marchandises dans l'entrepôt.

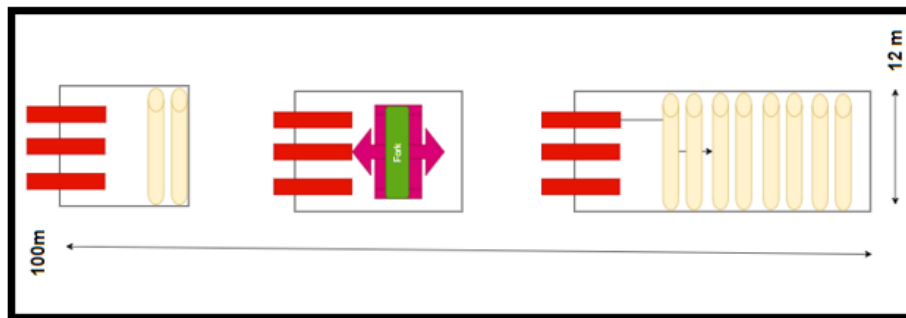


FIGURE II.10 – structure de rayonnage

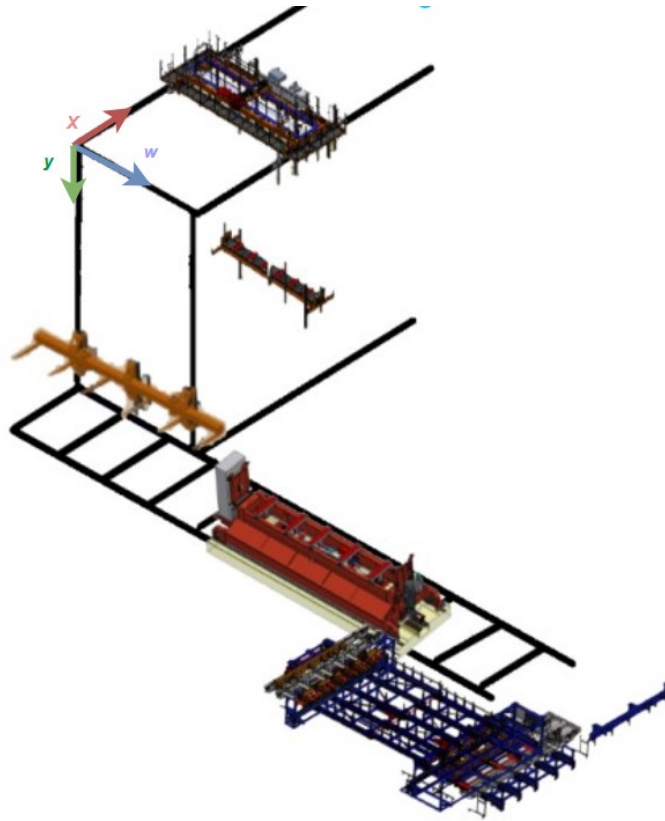


FIGURE II.11 – Structure de système SLC-AS/RS 3D avec les coordonnées $((x, w, y))$

II.9 Description de zone

on suppose que la zone se compose de 3 rayonnages, deux point d'entrée et deux point de sortie .

Les rayonnage sont alignés en parallèle, correspondant aux convoyeurs principaux disposés perpendiculairement. Les navettes se déplacent horizontalement le long des convoyeurs vers l'ascenseur entre les colonnes des racks, assurant ainsi une desserte efficace de tous les racks.

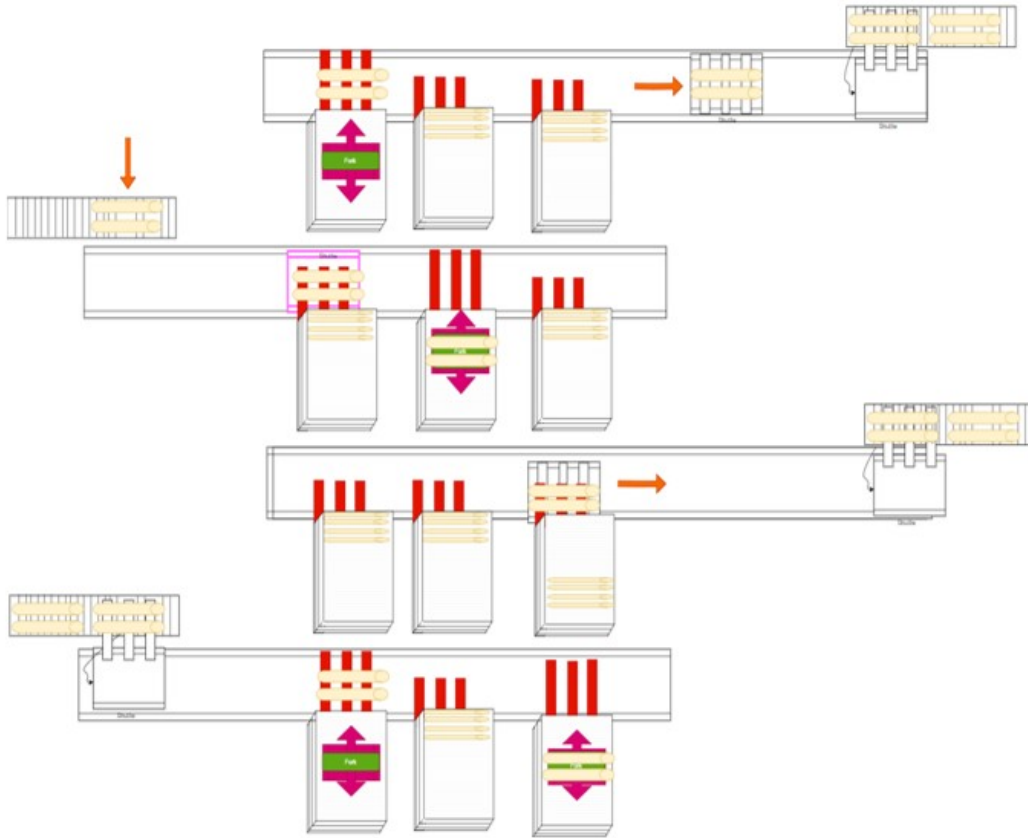


FIGURE II.12 – zone complet d’entrepôt

II.10 Fonctionnement des (SLC-AS/RS)

II.10.1 Cas de Stockage

- Arrivée des paquets au point d’entrée.
- Si la navette n’est pas à proximité du point d’entrée, elle est rappelée.
- Une fois la navette près du point d’entrée.
- elle charge un ou deux paquets.
- les transporte vers l’ascenseur.
- Si l’ascenseur est déchargé et au rez-de-chaussée, il est immédiatement chargé.
- Sinon, la navette attend que l’ascenseur.
- l’ascenseur monte le paquet en haut du Rayonnage et envoie une demande à la grue.
- La grue se déplace vers l’ascenseur , récupère le paquet et libère l’ascenseur.
- La grue amène le paquet à son emplacement de stockage assigné et attend de nouvelles instructions si nécessaire.

Schéma de stockage

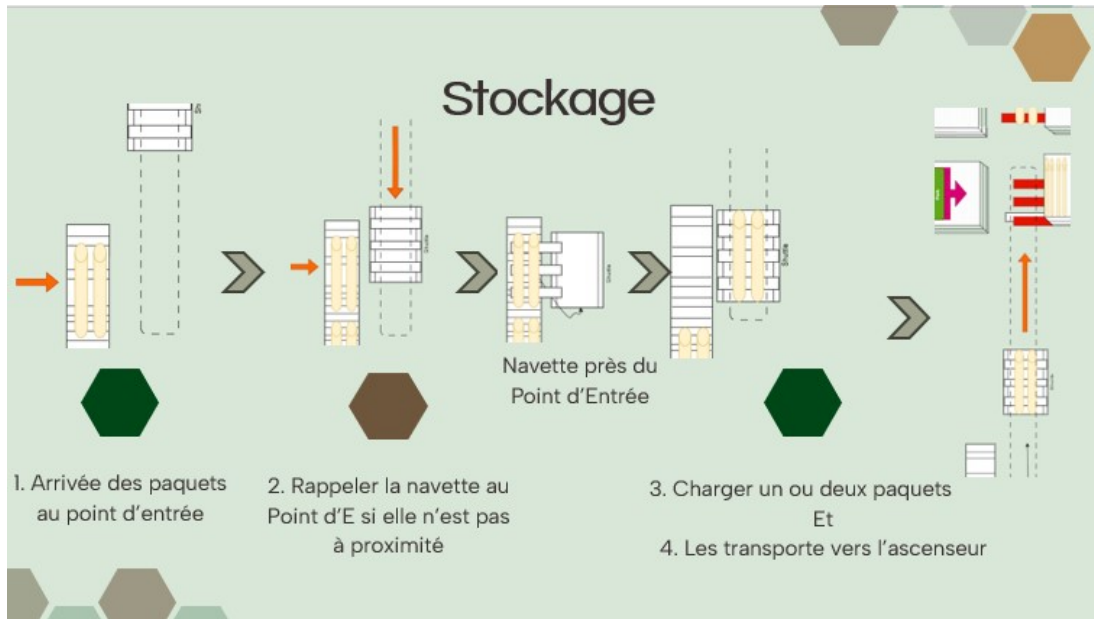


FIGURE II.13 – Stockage Au point d'E/S

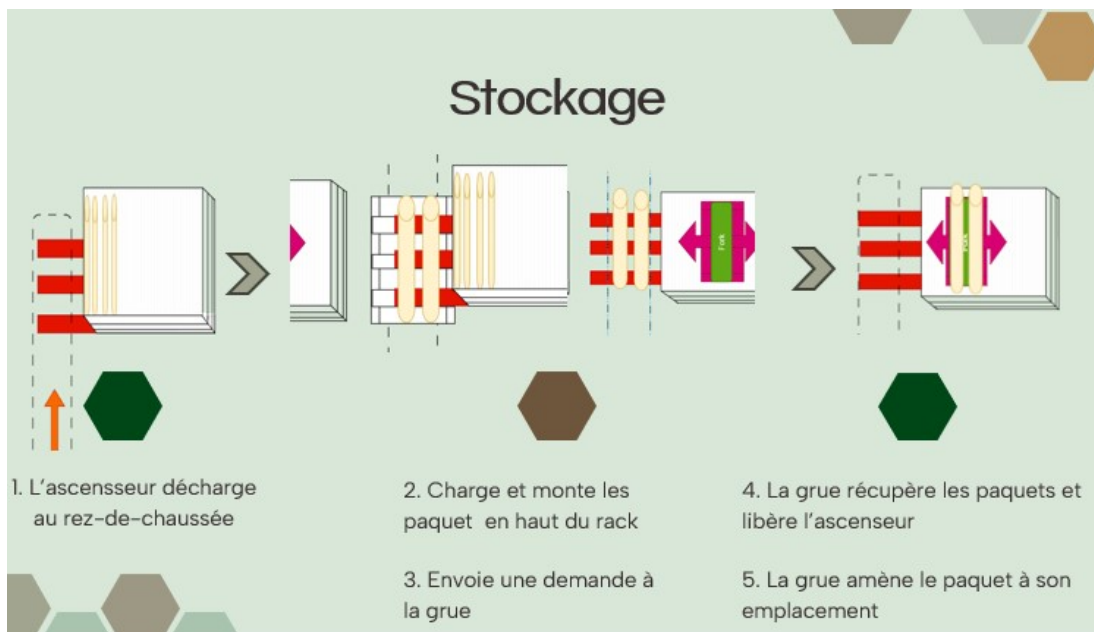


FIGURE II.14 – Stockage au point IP_{Dw}

II.10.2 Cas de récupération

- Opération initiée par la grue.
- La grue se déplace vers l'emplacement de stockage du paquet requis.
- Une fois sur place, la grue transporte le paquet jusqu'à l'ascenseur correspondant au point de sortie.
- Attente de l'ascenseur.
- Lorsque l'ascenseur est prêt, le paquet est chargé, la grue est libérée et une demande est envoyée à la navette.
- La navette, une fois disponible, se déplace vers le rack.
- L'ascenseur descend et attend la navette.
- Lorsque la navette est prête, le paquet est chargé, l'ascenseur est libéré et la navette transporte le paquet jusqu'au point de sortie.

Schéma de déstockage

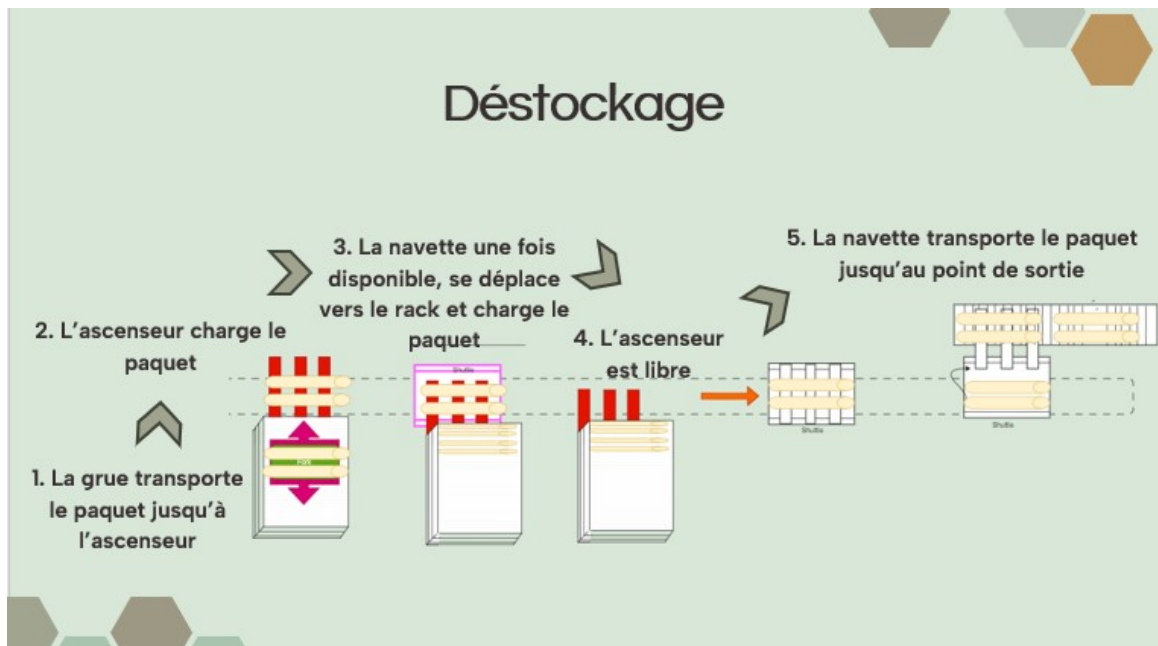


FIGURE II.15 – Déstockage

Conclusion

En conclusion, les systèmes de stockage et de récupération automatisés (SLC-AS/RS) représentent une solution innovante et efficace pour la gestion des entrepôts et des centres de distribution modernes. À travers ce chapitre, nous avons exploré en détail le fonctionnement de ces systèmes, leur architecture et leurs divers composants, ainsi que les différentes technologies AS/RS disponibles, adaptées à une variété de charges lourds, qu'elles soient des paquets de barre d'acier ou des tubes spirales en Aciers ...

Chapitre III

Calcul du temps de cycle

Introduction

Le calcul du temps de cycle des AS/RS est important pour identifier l'inefficacité et l'éliminer, ce qui permet toujours de réduire le temps de cycle et ça aide beaucoup dans l'augmentation de la productivité et éliminer le temps perdu surtout dans les industrie sidérurgique connu par ses produits fini et produits semi-fini lourds et une taille importante .

Dans ce chapitre on va d'abord discuter de le temps de cycle son rôle et ses objectif, les technique de collecte les données sur le système, les paramètre de modèle, la modélisation du temps de cycle et l'implémentation ou en calcule le temps de cycle à partir de modèle avec différents scénarios et analyser les résultats finalement on vas parler sur l'optimisation de ce système SLS-AS/RS existe dans la littérature .

III.1 Définition et Objectif

III.1.1 Définition du temps de cycle

Le temps de cycle est un indicateur crucial dans l'optimisation de n'importe quelle domaine de production, permet d'évaluer l'efficacité et d'évaluer les performance du système, et ça aide dans l'amélioration continues des systèmes depuis l'entrée de matière première jusqu'à livraison de produits fini au clients donc ce métrique fondamentale est essentiel pour l'optimisation des opération où on peut identifier les goulets d'étranglement avec, permet aussi de trouver une méthode pour réduit ce indicateur (temps de cycle) pour gagner plus de temps et augmenter la productivité et ça va réduit les couts.

III.1.2 Objectif de calculer le temps de cycle

n a choisir de calculer le temps de cycle pour le type d'AS/RS qui se basé sur 3 machine qui sont la navette, l'ascenseur et la grue SLC-AS/RS proposer dans notre mémoire pour les industrie sidérurgique algérienne ce qui dépend à une manutention manuelle des produit des entrepôts non automatisé qui peut provoquer des erreurs à cause de l'intervention humaine Le temps de cycle bien calculer nous permet d'améliorer les performance du système de façon continue . Avec le calcul du temps de cycle on peut connaitre la capacité de système donc on peut l'augmenter si nécessaire, offre l'opportunité d'augmentation dans la rapidité du SLC-AS/RS par une optimisation qui travail sur la minimisation de ce temps . Ainsi, le temps de cycle aide à faire un bon plan de planification et ça nous permet de prévoir les délai nécessaire pour chaque opération. Comme on peut aussi réduire le temps d'attente et les coûts de l'entrepôt.

III.1.3 Technique de collecte les données

SCADA

Le rôle essentiel du SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) est de surveiller en temps réel les opérations des systèmes AS/RS. Il recueille des informations à partir des capteurs intégrés aux équipements, comme les transstockeurs, les convoyeurs et les systèmes de levage. Ces données comprennent des renseignements concernant l'état des machines, les emplacements des articles, les températures, ainsi que les notifications de problème. Le SCADA offre aux opérateurs la possibilité de superviser et d'ajuster à distance les performances du système tout en garantissant une maintenance préventive en analysant les tendances et les anomalies repérées. En outre, il augmente l'efficacité des opérations en diminuant les périodes d'arrêt et en optimisant l'utilisation des ressources dans l'entrepôt.

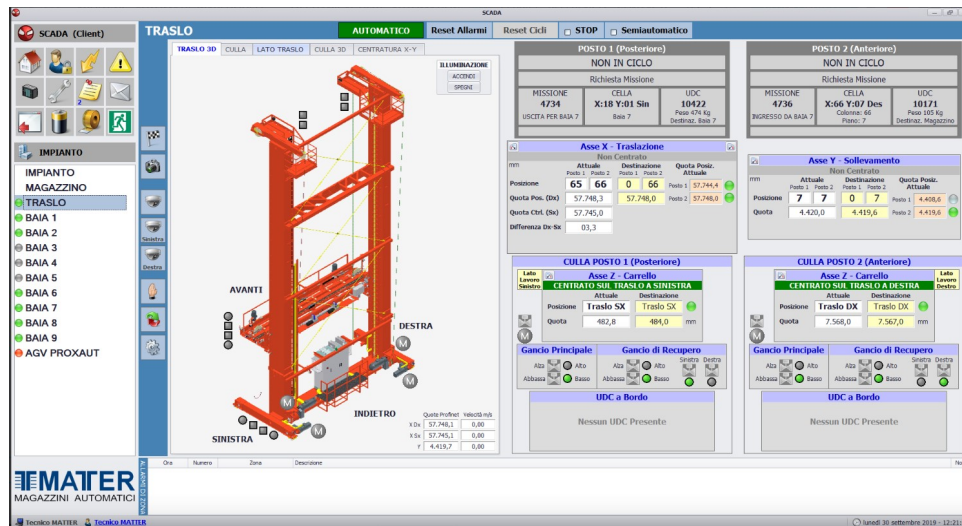


FIGURE III.1 – L’interface de logiciel SCADA

WMS

Warehouse management system, peut gérer les opération de stockage et de récupération d’entrepôt par la gestion des emplacement, Cela permet de stocker les paquets de barre d’acier de façon plus comme il permet d’optimiser l’espace dans les rayonnage avec une gestion automatiser de priorité, et nous permet aussi de prendre un vision sur les produit (tube, barre, tôles, billettes..) et de connaître le poids de chaque produit stocker et de connaître aussi combien de produits sort de l’entrepôt et ça avec une intégration avec logiciel ERP.

III.2 Définir les paramètre du modèle

— La distance totale parcourue par la grue est z .

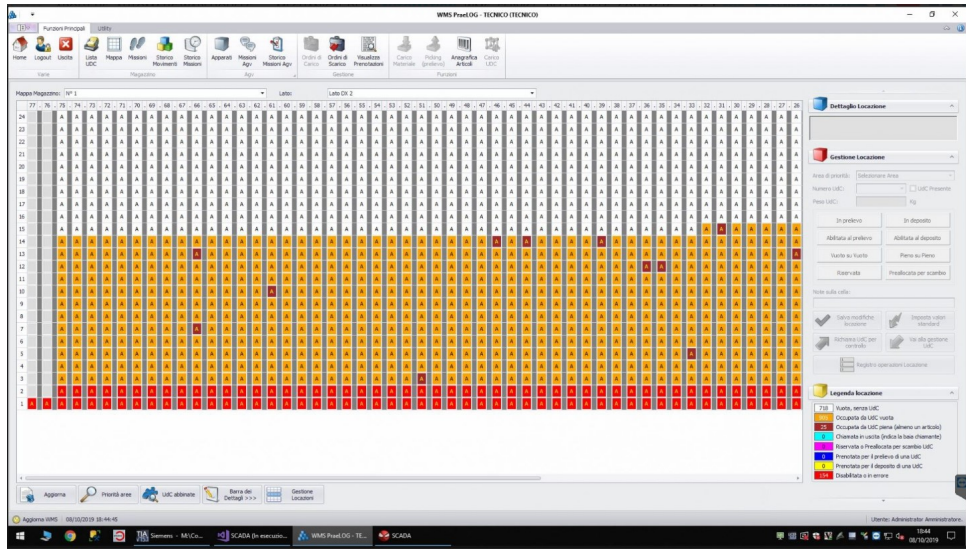


FIGURE III.2 – L’interface de l4ogiciel WMS

- k appartient à (x, w, y) et k L’indice qui peut être indiquer une direction spécifique par exemple zy : la distance parcourue par la fourche de la grue le long de l’axe vertical
- \tilde{z} le temps nécessaire pour parcourir la distance z
- $\tilde{L}, \tilde{W}, \tilde{H}$ sont les temps nécessaire pour le déplacement de la grue dans la distance L (la direction x), W (la direction w) et H (la direction y)
- T facteur de normalisation : le maximum entre les 3 temps de déplacement $T = \max \tilde{L}, \tilde{W}, \tilde{H}$.
- t_s temps de déplacement de la navette (de les points d’entrée sortie vers le rayonnage)
- t_l temps de déplacement de l’ascenseur (de la haute de rayonnage ver le IP_{DW})
- v_k la vitesse maximale autorisée de la grue dans la direction $k \in (x, w, y)$.
- a_k Accélération constantes dans la direction $k \in (x, w, y)$.
- d_k décélération constante dans la direction $k \in (x, w, y)$.
- $z_{k,a}$ la distance nécessaire pour accélérer de zéro à $v_{k,a}$
- $z_{k,d}$ la distance nécessaire pour décélérer de $v_{k,a}$ à zéro
- $v_{k,r}$ la vitesse maximale atteinte par la grue pendant une opération avant décélérer pour s’arrêter.
- $Zest$ un variable aléatoire représentant la distance totale parcourue par la grue
- X, W, Y est le même coordonnée aléatoire sur l’axe x, w, y .
- $f_R(r)$ fonction de distribution de probabilité pdf d’une variable aléatoire générique R

Autre Variable :

- CT_{SC} temps de cycle pour les cycles de commande simple.
- $W^{(n)}_{m_i, m_j}$: temps d’attente machine i m_i attendre l’arriver de la machine j m_j pendant l’opération n .

III.2.1 Paramètre cinématique de la grue

Afin d'évaluer précisément le temps de déplacement, nous considérerons également l'accélération et la décélération des machines impliquée dans le processus de manutention, diagramme de vitesse présenté dans la figure . . . , applicable à n'importe quelle direction $k \in \{x, w, y\}$.

Cycle1 c'est la situation standard : afin de parcourir une distance z_k la grue :

- 1- Accélère de 0 à vitesse maximale v_k avec une accélération a_k .
- 2- Avance avec une vitesse constante.
- 3- Commence la décélération constante d_k Pour s'arrêter, précisément, au point de destination.
- 4-La distance $z_{k,a} = (\frac{v_k^2}{2a_k})$ est nécessaire pour atteindre la vitesse maximale v_k , et $z_{k,d} = (\frac{v_k^2}{2d_k})$ est nécessaire pour s'arrêter complètement. Ainsi, seule la distance $(z_k - z_{k,a} - z_{k,d})$ est parcourue à vitesse constante v_k .

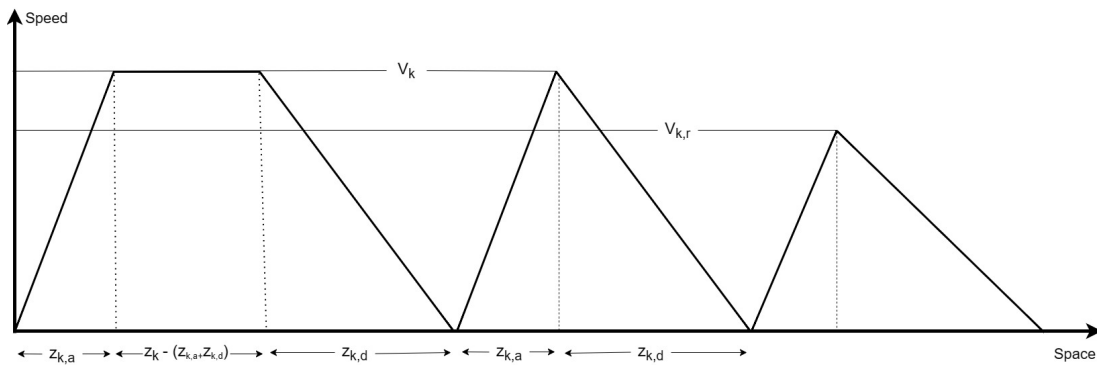


FIGURE III.3 – Diagramme de vitesse de la grue en fonction de distance parcourir

mais si $z_k \leq (z_{k,a} + z_{k,d})$ il ne peut y avoir aucun mouvement à vitesse constante, car la décélération doit immédiatement suivre la phase d'accélération. Cette condition extrême est illustrée par le deuxième et le troisième cycle de la Figure . . . analyse de deuxième et troisième cycle :

le deuxième cycle : $z_k = (z_{k,a} + z_{k,d})$ de sorte que $v_{k,r} = v_k$

le troisième cycle : $z_k < (z_{k,a} + z_{k,d})$ et donc la vitesse maximale atteinte $v_{k,r}$ reste inférieure à la vitesse maximale autorisée v_k .

\tilde{z}_k C'est le temps nécessaire à la grue pour parcourir une distance z_k le long de la direction k , peut être calculé comme dans l'équation .. :

$$z_k = \begin{cases} \frac{v_{k,r}}{2a_k} & z_k \leq z_{k,a} + z_{k,d} \\ \frac{v_k}{a_k} + \frac{z_k - (z_{k,a} + z_{k,d})}{v_k} + \frac{v_k}{d_k} & z_k > (z_{k,a} + z_{k,d}) \end{cases}$$

III.2.2 Les hypothèses

- La grue pendant une opération ne interrompte jamais pour aucun raison (les opération de stockage et déstockage ne sont pas préventives).
- Le poids de paquet ne change pas la vitesse, l'accélération et décélération des machines ou le temps de chargement/déchargement.

- Les mouvements de la structure principale de la grue et le train se produisent simultanément .
- Mais si la fourche de la grue est en train se déplacer donc les mouvement de la structure principale de la grue et son train est interdit la même chose si ces deux dernier et en train de déplacé la fourche n'est pas autorisé de faire un mouvement sur le plan vertical .
- Le temps de chargement/déchargement est constant .

III.2.3 Paramètre Géométrique du rayonnage

Les paramètres géométrique du rayonnage important pour connaître les distance et les direction parcourir par la grue pour déposer ou récupérer les paquets de barre d'acier dans sa position de stockage, dans notre mémoire on va faire une simple configuration où les paquets sont transférés de la grue à l'ascenseur . On va prendre en considération que deux directions, la première direction de l'axe x qui présente la longueur du rayonnage et l'axe y le long de la hauteur des rayonnage .

Le point d'origine des axes point : IP situé au coin supérieure de rayonnage à gauche, donc la structure principale de la grue se déplace de gauche à droite, et la fourche de la grue se déplace de haut vers le bas . En conséquence, la coordonnée x d'un point générique coïncide avec la distance parcourue z_x , Aussi pour la coordonnée y et la distance z_y .

pour une simplification de notation on va ajouter un tilda sur les coordonnée x et y pour exprimer le temps $\tilde{x} = \tau_x(x)$ et $\tilde{y} = \tau_x(x)$.

Ajoute des coordonnées normalisées : normalisées $\hat{x} = \frac{\tilde{x}}{T}$ et $\hat{y} = \frac{\tilde{y}}{T}$, pour un simplifier la notation sachant que T exprime la valeur maximal entre temps nécessaire pour parcourir H et le temps nécessaire pour parcourir L c'est-a-dire : $T = \max \tilde{H}, \tilde{L}$,

par exemple si le temps parcourir e toute la longueur du rayonnage est supérieure qur sa hauteur $T = \tilde{L}$ donc :

$$\left(\frac{\tilde{L}}{T} = 1, \frac{\tilde{H}}{T} = b\right)$$

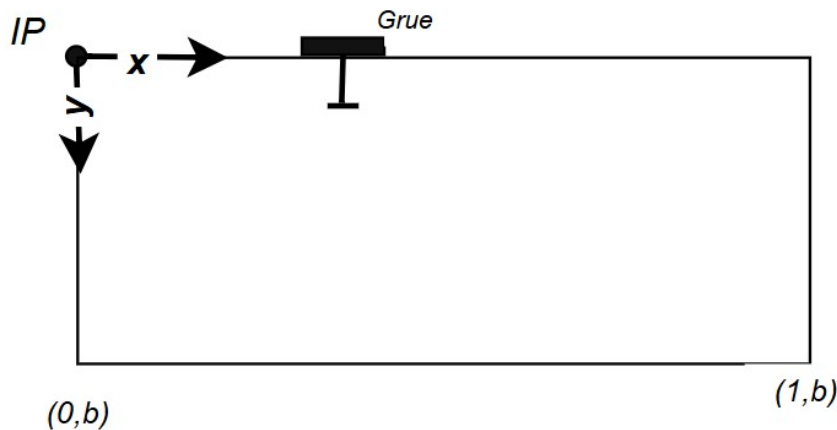


FIGURE III.4 – Caption

III.3 Modélisation du temps de cycle de simple cycle

III.3.1 le temps de cycle de la grue

on ne prendra en compte que les mouvements dans le plan x-y ; c'est-à-dire que les mouvements du train d'atterrissage sont ignorés. En outre, il est prévu que la grue fonctionne avec un seul cycle de commande, ce qui signifie que les opérations de stockage et de récupération sont réalisées de manière distincte. Plus spécifiquement, lors d'une opération de stockage où la grue transporte un paquet aux coordonnées \hat{x} et \hat{y} , elle :

- charge le paquet à $IP_{U_p} = (0, 0)$.
- Déplacer dans la direction horizontal de 0 à \hat{x} .
- La fourche de la grue descendre de 0 à \hat{y} .
- Décharger le paquet.

pour le cas de récupération le schéma se initialisé par la grue (dans le sens inverse).

En raison de l'hypothèse de stockage aléatoire et uniformément distribué, les coordonnées \hat{X} et \hat{Y} d'un point de stockage générique sont des variables aléatoires indépendantes et uniformément distribuées. De plus, comme les mouvements horizontaux et verticaux sont asynchrones, la distance totale \hat{Z} parcourue par la grue est une variable aléatoire égale à la somme de \hat{X} et \hat{Y} . Ainsi, en vertu de l'indépendance de \hat{X} et \hat{Y} , on sait que la pdf est donnée par $f_{\hat{Z}}(\hat{z})$ l'intégrale de convolution de l'équation suivante :

$$f_{\hat{Z}}(\hat{z}) = (f_{\hat{X}}(\hat{x}) \cdot f_{\hat{Y}}(\hat{y})) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\hat{Y}}(\hat{z} - \hat{x})f_{\hat{X}}(\hat{x})d\hat{x}$$

En raison des domaines sur lesquels $f_{\hat{X}}(\hat{x})$ et $f_{\hat{Y}}(\hat{y})$ sont définis, l'intégrale de l'équation peut être divisée en les parties suivantes :

$$\begin{aligned} -f_{\hat{Z}}(\hat{z}) &= \int_0^{\hat{z}} \frac{1}{b} d\hat{z} = \frac{\hat{z}}{b} && \text{pour } 0 \leq \hat{z} \leq b \\ -f_{\hat{z}-b}(\hat{z}) &= \int_0^{\hat{z}} \frac{1}{b} d\hat{z} = 1 && \text{pour } b < \hat{z} \leq 1 \\ -f_{\hat{Z}}(\hat{z}) &= \int_{\hat{z}-b}^1 \frac{1}{b} d\hat{z} = \frac{1+b}{b} - \frac{\hat{z}}{b} && \text{pour } 1 < \hat{z} \leq 1+b \end{aligned}$$

Et $f_{\hat{Z}}(\hat{z})$ peut être finalement formalisé comme dans l'équation suivante :

$$f_{\hat{Z}}(\hat{z}) = \begin{cases} \frac{\hat{z}}{b} & 0 \leq \hat{z} \leq b \\ 1 & b < \hat{z} \leq 1 \\ \frac{1+b}{b} - \frac{\hat{z}}{b} & 1 < \hat{z} \leq 1+b \\ 0 & \text{autre} \end{cases}$$

Comme un seul cycle de commande comprend deux déplacements égaux à \hat{Z} , le temps de cycle devient : $CT_{SC} = (2T\hat{Z} + h)$, où est la somme des temps de chargement et de déchargement de la grue (chacun égal à $0.5h$) et T est le facteur de normalisation. Ainsi, la distribution de probabilité de CT_{SC} peut être facilement obtenue à partir de l'équation ci-dessus : est le facteur de normalisation. Ainsi, la distribution de probabilité de peut être facilement obtenue à partir de l'équation et sa moyenne et sa variance sont données respectivement par les équations suivantes :

$$E(CT_{SC}) = E[2T\hat{Z} + h] = 2TE[\hat{Z}] + h = 2T(E[\hat{X}] + [\hat{Y}]) + h = (1+b) \cdot T + h$$

$$\begin{aligned} Var(CT_{SC}) &= Var[2T\hat{Z} + h] = 4T^2 \cdot (Var[\hat{Z}]) = 4T^2 \cdot (Var[\hat{X}] + Var[\hat{Y}]) \\ &= 4T^2 \cdot \left(\frac{1+b^2}{12}\right) = T^2 \cdot \left(\frac{1+b^2}{3}\right) \end{aligned}$$

pour simplifier le calcul, on a appliqué les propriétés de la moyenne et de la variance.

III.3.2 intergration de navette et ascenseur

Après modéliser le temps de cycle de la grue on va intégrer le temps de déplacement de la navette et l'ascenseur pour l'obtention de temps de cycle totale. Les machines du système sont indépendantes et fonctionnent en parallèle, donc on peut trouver des machines inactive en attendant l'arriver d'une autre machine, si pour ça le temps de cycle de la grue calculé précédemment peut augmenter si la grue attendre l'ascenseur qu'il est en train d'attendre la navette.

On va prendre en considération le temps d'attente pour obtenir une estimation plus précise Chaque rayonnage contient une seule grue, une seule ascenseur et une seule navette comme vous voyez dans la figure suivante :

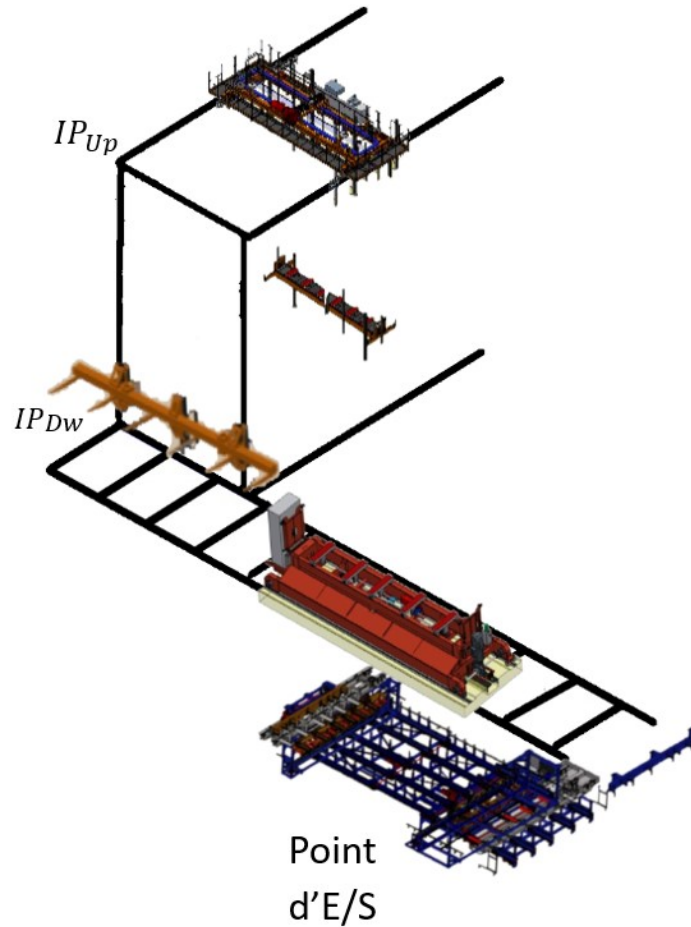


FIGURE III.5 – structure du SLC-AS/RS avec des machines en 3D

La grue et l'ascenseur se rencontrent au IP_{Up} . La navette et l'ascenseur se rencontrent au IP_{Dw} . Temps de déplacement de la navette de point d'E/S vers l'ascenseur t_s aller horizontal simple. Temps de déplacement d'ascenseur de IP_{Dw} vers le haut IP_{Up} est t_l . Le temps nécessaire de déplacer le paquet de la navette à l'ascenseur et même au point d'E/S est constant inclut dans t_l . La navette n'attend pas un paquet au point d'E/S pour estimer les performances maximales du système SLC-AS/RS.

On va présenter le schéma de fonctionnement de base d'un cycle de commande simple :

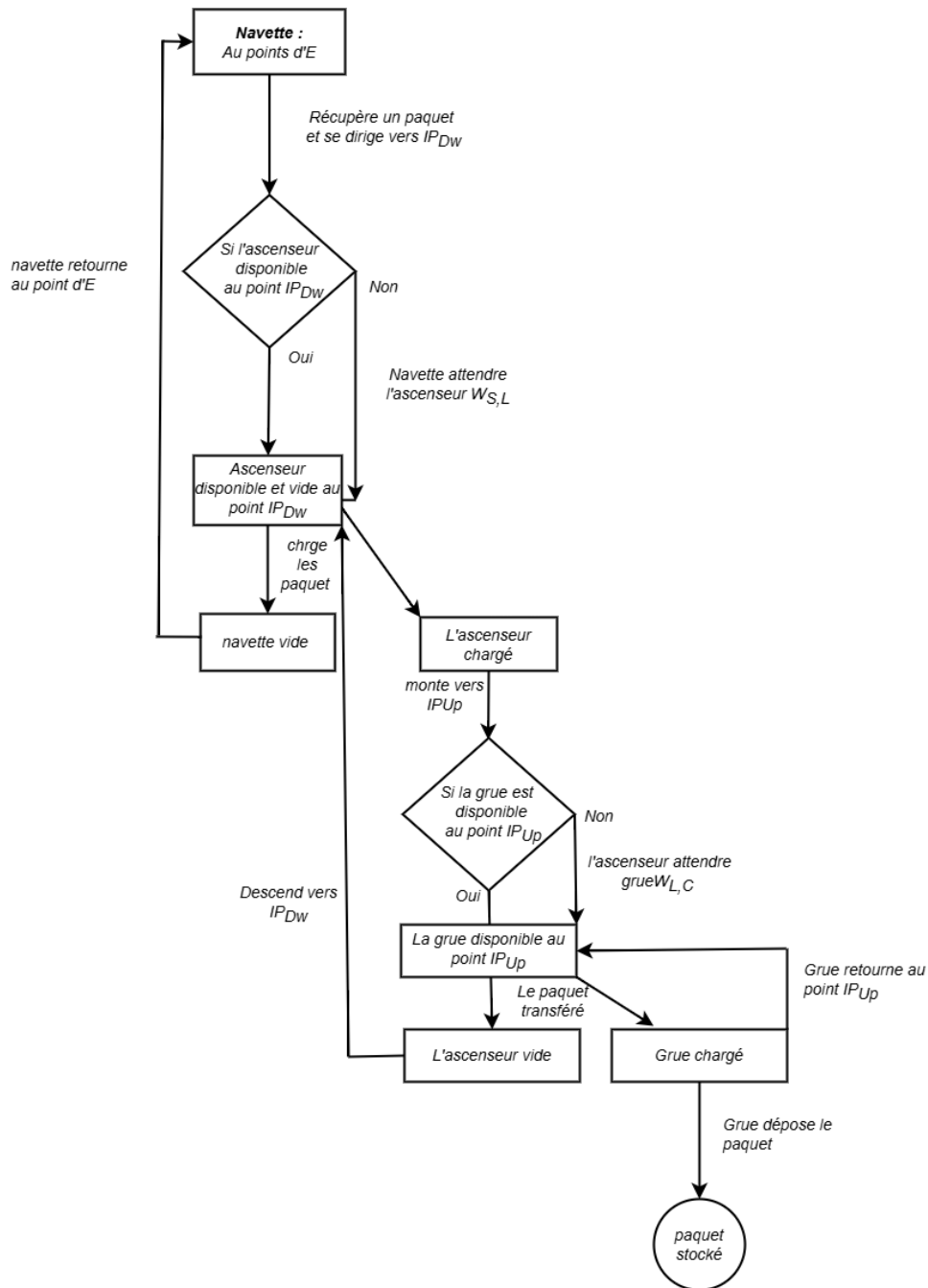


FIGURE III.6 – schéma de fonctionnement du système SLC-AS/RS,drawio

Pour maximiser les performances, un seule paquet va transférer d'une machine à une autre, Les deux appareils concernés dans la transaction se dirigent immédiatement vers leur prochaine destination. Par conséquent, en ce qui concerne la grue et l'ascenseur, dès qu'ils quittent IP_{Up} simultanément, sachant que : la grue prendra un temps égale à $(2\tilde{L}\hat{z} + h/2)$ pour revenir à IP_{Up} , L'ascenseur prendra un temps égale à $(2T_l + W_{S,L})$ pour revenir à IP_{Up} , où $W_{S,L}$ est le temps éventuel pendant lequel l'ascenseur a dû attendre la navette à IP_{Dw} .

$W_{m_i,m_j}^{(n)}$ C'est le temps où la machine i attend la machine j à la n -ème opération

générique, si on considère la grue et l'ascenseur (de sorte que $m_i = C$ et $m_i = L$) on trouve que :

$$W_{C,L}^{(n)} = \max\{0, (2t_l + W_{S,L}^{(n-1)}) - (2\tilde{L}\hat{z} + h/2)\}$$

$$W_{L,C}^{(n)} = \max\{0, (2\tilde{L}\hat{z} + h/2) - (2t_l + W_{S,L}^{(n-1)})\}$$

De même manière, pour l'ascenseur et la navette à IPDw, nous constatons que : Comme il est observé, il y a une dépendance temporelle entre les états du système cela signifie que chaque machine doit attendre la fin de tâche précédente (n-1) d'autre machine avant d'exécuter une nouvelle opération (n) c'est-à-dire que la machine influencé par ce qui s'est passé auparavant Dans un scénario déterministe (non probabiliste), le système atteint rapidement un état stable et tous les temps d'attente deviennent constants dans le temps, c'est-à-dire :

$$W_{m_i, m_j}^{(1)} = W_{m_i, m_j}^{(2)} = \dots = W_{m_i, m_j}^{(n)}$$

Malheureusement, du fait que $2\tilde{L}\hat{z}$ est une variable aléatoire continue, les possibilités de l'états du système seraient infinis et même en réduisant l'analyse à un nombre fini d'états, la chaîne simplifiée ne pourrait pas être généralisée à toutes les configuration possible. Pour ces raisons, l'utilisation d'une chaîne de Markov serait peu fonctionnelle et une approche approximative plus simple sera suggérée par la suite.

III.3.3 Une approche approximative possible

Premièrement, si la navette est plus rapide que l'ascenseur ($2t_l \geq 2t_{sc}$) c'est plus facile et cela signifie que l'ascenseur n'attend jamais à IP_{Dw} $W_{L,S}^{(n)}=0$ Donc, le temps de cycle globale ne dépend pas de la navette car, par rapport à grue l'ascenseur mettra toujours un temps fixe $\phi = 2t_l$ Pour revenir au point IP_{UP} avec un nouveau paquet dans ce cas le temps de cycle globale du système qui inclut le temps d'attente éventuel de la grue devient :

$$CT_{SC} = \max\{\phi, (2\tilde{L}\hat{z} + 0.5h)\} + 0.5h$$

Le dernier $0.5h$ ajouter à l'équation temps nécessaire de déplacer le paquet de

l'ascenseur à la grue, et le temps de chargement/déchargement de la navette inclus dans la valeur fixe ϕ

III.4 Optimisation

Il est essentiel de maximiser l'efficacité des opérations d'entreposage et de maintenance automatisées en optimisant les systèmes SLC-AS/RS, qui reposent principalement sur des technologies de shuttle lift et de crane (grue). Ces dispositifs, qui permettent le transport d'une seule unité de charge à la fois, sont basés sur un shuttle qui déplace les articles horizontalement dans les allées de l'entrepôt et un crane qui permet le déplacement vertical entre différents niveaux de stockage. La réduction du temps de cycle est l'un des principaux obstacles à l'optimisation de ce type d'AS/RS, qui influence la vitesse avec laquelle une opération de stockage ou de récupération peut être réalisée.

Dans la littérature y a qu'un seule article qui parle de l'optimisation de SLC-AS/RS de (Massimo Bertolini, Mattia Neronia, Angel A. Juan)(20).L'article décrit un algorithme de simulation-optimisation pour réduire le temps d'exécution des opérations, en tenant compte de contraintes spécifiques comme le poids et la qualité des articles choisis. L'approche hybride décrite combine la simulation d'événements discrets avec une heuristique aléatoire biaisée, permettant de traiter efficacement les dépendances temporelles complexes rencontrées dans des scénarios dynamiques. Le modèle proposé permet de prendre des décisions intelligentes en temps réel, conduisant à des solutions réalisables et optimisées en quelques secondes de calcul. En optant pour cette méthode, il est envisageable de résoudre les problèmes d'optimisation de manière plus efficace par rapport aux approches conventionnelles telles que le recuit simulé, qui se révèle obsolète en termes de vitesse et de qualité des solutions. Les résultats de cet article sont appuyés par une série d'expériences informatiques, démontrant le potentiel de cette approche dans un domaine où les contraintes sont particulièrement exigeantes. Ce travail représente une avancée significative dans le domaine de l'optimisation des systèmes SLC-AS/RS, surtout dans les environnements industriels complexes comme celui de l'acier, où la gestion des temps de cycle et des contraintes opérationnelles est cruciale.

Conclusion

Ce chapitre on a permet de connaître l'objectif de calculer le temps de cycle, les technique qui peut nous aider a collecte des donnée ou gérer SLC-AS/RS, les paramètre du système géométrique et cinématique qui nous aider à modéliser le temps de cycle du système SLC-AS/RS et on a aussi discuté des recherches scientifiques relatives à l'optimisation de ce système.

Conclusion Générale

Cette étude nous a aidé pour mieux comprendre l'importance de secteur sidérurgique et son impact crucial sur l'économie de pays et son effet sur beaucoup d'autre secteur industriel .

Comme l'idée d'automatisé les entrepôts sidérurgique a été clarifiée que c'est la solution optimale pour éliminer les erreurs humaine, réduit les risque d'accidents mortel , et augmenter la productivité de système .

on à réussi de trouver un système de stockage et déstockage automatiser adapté avec les produit lourds de ce secteur (SLC-AS/RS) on a bien compris sa structure et son fonctionnement à travers ce travail .

on a également pu identifier l'importance de calcul du temps de cycle et son role crucial dans l'optimisation de système.

Bibliographie

- [new] News article on steel industry safety. <https://www.newszone.co.kr/news/articleView.html?idxno=3529>. Accessed : 2024-09-21.
- [kos] Safety case studies. <https://www.kosha.or.kr/kosha/data/regionalCase.do?mode=view&articleNo=442704&article.offset=70>. Accessed : 2024-09-21.
- [imb] Steel factory safety incident. https://imnews.imbc.com/replay/2022/nwtoday/article/6351119_35752.html. Accessed : 2024-09-21.
- [tos] Tosyali algérie. <https://www.tosyali-algerie.com>. Accessed : 2024-09-21.
- [uls] Workplace accident report. <https://ulsansafety.tistory.com/5605>. Accessed : 2024-09-21.
- [han] Workplace accidents in steel industry. <https://www.hani.co.kr/arti/society/labor/1010381.html>. Accessed : 2024-09-21.
- [7] AQS (2017). Document interne de l'entreprise aqs.
- [8] Ashayeri, J., Heuts, R., Valkenburg, M., Veraart, H., and Wilhelm, M. (2002). A geometrical approach to computing expected cycle times for zone based storage layouts in as/rs. *International Journal of Production Research*, 40(17) :4467–4483.
- [9] Azzouz, A. (2001). *Optimisation des dimensions d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel pour un temps de cycle minimum*. PhD thesis, Université de Tlemcen, Algérie.

- [10] Belkaid, A. (1964). *L'aventure humaine et industrielle de la sidérurgie algérienne 1964-1982*. Le mouvement social.
- [11] Chang, D., Wen, U., and Lin, J. (1995). The impact of acceleration/deceleration on travel time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 27(6) :108–111.
- [12] Ghomri, L., Sari, Z., Guezzan, A., and Sari, T. (2008). Expression analytique du temps de cycle pour les as/rs multi allées. In *7ème Conférence Internationale de modélisation et simulation MOSIM'08*, Paris, France.
- [13] Guezzan, A., Sari, Z., and Ghomri, L. (2011). Continuous model for single cycle times of a mobile racks automated storage and retrieval system. In *Conference MISC'11*.
- [14] Han, M., McGinnis, L., Shieh, J., and White, J. (1987). On sequencing retrievals in an automated storage retrieval system. *IEE Transactions*, 19 :56–66.
- [15] Hwang, H. and Ko, C. (1988). A study on multi-aisle system served by a single storage/retrieval machine. *Physical Review*.
- [16] Institute, M. H. (1977). *Consideration for planning and installing an automated storage/retrieval system*. AS/RS document, 100 7M.
- [17] Kouloughli, S. and Sari, Z. (2011). Optimisation de deux dimensions d'un as/rs multi allées en fixant la troisième pour minimiser le temps de cycle. In *7ème conférence internationale de conception et production intégrée CPI'11*, Hammamet.
- [18] Laboratoire Central Sider el hadjar (2016). Présentation de laboratoire central.
- [19] Lerher, T., Matjaz, S., Janez, K., Iztok, P., and Matej, B. (2005). Analytical travel time models for multi-aisle automated storage/retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(3) :340–356.

- [20] Neroni, M., Juan, A., and Bertolini, M. (2022). A simulation-based approach for the productivity improvement of automated storage and retrieval systems in the steel industry. *IISE Transactions*.
- [21] Sari, Z. (2003). *Modélisation, analyse et évaluation des performances d'un AS/RS à convoyeur gravitationnel*. PhD thesis, Université de Tlemcen, Algérie.
- [22] Sari, Z. and Kouloughli, S. (2010). Modélisation des temps de cycle d'un as/rs à convoyeur gravitationnel à une seule machine s/r. In *Conférence Internationale de Modélisation et Simulation*, Hammamet, Tunisie.
- [23] Sari, Z., Saygin, C., and Ghouali, N. (2005). Travel-time models for flow-rack automated storage and retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25 :979–987.
- [24] Sider el hadjar (2018). Présentation sider el hadjar.

Résumé

Ce mémoire propose un modèle statistique pour le calcul du temps de cycle simple dans un système de stockage et de récupération automatisé (AS/RS) appliqué à l'industrie sidérurgique algérienne. L'étude présente d'abord une analyse de l'industrie sidérurgique en Algérie, des processus de production, et des risques liés aux méthodes de stockage manuel. Ensuite, différentes technologies d'AS/RS sont explorées, aboutissant à la recommandation d'un système SLC-AS/RS adapté aux contraintes du secteur. Le calcul du temps de cycle et son optimisation sont étudiés pour améliorer la sécurité et la productivité. Les résultats montrent que l'automatisation réduit considérablement les risques et les temps de cycle, offrant ainsi une solution viable pour améliorer l'efficacité opérationnelle.

Mots-clés

AS/RS, temps de cycle, industrie sidérurgique, optimisation, automatisation, sécurité.

Abstract

This thesis presents a statistical model for calculating the single cycle time in an Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) applied to the Algerian steel industry. The study first analyzes the steel industry in Algeria, production processes, and risks associated with manual storage methods. Subsequently, various AS/RS technologies are explored, leading to the recommendation of an SLC-AS/RS system suitable for the sector's constraints. Cycle time calculation and optimization are examined to enhance safety and productivity. Results show that automation significantly reduces risks and cycle times, providing a viable solution to improve operational efficiency.

keywords

AS/RS, cycle time, steel industry, optimization, automation, safety.