

Republique Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université Abdrrahmane Mira de Bejaia  
Faculté des Sciences Exactes  
Département Recherche Opérationnelle

## *Mémoire de fin de cycle*

En vue de l'obtention du diplôme de Master  
en mathématiques appliquées

Option :

Modélisation Mathématique et technique de Décision

## Thème

---

Organisation de la chaîne d'assemblage des  
motos cycles au niveau de l'entreprise VMS  
Industrie

---

Présenté par :

*M<sup>r</sup> KASMI. Lamine*

Devant le jury composé de :

Président : *L. ASLI* M.C.A, Université de Bejaia.  
Encadrant : *S. ZIANI* M.C.B, Université de Bejaia  
Examineur : *N. NAIT MOHAND* M.C.B, Université de Bejaia

Année universitaire 2022/2023

# Remerciements

*Avant d'entamer cette présentation, je tiens à remercier le bon dieu tout puissant de nous avoir donné la force et le courage.*

*Je profite de cette occasion à exprimer mes sincère gratitude en vers tous ceux nous ont aider à réaliser ce projet fin d'étude :*

*Tout d'abord, je tiens à remercier le Docteur ZIANI Sofine, mon encadreur, pour avoir dérigé ce travail et son aidé et sa disponibilité.*

*Je remercié aussi Monsieur ASLI larbi pour son aide de pres et de loin pour réaliser ce travail pour sa précieuse collaboration .*

*Je remercie l'ensemble des responsables de VMS Industrie, à leur tête Monsieur le Directeur Général, Monsieur SAIGH, et tous les fonctionnaires, pour le bon déroulement de mon stage.*

# Dédicaces

À ma merveilleuse famille,

À ma merveilleuse famille,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien inconditionnel tout au long de mon parcours universitaire et pour votre aide précieuse dans la réalisation de mon mémoire de fin d'études. Votre présence, vos encouragements et vos conseils ont été des éléments essentiels qui m'ont permis d'atteindre cette étape importante de ma vie.

Chaque membre de ma famille a apporté sa propre contribution unique à la réalisation de ce mémoire, et je suis vraiment reconnaissant pour cela. Votre patience, votre compréhension et votre amour indéfectible m'ont donné la force et la motivation nécessaires pour persévérer lorsque les obstacles se dressaient sur mon chemin.

Merci du fond pour votre aide précieuse et pour avoir été les piliers sur lesquels je me suis appuyé tout au long de ce parcours. Je vous aime tous énormément, et cette réussite est aussi la vôtre.

Avec tout mon amour et ma reconnaissance,

[KASMI LAMINE ]

# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>1</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>1 Présentation de L'organisme</b>	<b>4</b>
1.1 VMS industrie . . . . .	4
1.1.1 Introduction . . . . .	4
1.1.2 Historique l'entreprise . . . . .	4
1.1.3 Les partenaires de VMS . . . . .	6
1.1.4 Les missions de la société VMS . . . . .	7
1.1.5 L'organigramme de <b>VMS INDUSTRIE</b> . . . . .	7
1.2 Présentation de ligne d'assemblage de VMS industrie la ligne 1	9
1.2.1 Introduction . . . . .	9
1.2.2 L'assemblage de scooter Driver . . . . .	9
1.2.3 Position du problème . . . . .	13
<b>2 Notions élémentaires de la théorie des files d'attente</b>	<b>15</b>
2.1 Introduction . . . . .	15
2.2 Processus stochastiques . . . . .	15
2.2.1 loi d'un processus de poisson . . . . .	17
2.2.2 Loi exponentielle . . . . .	17
2.2.3 Chaîne de Markov . . . . .	18
2.3 file d'attente . . . . .	20
2.3.1 Définition d'une file d'attente . . . . .	20
2.3.2 Caractéristiques d'un système file d'attente . . . . .	20
2.3.3 les systèmes de file d'attente Markoviennes . . . . .	22
2.4 Conclusion . . . . .	27
<b>3 Modélisation et simulation de la chaine d'assemblage numéro</b>	<b>28</b>
1	<b>28</b>
3.1 Introduction . . . . .	28

## TABLE DES MATIÈRES

---

3.2	Modélisation du processus d'assemblage de scoter DRIVER . . . . .	28
3.2.1	Les caractéristiques associées . . . . .	30
3.2.2	la loi de service et d'inter arrivée . . . . .	30
3.2.3	Conclusion . . . . .	32
3.3	Simulation de la chaîne d'assemblage Final . . . . .	32
3.3.1	Introduction . . . . .	32
3.3.2	Simulation des moments d'arrivée . . . . .	33
3.3.3	Simulation des temps de service des postes d'assemblage final . . . . .	33
3.3.4	Simulation de système d'assemblage . . . . .	34
3.3.5	Identification des Goulots d'Étranglement dans le Processus d'Assemblage . . . . .	37
3.3.6	Conclusion . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Approche de résolution</b>	<b>38</b>
4.1	Introduction . . . . .	38
4.2	optimisation avec deux approches . . . . .	38
4.2.1	Approche 1 : Assemblage en premier . . . . .	39
4.2.2	Approche 2 : Assemblage en dernier . . . . .	39
4.3	Interprétation des résultats . . . . .	40
	<b>Conclusion générale</b>	<b>41</b>
	<b>Annexe</b>	<b>42</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>43</b>

# Table des figures

1.1	Siège de de la société VMS industrie zac Larbaa-Toudja-Béjaia-Algérie . . . . .	5
1.2	logo officiel de de la société VMS industrie Algérie . . . . .	5
1.3	Organigramme Macro de VMS INDUSTRIE . . . . .	8
1.4	Chaine de production numéro 1 VMS industrie zac Larbaa-Toudja-Béjaia-Algérie . . . . .	14
2.1	Graphe de transition d'un processus de naissance et de mort .	19
2.2	modèle d'une fille d'attente . . . . .	20
2.3	graphe de transition de la file d'attente $M/M/1$ . . . . .	23
2.4	Diagramme de transition associée au système file d'attente $M/M/1/K$ . . . . .	25
2.5	Diagramme de transition associée au système file d'attente $M/M/s$ . . . . .	26
3.1	processus d'assemblage de scoter DRIVER . . . . .	29
3.2	modèle d'une fille d'attente . . . . .	30
3.3	Les temps de service de chaque poste de la chaine d'assemblage final . . . . .	31
3.4	les temps de service ( en seconde) de chaque poste de ligne d'assemblage . . . . .	34
3.5	simulation des temps de service de chaque poste de ligne d'assemblage final . . . . .	34
3.6	valeurs de la distribution triangulaire, qui simule le fonctinne- met de la chaine d'assemblage final . . . . .	36
4.1	L'ordre de passge de la ligne 1 avec l'approche 1. . . . .	39
4.2	l'ordre de passge de ligne 1 avec l'approche 2. . . . .	39

# Introduction générale

Dans le contexte de la gestion d'une chaîne d'assemblage, L'approche d'optimisation joue un rôle essentiel dans l'amélioration des performances des chaînes d'assemblage. En utilisant des techniques d'optimisation, il est possible de trouver les meilleures stratégies pour minimiser les temps d'attente, maximiser le débit, optimiser les ressources et améliorer l'efficacité globale du système.

VMS Industrie est une entreprise spécialisée dans la fabrication de motocycles, offrant une large gamme de produits incluant des scooters, des motos, des quads et des tricycles. Notre objectif est de fournir des produits de haute qualité qui répondent aux besoins variés des consommateurs en Algérie. En soutenant le développement économique et social du pays, nous nous engageons à contribuer positivement à la communauté en offrant des solutions de mobilité fiables et adaptées aux réalités locales.

Dans l'objectif de proposer un modèle meilleur de l'assemblage de motos en niveau de VMS Industrie, on s'est inspiré de quelques travaux rencontrés dans la littérature concernant l'organisation de la chaîne d'assemblage automobile. Parmi ces travaux, on peut citer Arun [7], Dewa and Chidzuu [8], Wu [11], Adeyinka and Kareem [12], Wallace and Simon [13], Ghalekhondabia and Sucer [14], Shafeek and Marsudi [15], Manica and Dasilva [16], Heavy and O'Kelly [17].

Ce mémoire commence par :

– D'une introduction générale .

– Et de quatre chapitres :

1. Le premier chapitre de ce mémoire sera consacré à la description de l'entreprise Vms Industrie, son histoire, ses missions, et nous présenterons la chaîne d'assemblage.
2. Le deuxième chapitre sera consacré aux processus stochastiques et à la théorie des files d'attente markoviennes et ses modèles .

## *TABLE DES FIGURES*

---

3. Le troisième chapitre portera sur la modélisation de la chaîne d'assemblage et la simulation de son mode de fonctionnement.
  4. Le quatrième chapitre présentera une approche d'optimisation de la chaîne d'assemblage et interprétera les résultats obtenus.
- Et il se conclut par une conclusion générale qui récapitule notre travail .



# Chapitre 1

## Présentation de L'organisme

### 1.1 VMS industrie

#### 1.1.1 Introduction

Dans ce chapitre [1], nous intéressons à la description de l'organisme d'accueil à savoir la SARL VMS, qui nous a aidé lors de notre stage pratique, à recueillir tous les besoins et comprendre le système de gestion actuel de l'entreprise et prendre connaissance dans le détail, des domaines dont celle-ci souhaite améliorer le fonctionnement.

en commençant par son historique, ses états des lieux et dans laquelle est leurs objectifs et leurs missions.

#### 1.1.2 Historique l'entreprise

La **sarl VMS** (Viva Motors Saigh) INDUSTRIE est entreprise privée spécialisée dans la fabrication et le montage de motorcycle créé en **2014**, avec un capital ayant atteint les **700.000.000** de dinars. Le début de l'activité a eu lieu à Hellouane dans la commune historique d'**IFRI OUZELLAGEN**, en 2018 le siège social été transféré à lac ZAC LARIBAA commune de Toudja avec une capacité de production plus de 50.000 unité /an, offre une large gamme de produits visant à satisfaire les clients, et une nouvelle unité à oued el bardi dans la Wilaya de Bouira dédié à la fabrication des châssis de tout type de motocycles (1er trimestre 2023).

## 1.1. VMS INDUSTRIE

---



FIGURE 1.1 – Siège de de la société VMS industrie zac Larbaa-Toudja-Béjaia-Algérie



FIGURE 1.2 – logo officiel de de la société VMS industrie Algérie

Exerçant sous le label VMS, marque déposée à l'**INAPI** depuis 2015 et aussi possédant un identifiant mondial des constructeurs automobiles **WMI** en 2018.

Dans le souci de répondre aux attentes et exigences de ses clients, VMS a mis en place un système de management de qualité avec une certification ISO 9001 VERSION 2015. Elle compte un effectif de plus **433** employés dont 40 que plus de 600 emplois indirects sur le réseau de distribution nationale dont 102 agents agréent en 2022.

### 1.1.3 Les partenaires de VMS

**VMS** collabore avec ces partenaires dans le cadre de la sous-traitance et avec des groupes étrangers pour le transfert technologique et de savoir-faire. en compte trois partenaires :

1. **BENELLI** : Est unemaque Italienne fondée en 1911 à PESARO qui à commançé à produire des moteurs de 75 et 78 CC qui ont leurs preuves au nivaeu mondiale.
2. **LINHAI** : Est une entreprise publique-privée Chinoise créée en 1956 et a débuté son activité dans le matériel agricole. En 1990 elle s'est associée à YAMAHA chose qui lui a permis d'adapter la même technologie et produire des motocycles de qualité supérieure lui ayant permis une compétitivité sur le marché mondial.
3. **KEEWAY** :Est une marque Européenne d'origine Hongroise qui donc appartient au groupe QIANG JIANG et est présent dans beaucoup de marchés européens (France, Italie, Espagne etc.)

**VMS** investi continuellement dans ses ressources humaines en assurant des formations à ses employés et dirigeants soit au niveau local où à l'étranger. Des MasterClass périodique et visé sont aussi mis en place afin de motiver l'effectif et en booster les compétences. Ce qui a donné naissance à la création de la première unité de recherche, développement et d'innovation dans l'industrie motocycles en Algérie et ce en convention avec les universités nationale dans l'optique de faire de **VMS INDUSTRIE** un carrefour incontournable aux porteurs de projets et à la fois incubateur pour l'accompagnement et développement des start-ups.

#### 1.1.4 Les missions de la société VMS

Les missions de VMS Industrie sont multiples et visent à répondre aux besoins et aux attentes de ses clients, tout en contribuant au développement économique et industriel de l'Algérie, industrie est d'acquérir des nouveaux marchés, former ses collaborateurs. Ainsi la SARL VMS Industrie profite de leurs savoir-faire et de leurs longues expériences dans le domaine des motocycles. Cela se concrétise par un partenariat de transfert technologique ainsi que la formation des employés de VMS Industrie au sein des centres de formation de ses partenaires étrangers. Dans cette perspective, trois ingénieurs fraîchement diplômés des universités algériennes ont bénéficié de formation d'un mois en Chine dans les centres de BENELLI, LINHAI, LONGJIA et HANWAY.

ainsi Voici un aperçu des principales missions de l'entreprise :

1. **Fabrication mécanisée et en soudage.**
2. **Fabrication de châssis et fabrication de guidons.**
3. **romouvoir l'innovation technologique .**
4. **Assurer un service client de qualité .**
5. **Contribuer au développement économique et industriel de l'Algérie .**
6. **Répartitions des tâches sur chaine de montage .**
7. **Inspectione le Contrôle technique.**
8. **Traçabilité du différent modèle .**

#### 1.1.5 L'organigramme de VMS INDUSTRIE

La Sarl VMS Industrie est composée d'une direction générale, d'un assistant de direction et de 6 services répartis en 3 directions, chacune comprenant une ou plusieurs sections, tel que représenté dans l'organigramme de l'entreprise. L'illustration ci-dessous représente l'organigramme Macro de l'entreprise VMS industrie représentés par la figure 1.2

1.1. VMS INDUSTRIE

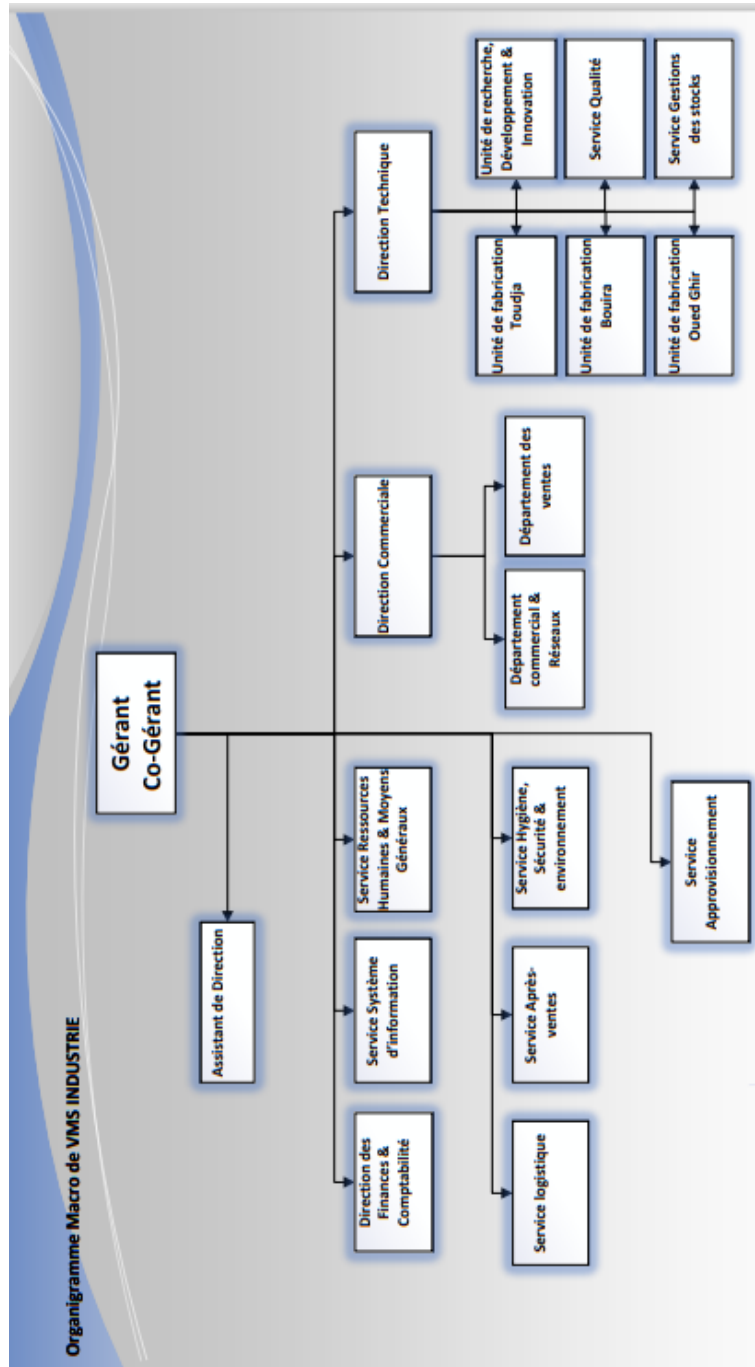


FIGURE 1.3 – Organigramme Macro de VMS INDUSTRIE

## 1.2 Présentation de ligne d'assemblage de VMS industrie la ligne 1

### 1.2.1 Introduction

VMS Industrie dispose de 6 lignes d'assemblage réparties sur deux sites de production Toudja et Oued Ghir.

Dans cette section, nous allons nous concentrer sur la description de l'assemblage d'un des produits phares de VMS Industrie, qui est le motorcycle *Driver 125*. Fabriquer sur la ligne d'assemblage numéro 1

### 1.2.2 L'assemblage de scooter Driver

Le motorcycle *Driver 125* passe par différentes étapes de l'assemblage pour qu'il soit complètement prêt pour la distribution.

le processus de production est composé de plusieurs tâches repartis aux différents postes d'assemblage, qui se définit comme suit :

la réception des composants de la moto sous forme de quatre partie :

- **Métalique ;**
- **Moteur ;**
- **Plastique Paint ;**
- **Plastique Non paint.**

d'un lot composé de 10 kits sur l'unité de production de l'un des dépôts cités auparavant (dépôt Toudja, Bejaia, ibourasen )

Un agent gestionnaire procède à la vérification des composants envoyé, si un manque ou une pièce défectueuse est trouvé, l'agent signale ce manque pour qu'il soit compléter soit depuis le magasin SAV ou par l'ouverture d'un nouveau kit.

Si toute est vérifié sans qu'il y est manque, deux agents polyvalent vont distribuer les composants aux 02 postes de pré-montage.

Les besoins en visserie sont envoyés dans le premier lot et c'est les agents qui travaillent dans les postes de montage final et de pré-montage qui amène leur besoin en visserie vers leur poste.

Tous les châssis et moteurs sont amené juste avant la fin de l'assemblage du modèle précédent et sont stocke dans un stock près de l'unité pour qu'il n'y est pas arrêt de production puisqu'ils sont considéré comme les pièces maitresses pour l'assemblage.

la ligne de production numéro 1 de l'unité toudja se compose de 3 Post pré

montage et une chaîne d'assemblage finale.

## A Pre montage

### 1. Poste pré-montage châssis

dans ce poste ce fait l'assemblage de la partie Métallique , ce est composé de 03 sous-postes :

- *Sous-poste 01* : c'est dans ce poste que le numéro de série du châssis est gravé et que la plaque ovale est montée, avec un seul ouvrier.
- *Sous-poste 02* : montage du réservoir, câble de selle, amortisseur, repose pied et du t de fourche et les fourche, dans ce poste ils font le pré-montage de 05 châssis, avec 02 ouvriers plus les 02 ouvriers du sous-poste 03 dès qu'ils terminent le pré-montage d'une certaine quantité.
- *Sous-poste 03* : ce poste est composé de deux autres sous-postes un qui fait le pré-montage ses articles liés au réservoir et l'autre qui fait le pré-montage du t de fourche et le ls de fourche ensemble, avec 01 ouvrier chacun.

### 2. Poste pré-montage Moteur

dans ce poste ce fait l'assemblage de la partie Moteur ,ce poste est composé de 03 sous-postes :

- *Sous-poste 01* : assemblage de la roue et du disque de frein, avec un ouvrier.
- *Sous-poste 02* : montage du carburateur, filtre à air, garde de boue arrière, roue arrière, avec deux ouvriers.
- *Sous-poste 03* : montage du support moteur, pied centrale et de l'échappement, avec deux ouvriers.

Après que le moteur soit pré-monté il est conduit

## 1.2. PRÉSENTATION DE LIGNE D'ASSEMBLAGE DE VMS INDUSTRIE LA LIGNE 1

---

dans la zone de stock moteur pré-montée (stock tampon).

### 3. Pré-montage sur table

ce poste est composé de 04 table :

- *Pré-montage table 01* : c'est dans ce poste que se fait les pré-montages des ailles avant et de la selle, avec un ouvrier.
- *Pré-montage table 02* : pré-montage du compteur et du masque avant, avec un ouvrier.
- *Pré-montage table 03* : pré-montage du masque arrière et du cache châssis inferieure, avec deux ouvriers.
- *Pré-montage table 04* : pré-montage du guidon, avec un ouvrier.

## B Chaîne d'assemblage final

Elle se compose de 06 postes d'assemblage final :

Une ligne d'assemblage en série avec 6 stations signifie qu'il y a 6 étapes distinctes dans le processus de fabrication où les produits passent séquentiellement. Chaque station ou étape ajoute une composante ou une fonction spécifique au produit en cours de fabrication. Voici un exemple simplifié de ce que pourrait être une telle ligne d'assemblage : :

- **Poste 01** : assemblage de la partie châssis et moteur et du guidon et du pied latéral, avec deux ouvriers.
- **Poste 02** : assemblage de du tachymètre, roue avant et du garde boue avant, avec deux ouvriers.
- **Poste 03** : assemblage de la partie électrique, avec deux ouvriers.
- **Poste 04** : assemblage cache châssis inferieure, cache châssis supérieur et du tapie pose pied et des ailles centrale, avec deux ouvriers.



## 1.2. PRÉSENTATION DE LIGNE D'ASSEMBLAGE DE VMS INDUSTRIE LA LIGNE 1

---

- **Poste 05** : assemblage du masque arrière, cache faisceau et du cache batterie et des poignes de soutiens, avec deux ouvriers.
- Poste 06 : assemblage du masque avant et des ailles avant et du bas de caisse, avec deux ouvriers.

Chaque station représente une étape spécifique du processus de fabrication, et à mesure que les produits passent d'une station à l'autre, ils deviennent de plus en plus complets jusqu'à atteindre leur forme finale.

### C Contrôle technique :

Après la fin de l'assemblage un test technique va être fait par un ouvrier chargé de cette tâche pour vérifier la moto assemblée.

cette dernière est soumise à des essais pour vérifier son bon fonctionnement et ses performances. Cela peut inclure des tests de démarrage, des tests de conduite, des vérifications de la suspension et des freins, etc. ) bien si un problème est détecté il va y aller à une zone de réparation ou un ouvrier chargé de cette tâche va la réparer (Des ajustements sont effectués si nécessaire pour garantir la qualité et la sécurité de la moto.) sinon il sera reconduite dans la chaîne en cas d'un défaut d'assemblage majeur.

Si le test est vérifié la selle et le compteur seront mis et la moto va y aller à l'étape suivante, du contrôle qualité extérieur.

### D Service Qualité :

Chaque étape de la chaîne d'assemblage est réalisée par une équipe spécialisée. Des contrôles de qualité sont effectués tout au long du processus pour s'assurer que les normes de fabrication sont respectées. La coordination et la communication efficaces entre les différentes équipes sont essentielles pour garantir une production fluide et un produit final de haute qualité.

un test final qui va être effectué par un ouvrier est vérifié alors la moto sera enregistrée et un code QR sera collé identifiant la moto, et il est conduit vers la zone de stock des produits finis, temporairement avant qu'il soit expédié par la suite soit pour les centres régionaux (setif, est de pays, relizane, west de pays).

La figure ci-dessus décrit la chaîne d'assemblage unitaire de la ligne 1 :

### 1.2.3 Position du problème

VMS Industrie est une entreprise algérienne spécialisée dans le secteur de l'assemblage et de la production de motocycles de tous types. Son objectif principal et essentiel est d'améliorer sa production en termes de motocycles assemblés.

Pour cela, En raison du manque de données sur les temps de service des postes d'assemblage pour déterminer la loi de service et la loi d'arrivée de la matière première des postes de pré-montage moteur et châssis, nous allons simuler cette chaîne pour définir un algorithme qui donne un nombre de scooters assemblés en fonction de la production moyenne, En évaluant les deux critères de performance :

- le nombre de scooters assemblés,
- le temps de cycle d'assemblage (production).

L'objectif essentiel de ce travail à réaliser est clairement défini, Ensuite, nous proposerons une approche de simulation qui optimisera le système réel en termes de performances, de sorte que la chaîne simulée puisse présenter une amélioration significative en termes de production.

1.2. PRÉSENTATION DE LIGNE D'ASSEMBLAGE DE VMS  
INDUSTRIE LA LIGNE 1

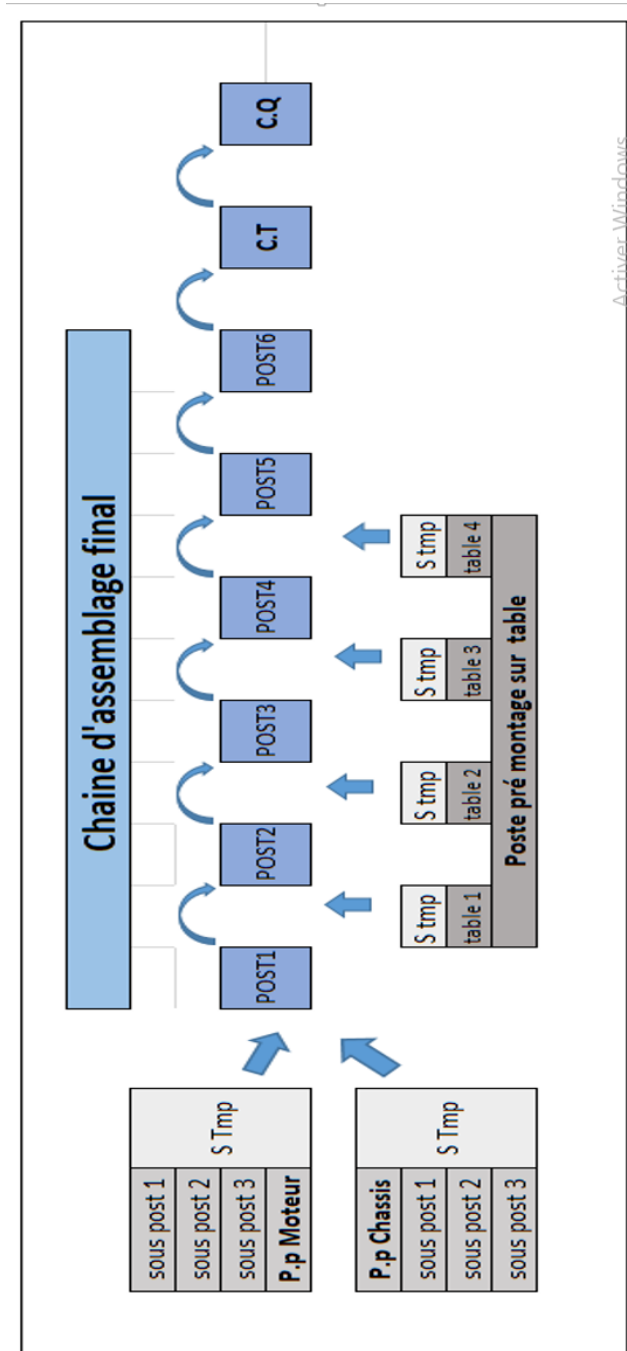


FIGURE 1.4 – Chaîne de production numéro 1 VMS industrie zac Larbaa-Toudja-Béjaia-Algérie

# Chapitre 2

## Notions élémentaires de la théorie des files d'attente

### 2.1 Introduction

La théorie des files d'attente consiste en l'étude de systèmes où des clients se présentent à un dispositif de service, appelé serveur. Puisqu'un client occupe le serveur pendant un certain temps, les autres clients doivent attendre avant d'être servis, formant ainsi une file d'attente.

dans ce Chapitre on va donner les notions de la file d'attente, les caractéristiques, les modèles etc .

### 2.2 Processus stochastiques

**Définition 1** [9] : processus stochastique est une collection de variables aléatoires qui évoluent au fil du temps. Il est caractérisé par une composante temporelle et une composante aléatoire. Ces variables aléatoires peuvent représenter des événements, des valeurs numériques ou d'autres types de données.

**Définition 2** : [9] Un processus stochastique  $\{X(t), t \geq 0\}$  est un modèle mathématique qui décrit l'évolution d'un système au fil du temps en, définies sur le même espace de probabilités  $(\Omega, F, p)$ , utilisant des variables aléatoires.

Il est utilisé pour modéliser des phénomènes qui évoluent au hasard.

Le processus stochastique peut être discret ou continu. Dans le cas d'un processus stochastique discret, les variables aléatoires sont définies à des moments discrets dans le temps. Par exemple, une séquence de lancers de

dés successifs peut être considérée comme un processus stochastique discret.

En revanche, dans le cas d'un processus stochastique continu, les variables aléatoires sont définies pour tous les instants dans un intervalle continu de temps. Un exemple courant de processus stochastique continu est le mouvement brownien, qui modélise le mouvement aléatoire des particules dans un fluide.

Les processus stochastiques sont largement utilisés dans différents domaines, tels que la finance, l'économie, la physique, les sciences de l'ingénieur et la théorie des files d'attente. Ils permettent de modéliser et d'analyser des phénomènes aléatoires et d'étudier leur comportement statistique au fil du temps.

### Processus de Poisson

[4] Est un type de processus stochastique largement utilisé pour modéliser des événements aléatoires qui se produisent dans le temps. Il tire son nom du mathématicien français Siméon-Denis Poisson.

Une chaîne à temps continue et espace d'état discret  $N(t)$  est un processus de poisson de paramètre  $\lambda > 0$  Si seulement si suit les Propriétés suivants :

1. **Propriété d'incrément indépendants** : Les intervalles de temps entre les événements successifs du processus de Poisson sont indépendants les uns des autres. Cela signifie que le moment où un événement se produit n'affecte pas le moment où se produit le prochain événement.

$$P(N(s+t) - N(s) = K, N(s) = j) = P(N(s+t) - N(s) = K)P(N(s) = j)$$

$$P(N(s+t) - N(s) = K)P(N(s) = j) = p_k(t)p_j(s)$$

$$P(N(s+t) - N(s) = K, N(s) = j) = p_k(t)p_j(s)$$

## 2.2. PROCESSUS STOCHASTIQUES

---

2. **Propriété d'incrément stationnaires** : Les intervalles de temps entre les événements successifs suivent une distribution exponentielle, ce qui signifie que la probabilité d'attendre un certain intervalle de temps entre deux événements est constante.
3. **Propriété de comptage constant** : Le nombre d'événements dans une période donnée suit une distribution de Poisson, qui décrit la probabilité d'observer un certain nombre d'événements dans un intervalle de temps fixe.

Le processus de Poisson est utilisé pour modéliser de nombreux phénomènes réels, tels que les arrivées de clients dans un système de files d'attente, les défaillances d'équipements, les appels téléphoniques dans un centre d'appels, les accidents de la route, etc.

### 2.2.1 loi d'un processus de poisson

Une variable aléatoire est de loi de poisson si seulement si le processus de comptage est satisfait les conditions suivantes : [8]

$$P(N(t) = k) = P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

Prendre ces valeurs dans  $\mathcal{N}$  avec les caractéristiques suivantes :

la moyenne :  $E[N(t)] = \lambda t$

la variance :  $V[N(t)] = \lambda t$

### 2.2.2 Loi exponentielle

[4] Une variable aléatoire  $t$  est de loi exponentielle de paramètre  $\lambda > 0$  si seulement à à valeurs dans  $\mathbf{R}^+$  et :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Sa fonction de répartition est :  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  avec les caractéristiques suivantes :

1. la moyenne  $E[t] = \frac{1}{\lambda}$
2. la variance  $V[t] = \frac{1}{\lambda^2}$
3. l'absence de mémoire :  $\forall (t, s) \in \mathcal{R}^{+\epsilon}, P(T > t+s | T > s) = P(T > t)$

### 2.2.3 Chaîne de Markov

[5] Les Chaînes de Markov  $\{X_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$  sont des modèles mathématiques utilisés pour étudier des processus aléatoires qui évoluent dans le temps.

Elles sont basées sur le concept de la propriété de Markov, qui stipule que la probabilité d'un événement futur dépend uniquement de l'état présent et n'est pas influencée par les événements passés.

Dans une Chaîne de Markov, on considère un ensemble fini ou dénombrable d'états possibles. Le système évolue d'un état à un autre selon des transitions probabilistes. Chaque transition est associée à une probabilité de passer d'un état à un autre.

Les concepts de base des Chaînes de Markov comprennent :

1. **État** : Un état représente une condition ou une configuration spécifique du système étudié. Par exemple, dans un modèle de file d'attente, les états pourraient être le nombre de clients présents dans la file.
2. **Matrice de transition** : La matrice de transition est une représentation des probabilités de passer d'un état à un autre. Chaque élément de la matrice indique la probabilité de transition entre deux états.
3. **Propriété de Markov** : Cette propriété fondamentale des Chaînes de Markov établit que la probabilité d'atteindre un état futur ne dépend que de l'état actuel et n'est pas influencée par l'historique des états passés.

Les Chaînes de Markov sont utilisées pour modéliser une variété de phénomènes, tels que les files d'attente, les processus de décision, les réseaux de communication, les systèmes de gestion des stocks, etc. Elles permettent de prédire les comportements futurs du système en se basant sur les probabilités de transition entre les états.

Il existe de types de Chaîne Markov :

- à temps **Discrete**
- à temps **Continue**

### Processus de naissance et de mort

Soit  $\{X(t), t \geq 0\}$  une chaîne de Markov à temps continu dont l'espace des états est égal à  $E$  et  $A$  sa matrice génératrice dont : [8]

## 2.2. PROCESSUS STOCHASTIQUES

---

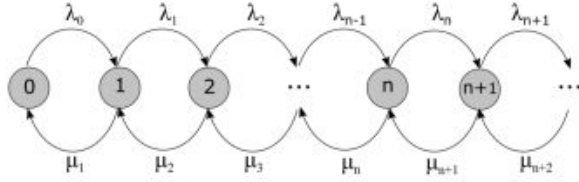


FIGURE 2.1 – Graphe de transition d'un processus de naissance et de mort

- **Espace des états ( $E$ )** : L'espace des états est défini comme  $E = \{0, 1, 2, \dots\}$ , ce qui signifie que les états de la chaîne de Markov représentent le nombre d'individus dans la population, et cet nombre ne peut être que 0 ou positif (entiers non négatifs).

- *Le taux de naissance dans l'état  $i$ , noté  $\lambda_i$  :*

$$\lambda_i = a_{i,i+1}, \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots$$

- *Le taux de mort dans l'état  $i$ , noté  $\mu_i$  :*

$$\mu_i = a_{i,i-1}, \mu_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots$$

- **Matrice génératrice ( $A$ )** :

La matrice génératrice, notée  $A$ , contient les taux de transition entre les états. Dans ce modèle de processus de naissance et de mort, les intensités de transition, notées  $a_{ij}$ , sont définies comme suit :

$$A = \begin{pmatrix} -(\lambda_0 + \mu_0) & \lambda_0 & 0 & 0 & \dots \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 & 0 & \dots \\ 0 & \mu_2 & -(\lambda_2 + \mu_2) & \lambda_2 & \dots \\ 0 & 0 & \mu_3 & -\lambda_3 - \mu_3 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots \end{pmatrix}$$

Les équations de Kolmogorov pour un processus de naissance et de mort sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P(0, t) &= -\lambda_0 P(0, t) + \mu_1 P(1, t) \\ \frac{d}{dt} P(i, t) &= \lambda_{i-1} P(i-1, t) - (\lambda_i + \mu_i) P(i, t) + \mu_{i+1} P(i+1, t), \quad i \geq 1 \\ a(i, j) &= 0 \text{ si } |i - j| \geq 2 \end{aligned}$$





FIGURE 2.2 – modèle d'une file d'attente

- **Transitions** : Depuis n'importe quel état  $i$ , les seules transitions possibles se font soit vers l'état  $i - 1$  (mort), soit vers l'état  $i + 1$  (naissance). Cela reflète le modèle de naissance et de mort, où la population peut augmenter d'une unité par naissance ou diminuer d'une unité par mort.  
ce qui signifie que les transitions directes entre états sont limitées aux états adjacents, c'est-à-dire  $i - 1$  et  $i + 1$ .
- **Interprétation** : Dans ce contexte, l'état  $X(t)$  du processus est interprété comme la taille d'une population donnée au temps  $t$ . Chaque augmentation de l'indice  $i$  correspond à une naissance, tandis que chaque diminution correspond à une mort.

## 2.3 file d'attente

### 2.3.1 Définition d'une file d'attente

une file d'attente est un système dans lequel arrivent des clients (entrée) auxquels des serveurs fournissant un service (sortie), comme exemple le trafic routier, Télécommunications (téléphonie, call-centers), Serveurs informatiques...

### 2.3.2 Caractéristiques d'un système file d'attente

- loi d'arrivée des clients.
- loi de la durée des services.

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

- comment s'organise la file.
- combien de serveurs.
- quelle est la taille de la file.

Notation de Kendall [3] :

La notation suivante, appelée la notation de Kendall, est largement utilisée pour classer les différents systèmes de files d'attente décrite par :

$$T/Y/C/K/m/Z$$

avec

1.  $T$  : indique le processus d'arrivée des clients. Les symboles utilisés sont :
  - $M$  : Inter-arrivées des clients sont identiquement distribuées selon une loi exponentielle. Il correspond à un processus de Poisson ponctuel (propriété sans mémoire).
  - $D$  : Les temps inter-arrivées des clients ou les temps de service sont constants et toujours les mêmes.
  - $GI$  : Inter-arrivées des clients ont une distribution générale (il n'y a aucune hypothèse sur la distribution mais les inter-arrivées sont indépendantes et identiquement distribuées).
  - $G$  : Inter-arrivées des clients ont une distribution générale et peuvent être dépendantes.
  - $E_k$  : Ce symbole désigne un processus où les intervalles de temps entre deux arrivées successives sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées suivant une loi d'Erlang d'ordre  $k$ .
2.  $Y$  : décrit la distribution des temps de service d'un client. Les codes sont les mêmes que  $T$ .
3.  $C$  : nombre de serveurs.

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

4.  $K$  :capacité de la file c'est le nombre de places dans le système en d'autre terme c'est le nombre maximal de clients dans le système y compris ceux en service.
5.  $m$  : population des usagers.
6.  $Z$  :discipline de service c'est la façon dont les clients sont ordonnés pour être servi. Les codes utilisés sont les suivants :
  - FIFO :Premier entrée Premier sortie
  - LIFO :Dernier entrée Premier sortie

#### Loi de Little [9]

Le nombre moyen de clients, le temps moyen passé dans le système et le débit moyen d'un système stable en régime permanent se relient de la façon suivante :

$$L = W * d$$

est une relation très générale qui s'applique à une grande systèmes.

### 2.3.3 les systèmes de file d'attente Markoviennes

#### le système $M/M/1$ (FIFO)

- Les clients se présentent au système aléatoirement selon un processus de Poisson de taux  $\lambda$ .
- Le temps de service suit une loi exponentielle de taux  $\mu$ , indépendamment d'un client à l'autre.
- La file d'attente peut s'étendre à l'infini (FIFO).

Le diagramme de transition assovié au processus décrivant le système  $M/M/1$  est donné par la figure suivant :

les équations d'équilibre en régime stationnaires de ce système est comme suit : [9]

$$\begin{aligned} \lambda\pi_0 &= \mu\pi_1, \text{ pour } n = 0 \\ (\lambda + \mu)\pi_n &= \lambda\pi_{n-1} + \mu\pi_{n+2}, \text{ pour } n \geq 1 \end{aligned}$$

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

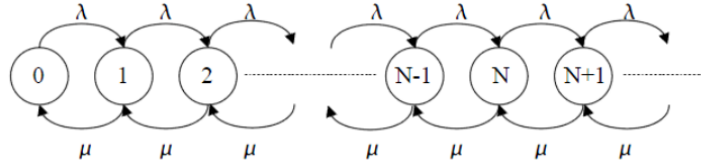


FIGURE 2.3 – graphe de transition de la file d'attente  $M/M/1$

avec  $\rho$  c'est l'intensité du trafic, par recurrence, on obtient :[9]

$$\begin{aligned}\pi_1 &= \frac{\lambda}{\mu} \pi_0 \\ \pi_2 &= \frac{\lambda}{\mu} \pi_1 \\ \pi_n &= \pi_0 \rho^n; \\ \text{avec } \rho &= \frac{\lambda}{\mu}\end{aligned}$$

On peut écrire :  $\sum_0^\infty \pi_n = 1$  sous la condition supplémentaire de normalisation, Ce qui ne permet de obtenir la probabilité :

$$\sum_0^\infty \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \pi_0 = 1$$

Ce qui ne permet de obtenir la probabilité :

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{+\infty} \rho^n} = 1 - \rho$$

Ainsi on aura l'expression finale des probabilités d'états donné par :

$$\pi_n = \rho(1 - \rho)$$

**les caractéristique de système [9]**

– **Le débit :**

$$d = \sum_{n=0}^{+\infty} \pi_n \mu = (1 - \pi_0) \mu = \rho \mu = \lambda$$

– **Taux d'utilisation du serveur :**

$$U = 1 - \pi_0 = \rho$$

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

- Nombre moyen de clients dans le système :

$$L = \sum_{n=0}^{+\infty} n\pi_n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\frac{\lambda}{\mu}}{1-\frac{\lambda}{\mu}} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

- Temps moyen de séjour :

$$W = \frac{l}{d} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

- La durée moyenne d'attente en régime stationnaire :

$$E(W) = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)}$$

- Temps moyen passé dans la file d'attente :

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

- Nombre moyen de clients dans la file d'attente :

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

#### le système $M/M/1/K$ (FIFO)

C'est un système à serveur simple, la capacité de la file est finie d'ordre  $K$  on garde les hypothèses : [9]

- le processus d'arrivée des clients dans la file est un processus de Poisson de taux  $\lambda$ .
- le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux  $\mu$ .
- Soit  $K$  la capacité de la file d'attente : c'est le nombre maximal de clients qui peuvent être présents dans le système, soit en attente, soit en service.

Les espaces d'états  $E = \{0, 1, 2, \dots, K\}$  Ce processus est considéré comme un processus de naissance et de mort avec :

- Un taux de naissance  $\lambda_n = \lambda$ , pour tout  $n < K$

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

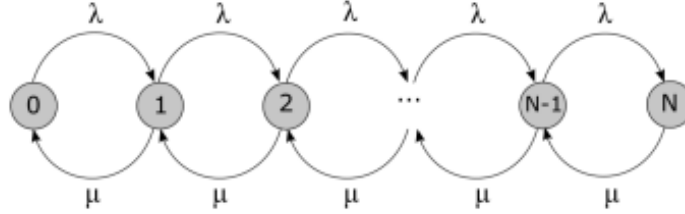


FIGURE 2.4 – Diagramme de transition associée au système file d'attente  $M/M/1/K$

- et taux de mortalité  $\mu_n = \mu$ , pour tout  $i \neq 0$   
Soit  $\pi_i$ ,  $i = 0.1.2.....K$ , la probabilité pour qu'il ait  $i$  clients dans le système à l'instant  $t$  en régime stationnaire [9] :

$$\lambda\pi_0 = \mu\pi_1$$

$$(\lambda + \mu)\pi_i = \lambda\pi_{i-1} + \mu\pi_{i+1}, \text{ pour tout } i = 0.1.2.....K - 1$$

$$\lambda\pi_{K-1} = \mu\pi_K$$

Le calcul de  $\pi_i$  se fait da la maninère suivante :

- si  $\rho < 1$

$$\pi_i = \begin{cases} \rho^i(1 - \rho), & \text{pour tout } i \leq K; \\ 0, & i > k. \end{cases}$$

- cas particulier  $\rho = 1$

$$\pi_i = \begin{cases} \frac{1}{K+1}, & \text{pour tout } i \leq K; \\ 0, & i > k. \end{cases}$$

- **Taux d'utilisation du serveur  $U(K)$  :**

$$U(K) = \sum_{n=0}^{+\infty} n\pi_n = 1 - \pi_0 = \rho \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}}$$

- **Nombre moyen de clients dans le système  $L$  :**

$$L = \sum_{n=0}^K n\pi_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}} \sum_{n=0}^K n\rho^n$$

### 2.3. FILLE D'ATTENTE

---

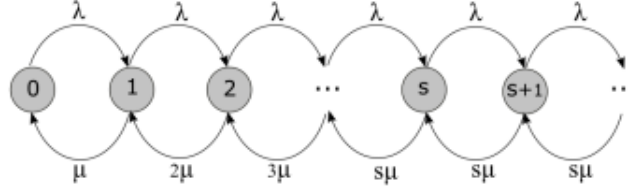


FIGURE 2.5 – Diagramme de transition associée au système file d'attente  $M/M/s$

$$L = \frac{\rho(1-\rho)}{1-\rho^{K+1}} \sum_{n=0}^K i\rho^{i-1}$$

Pareille que le taux d'utilisation du serveur, lorsque  $K \rightarrow +\infty$  on obtient :

$$L = \frac{\rho}{1-\rho}$$

#### le système $M/M/s(\text{FIFO})$

[6] On considère un système identique à la file  $M/M/1$  excepté qu'il comporte  $s$  serveurs identiques et indépendants les uns des autres, on garde les mêmes hypothèses sur le processus d'arrivée de taux  $\lambda$  et le temps de services est taux  $\mu$  pour chacun des serveurs, avec :

- $\lambda_i = \lambda$
- $\mu_i = \begin{cases} i\mu, & \text{pour tout } i = 1, 2, \dots, s-1; \\ s\mu, & i > s. \end{cases}$

la condition de stabilité de modèle est  $(\frac{\lambda}{s\mu})$  qui exprime le fait que le nombre moyen des clients qui arrivent à la file par unité de temps doit au nombre moyen de clients que les serveurs de la file soient capable de traiter par unité de temps.

[9]

- **Temps moyen de séjour  $W$  :**

$$W = W_q + S = \frac{l_q}{d} + \frac{1}{\mu}$$

avec  $d = \lambda$

$$L_q = \frac{\rho^{s+1}}{(s-1)!(s-\rho)\pi_0}$$

on déduit le temps moyen de séjour :

$$W = \frac{\rho^s}{\mu(s-1)!(s-\rho)^2\pi_0} + \frac{1}{\mu}$$

– **Nombre moyen de clients dans le système  $L$  :**

par l'application de la loi de little :

$$L = W * d$$

$$L = \frac{\rho^{s+1}}{\mu(s-1)!(s-\rho)^2\pi_0} + \rho$$

## 2.4 Conclusion

En résumé, ce chapitre a exploré divers aspects fondamentaux des processus et de la théorie des file d'attente, en mettant particulièrement l'accent sur leurs modèles. Nous avons examiné les caractéristiques essentielles des file d'attente, telles que les temps d'attente moyens, les taux d'arrivée et les capacités de service, en utilisant des modèles classiques tels que  $M/M/$  et  $M/M/c$  pour illustrer ces concepts.



# Chapitre 3

## Modélisation et simulation de la chaîne d'assemblage numéro 1

### 3.1 Introduction

La modélisation mathématique implique la représentation de systèmes réels, tels que des phénomènes physiques, à l'aide d'outils mathématiques. On identifie les paramètres essentiels du système et on formule des équations pour décrire son fonctionnement. Ces modèles sont ensuite traduits en langage informatique pour la simulation numérique, permettant ainsi d'analyser le comportement du modèle sous différentes conditions. La validation des modèles se fait par la comparaison de leurs résultats avec des données empiriques. La modélisation est un outil crucial pour la compréhension et la prédiction de phénomènes complexes, et son application s'étend à divers domaines tels que la physique, la médecine et l'économie.

### 3.2 Modélisation du processus d'assemblage de scoter DRIVER

Dans cette section, nous allons modéliser la chaîne d'assemblage via les file d'attente, pour le faire (voir la Figure3.1). Pour le faire on va représenter la chaîne d'assemblage via les file d'attente avec un modèle simple :

- **Les arrivées** : proviennent de deux postes en amont Pre montage moteur et Chassis vers le stock tampos.

3.2. MODÉLISATION DU PROCESSUS D'ASSEMBLAGE DE SCOTER DRIVER

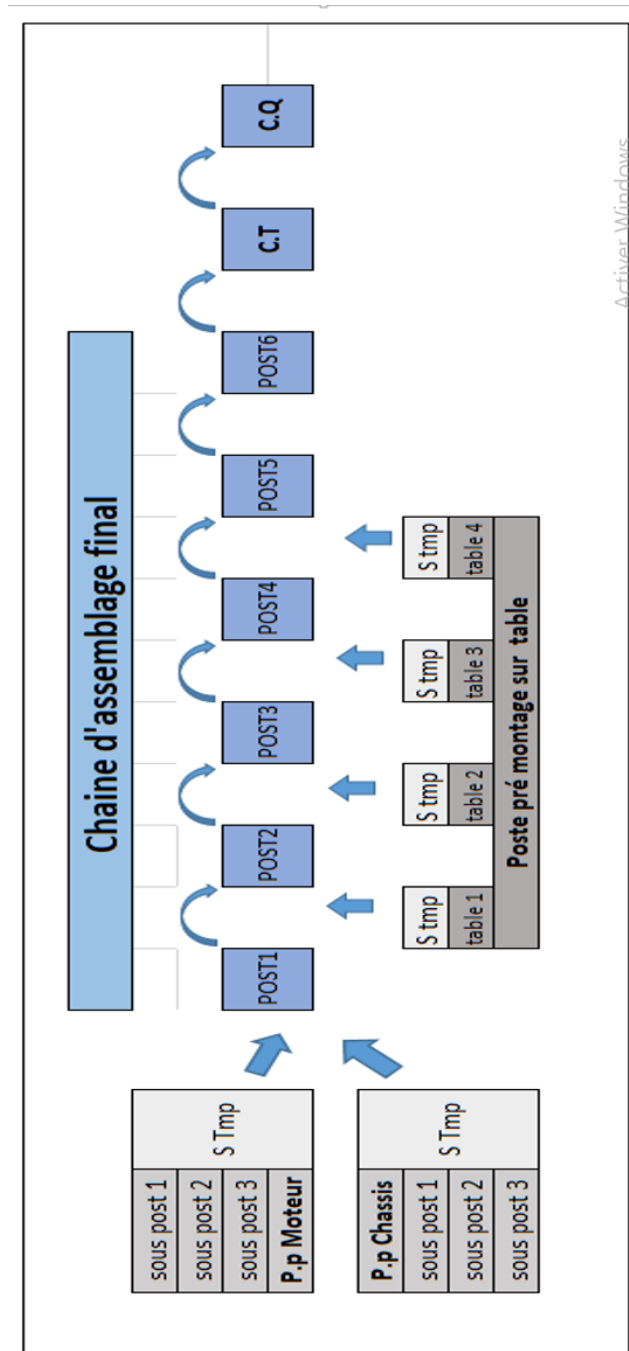


FIGURE 3.1 – processus d'assemblage de scoter DRIVER

### 3.2. MODÉLISATION DU PROCESSUS D'ASSEMBLAGE DE SCOTER DRIVER

---



FIGURE 3.2 – modèle d'une file d'attente

- **Les arrivées** : proviennent de deux postes en amont Pre montage moteur et Chassis vers le stock tampos.
- **File d'attente** : la zone de stockage de moteur et Chassis la file d'attente stock tampos .
- **Le server** : les six postes d'assemblage final .
- **Les sorties** : Scooter assemblé .

#### 3.2.1 Les caractéristiques associées

Les caractéristiques d'un modèle peuvent varier en fonction de son domaine d'application et de ses objectifs spécifiques. Voici les principales caractéristiques que l'on peut considérer lorsqu'on parle d'un modèle voici les deux caractéristiques principales :

- **La loi d'arrivée** des scooters pré-assemblés en provenance des postes pré montage Chassis et Moteur .
- **La loi de la durée de service** des postes d'assemblage final .

**la discipline** : est est FIFO : Premier entrée Premier sortie.

**La capacité de la file** : stock tampos .

Voir le chapitre 2 page 21.

#### 3.2.2 la loi de service et d'inter arrivée

**Le collecte de données**

Pour réaliser cette étude, nous disposons des données du :

### 3.2. MODÉLISATION DU PROCESSUS D'ASSEMBLAGE DE SCOTER DRIVER

---

les parametres de la distrubution beta triangulaire	min ( $\alpha$ )	mode ( $\beta$ )	max ( $\gamma$ )
Post 1	210	215	225
Post 2	117	125	167
Post 3	250	255	260
Post 4	160	170	185
Post 5	115	125	130
Post 6	130	148	287
les temps en seconde			

FIGURE 3.3 – Les temps de service de chaque poste de la chaine d'assemblage final

1. **Temps de service** :pour chaque poste d'assemblage final. Ces données indiquent la durée de service de chaque poste six postes  $i = \overline{1,6}$ , comme suit :
  - le **temps minimum** ( $\alpha$ ) :le **temps minimum** pour réaliser les taches de poste  $i$  .
  - le **temps maximum** ( $\gamma$ ) pour réaliser les taches de poste  $i$  .
  - le **mode** ( $\beta$ ) : le temps plus probable pour réaliser les taches de poste  $i$  située entre le temps mximum et minimum.

Nous allons utiliser ces temps, à partir de l'inverse de la fonction de répartition de la loi beta triangulaire comme paramètres pour générer les temps de service de chaque poste dans la chaîne d'assemblage. Ces temps de service seront utilisés pour modéliser les durées d'activité de chaque étape de l'assemblage.

#### 2. loi d' arrivée et d' inter arrivée

ans cette simulation, l'hypothèse d'un approvisionnement parfait suppose que les composants nécessaires à l'assemblage du Moteur et du Châssis sont toujours disponibles sans retard ni interruption.

Cette hypothèse est basée sur la gestion efficace des flux de matériaux et de pièces vers les postes de pré-assemblage. De plus, étant donné que l'assemblage du Châssis et du Moteur se fait par lot de 5, cela implique que les niveaux de stock sont maintenus constamment à un niveau adéquat pour répondre à la demande anticipée.

Cette démarche est justifiée par l'absence des données nécessaires pour démontrer quel type de processus stochastique est impliqué, ce qui peut rendre l'identification du processus stochastique plus complexe.

#### Les performances associé au modèle

- **Tc** La moyenne du temps de cycle : Le temps de cycle représente la durée moyenne nécessaire pour qu'un scooter complet passe par toutes les étapes de d'assemblage.
- **N** :Le nombre de scooters assemblés.

### 3.2.3 Conclusion

La modélisation de la ligne d'assemblage est cruciale pour optimiser la production et réduire les temps d'attente des composants ou des produits en cours de fabrication. En utilisant des techniques de modélisation telles que la simulation des flux de travail et l'analyse des processus, les ingénieurs peuvent déterminer comment organiser efficacement les étapes d'assemblage, réduire les goulots d'étranglement et maximiser l'utilisation des ressources disponibles.

## 3.3 Simulation de la chaîne d'assemblage Final

### 3.3.1 Introduction

La simulation de la chaîne d'assemblage est un outil essentiel dans le domaine de l'ingénierie et de la gestion industrielle. Elle permet de modéliser et d'analyser le fonctionnement d'un processus de production avant sa mise en oeuvre réelle, ce qui peut aider à identifier des inefficacités, à optimiser les opérations, et à réduire les coûts.

MATLAB, un environnement de calcul numérique puissant et polyvalent, est largement utilisé pour la simulation de systèmes complexes, y compris les chaînes d'assemblage. Avec ses fonctionnalités avancées de modélisation, de simulation et d'analyse de données, MATLAB offre une plateforme robuste pour la création de modèles détaillés de processus de production.

### 3.3. SIMULATION DE LA CHAÎNE D'ASSEMBLAGE FINAL

---

Dans cette première section, on va présenter la simulation de ce modèle, la simulation des temps de service des postes de montage à l'aide de l'inverse de la fonction de répartition Beta triangulaire, qui est une méthode très répandue dans la littérature pour étudier la durée d'exécution d'une tâche dans une chaîne de production en manque de données. Nous calculerons par la suite les performances de la ligne d'assemblage afin de prédire et prendre des décisions dans le but d'optimiser le processus d'assemblage en terme du nombre de Motos-scooters assemblés.

#### 3.3.2 Simulation les moments d'arrivée

Dans le cadre de cette simulation, l'hypothèse d'un approvisionnement parfait suppose que les composants nécessaires à l'assemblage du Moteur et du Châssis sont disponibles en tout temps, sans aucun délai ni interruption. Cela implique que les flux de matériaux et de pièces vers ces postes de pré-assemblage sont efficacement gérés, et que les niveaux de stock sont constamment maintenus à un niveau adéquat pour répondre à la demande anticipée.

On prend le temps de départ du scooter  $j$  vers le poste 2 comme le moment d'arrivée du châssis et du moteur au poste 1

#### 3.3.3 Simulation les temps de service des poste d'assemblage final

En utilisant la distribution Beta inverse, pour générer les temps de service des postes.

La forme de la distribution en fonction des données empiriques ou des spécifications du système réel. Cela leur permet de capturer avec précision les caractéristiques du temps de service, qu'il s'agisse de services rapides et efficaces ou de services plus lents et sujets à des variations. Cette flexibilité en fait un outil précieux pour la simulation.

pour cela on consulté l'entreprise sur les durées de service des ces postes ; les données de l'entreprise sont présentées dans la figure suivante :

**Remarque :** bien que le manque de données spécifiques puisse être une contrainte, l'utilisation de l'inverse de la loi bêta triangulaire reste justifiable en raison de sa capacité à fournir une représentation réaliste et ajustable

### 3.3. SIMULATION DE LA CHAINE D'ASSEMBLAGE FINAL

les parametres de la distrubution beta triangulaire	min ( $\alpha$ )	mode ( $\beta$ )	max ( $\gamma$ )
Post 1	210	215	225
Post 2	117	125	167
Post 3	250	255	260
Post 4	160	170	185
Post 5	115	125	130
Post 6	130	148	287

les temps en seconde

FIGURE 3.4 – les temps de service ( en seconde) de chaque poste de ligne d'assemblage

des temps de service, sa simplicité d'application, et son potentiel à offrir une estimation raisonnable dans des situations où les données sont limitées.

Pour obtenir les temps de service de chaque poste qui décrit le processus d'assemblage, on a utilisé un algorithme qui simule le fonctionnement de cette ligne d'assemblage basé sur le nombre moyen de production de scooters de l'entreprise, qui se situe entre 45 et 50 par jour. Après la variation des valeurs de la distribution triangulaire, les valeurs de  $a$ ,  $b$  et  $c$  qui décrivent réellement la chaîne d'assemblage sont illustrées dans la figure suivante :

```
PUBLISH VIEW
1 function[data]=mri(alpha, beta, gamma)
2 data = zeros(1, 100); % Préallocation un tableau pour stocker les valeurs
3 i=1;
4
5 while i <= 100
6
7     U = rand();
8     if U <= ((beta - alpha) / (gamma - alpha))
9         data(i) = alpha + sqrt(U * (beta - alpha) * (gamma - alpha));
10    else
11        data(i) = gamma - sqrt((1 - U) * (gamma - beta) * (gamma - alpha));
12    end
13    i=i+1;
14 end
15
16
17 end
```

FIGURE 3.5 – simulation des temps de service de chaque poste de ligne d'assemblage final

### 3.3.4 Simulation de système d'assemblage

#### Introduction

Pour réaliser un programme à l'aide de l'outil MATLAB qui décrit le processus d'assemblage, incluant les étapes d'assemblage, consultez le chapitre 1, page 10. L'élément essentiel de cette étape est de créer un

### 3.3. SIMULATION DE LA CHAÎNE D'ASSEMBLAGE FINAL

---

programme qui décrit le système basé sur une production moyenne par jour de 45 unités, en utilisant deux fonctions pour générer les moments d'arrivée et les temps de service de chaque poste.

#### Les résultats de la simulation

Les résultats de la simulation montrent une différence entre le nombre de scooters assemblés par l'entreprise et celui de la simulation : 45 unités dans le système réel et 80 dans la simulation.

On exprime cette différence entre les données simulées et celles de l'entreprise du fait que les temps de services de chaque poste enregistrés sont des temps d'exécution des tâches sans compter les temps qu'il faut pour récupérer les pièces ajoutées pour les scooters assemblés.

Comme chaque poste d'assemblage final compte 3 tache au minimum .

On peut citer :

1. **Attente** : Les temps d'attente inutiles, que ce soit pour les pieces à assembler, comme récupération des pièces assemblées sur le scooter des tables de montage représentent une perte par fois.
2. **Transport** : Des déplacements excessifs entre différentes étapes du processus peuvent entraîner des délais inutiles.

Dans une chaîne d'assemblage, les durées d'attente et de transport jouent un rôle crucial dans le temps d'exécution des tâches et, par conséquent, dans l'efficacité globale du processus de production. Pour exprimer leur influence, il est essentiel de comprendre comment ces deux éléments interagissent avec les différentes étapes de la chaîne d'assemblage.

Pour exprimer l'influence des durées d'attente et de transport sur le temps d'exécution des tâches, on peut utiliser des modèles mathématiques et des simulations.

Pour Chaque poste d'assemblage final chaque poste compte aux minimum trois taches .

Voici une approche :

Le temps total d'exécution  $T_{\text{total}}$  est donné par :

$$T_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{n=6} (T_{\text{assemblage}_i} + T_{\text{attente}_i} + T_{\text{transport}_i})$$

où :



### 3.3. SIMULATION DE LA CHAINE D'ASSEMBLAGE FINAL

---

- $T_{\text{assemblage}_i}$  : est le temps d'assemblage de poste ( $i$ ),
- $T_{\text{attente}_i}$  : est le temps d'attente à la station ( $i$ ),
- $T_{\text{transport}_i}$  : est le temps de transport entre la station ( $i$ ) et la station ( $i + 1$ ).

#### **Remarque**

Le collecte de données concernant les temps de récupération des pièces et le montage de ces pièces sur le scooter est presque le temps nécessaire pour la fixation des comme l'exécution se fait par machine un exemple les visseuse . Ces simulations sont réalisées de manière générale. La simulation de la chaîne d'assemblage, dont le paramètre essentiel est de calculer le nombre d'assemblages par jour, est effectuée en temps réel. Les performances associées à ces données sont représentées de manière détaillée.

Les données qui réalisent et qui simulent la chaîne d'assemblage sont représentées dans l'illustration suivante. :

les parametres de la distrubution beta triangulaire	min ( $\alpha$ )	mode ( $\beta$ )	max ( $\gamma$ )
Post 1	6	6,5	7
Post 2	5	6	7
Post 3	8,5	9	9,5
Post 4	6,5	7	7,5
Post 5	6	6,5	7,5
Post 6	6	6,5	7,5

les temps en minute

FIGURE 3.6 – valeurs de la distribution triangulaire, qui simule le fonctinnet de la chaine d'assemblage final

#### **Interpretaion**

Ces simulations sont réalisées de manière générale. La simulation de la chaîne d'assemblage, dont le paramètre essentiel est de calculer le nombre d'assemblages par jour, est effectuée en temps réel.

Les performances associées à ces données sont représentées de manière détaillée dans le tableau suivant :

les parformances	ligne d'assemblage final
N	45
Tc	45 minute

### 3.3.5 Identification des Goulots d'Étranglement dans le Processus d'Assemblage

On remarque que le temps d'exécution des tâches au poste 3 (l'assemblage de la partie électrique) est plus long par rapport aux autres postes, car le temps minimum pour réaliser l'assemblage de la partie électrique, qui est de 8,5 minutes, est supérieur à tous les temps maximum des autres postes. En raison de la complexité de ces tâches, ce temps d'exécution influence la production globale en provoquant des retards et des blocages de la chaîne d'assemblage, ce qui entraîne une baisse de la production journalière et des pertes de temps en cas de défaillance de la partie électrique. Étant sensible, une panne dans cette partie entraîne un retard sur toute la chaîne d'assemblage. Donc, le poste 3 est un goulot d'étranglement.

### 3.3.6 Conclusion

En conclusion, la simulation de la chaîne d'assemblage joue un rôle crucial dans l'optimisation des processus industriels. En permettant de calculer en temps réel le nombre d'assemblages effectués par jour, ces simulations fournissent des données essentielles pour améliorer l'efficacité et les performances globales de la production. L'analyse des performances associées à ces données permet d'identifier les goulots d'étranglement et de mettre des solutions pour maximiser la productivité.

# Chapitre 4

## Approche de résolution

### 4.1 Introduction

Les résultats de la simulation offrent un aperçu précieux du fonctionnement de la ligne d'assemblage dans le processus de production de scooters. Cette simulation, basée sur un algorithme adapté aux données de production de l'entreprise, a permis de générer des temps de service pour chaque poste impliqué dans l'assemblage des scooters. En examinant de près ces résultats, nous pouvons mieux comprendre les dynamiques de la chaîne d'assemblage et identifier les opportunités d'amélioration pour optimiser l'efficacité et la productivité du processus.

### 4.2 optimisation avec deux approches

Dans l'objectif de proposer un modèle meilleur de l'assemblage de motos en niveau de VMS Industrie, on s'est inspiré de quelques travaux rencontrés dans la littérature concernant l'organisation de la chaîne d'assemblage automobile. Parmi ces travaux, on peut citer Arun [7], Dewa and Chidzuu [8], Wu [11], Adeyinka and Kareem [12], Wallace and Simon [13], Ghalekhondabia and Sucer [14], Shafeek and Marsudi [15], Manica and Dasilva [16], Heavy and O'Kelly [17].

Le choix de l'emplacement de l'assemblage de la partie électrique d'un scooter, qu'il soit effectué en premier ou en dernier, dépend principalement de la méthode de d'assemblage. Chacune de ces approches présente des avantages et des inconvénients, et la décision finale sera basée sur divers facteurs propres au processus de fabrication et aux objectifs de production de l'entreprise. Voici une comparaison détaillée des deux approches :

[8]

### 4.2.1 Approche 1 : Assemblage en premier

**affectation des tâches du poste 3 au poste prémontage chassis :**  
 en rajoutant sous poste pour assembler la partie électrique.

Cette approche offre également la possibilité d'effectuer des ajustements ou des modifications plus facilement, car les autres parties du scooter ne sont pas encore assemblées.

**l'inconvénient :** est que certains risques liés au montage ultérieur des autres composants peuvent subsister.

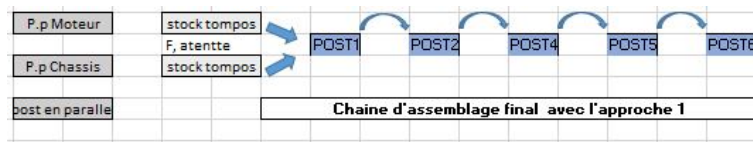


FIGURE 4.1 – L'ordre de passage de la ligne 1 avec l'approche 1.

### 4.2.2 Approche 2 : Assemblage en dernier

Avec cette approche, l'ordre des tâches sera changée par rapport à la chaîne d'assemblage initiale. L'ordre sera :

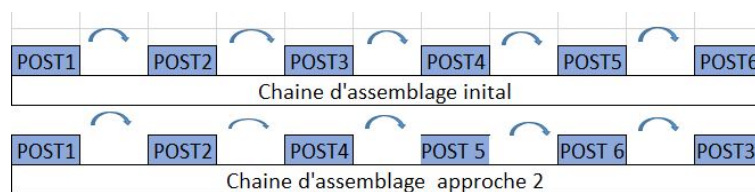


FIGURE 4.2 – l'ordre de passage de ligne 1 avec l'approche 2.

Lorsque l'assemblage de la partie électrique est réalisé en dernier, après l'assemblage des autres composants du scooter, cela permet de s'assurer que toutes les pièces s'adaptent correctement et fonctionnent ensemble de manière optimale.

Cela réduit les risques de compatibilité ou d'interférence entre les différentes

### 4.3. INTERPRETATION DES RÉSULTATS

---

parties du scooter. De plus, cette approche facilite le processus d'assemblage global, car les autres composants peuvent être installées autour de la partie électrique sans risquer de l'endommager. Cependant,

**Inconvénient** : Il est peut être plus difficile de détecter et de corriger les problèmes spécifiques à la partie électrique une fois que d'autres composants sont déjà en place.

Le tableau suivant montre les résultats de la simulation de la ligne 1 et la ligne optimisée sur les deux approches citées :

les performances	ligne 1	ligne 1 avec l'approche 1	ligne 1 avec l'approche 2
N	45 Scooter	60 Scooter	46 Scooter
Ts	45 minutes	34 minutes	45 minutes

### 4.3 Interpretation des résultats

- **Nombre de scooters assemblés (N)** : La première approche a généré un nombre de productions plus élevé, ce qui indique une meilleure efficacité et une capacité de traitement supérieure .

On constate que le taux d'assemblage des scooters a augmenté de 30 % par rapport à la production de la ligne.

Cela s'explique par le déplacement de l'assemblage des parties électriques vers les postes de pré-montage du châssis, ce qui a conduit à une augmentation significative du nombre de scooters assemblés.

Pour l'approche 2, les résultats sont presque les mêmes par rapport à la chaîne d'assemblage avec la configuration initiale.

- **Temps de cycle moyen (Ts)** : Lors de la comparaison des temps de cycle entre les deux approches, il a été observé que la première approche présente un temps de cycle meilleur avec un écart de 9 minutes par rapport à la deuxième approche , suggérant un traitement plus rapide par rapport à la ligne 1. Cela indique que la ligne d'assemblage 1 pourrait bénéficier d'une optimisation pour réduire encore plus les temps de cycle.

# Conclusion générale

L'équilibrage de la chaîne d'assemblage est une composante essentielle de l'optimisation de la production. En assurant une répartition efficace des tâches, il permet de réduire les coûts, d'augmenter la productivité et d'améliorer la qualité des produits finis.

Pour les fabricants de scooters, un équilibrage bien conçu peut non seulement augmenter la capacité de production mais aussi offrir une plus grande flexibilité pour répondre aux besoins changeants du marché.

L'objectif principal de cette étude était d'identifier des stratégies efficaces pour améliorer la production, en l'occurrence la chaîne d'assemblage de scooters chez VMS Industrie. Malgré le manque de données enregistrées dans ce travail, grâce à la modélisation et à la simulation de cette chaîne d'assemblage, en utilisant la distribution bêta triangulaire et le Solveur Matlab, nous avons réalisé ce travail dans le but de présenter une approche d'optimisation pour une nouvelle organisation de la chaîne d'assemblage, tout en maintenant l'efficacité de production. L'approche consiste à déplacer les tâches du poste 3 vers le pré-montage du châssis, réduisant ainsi le nombre de postes d'assemblage de 6 à 5.

Les résultats obtenus montrent que la capacité d'assemblage de la chaîne peut passer de 45 à 60 unités par jour, soit une évolution de 30 % par rapport à l'organisation initiale.

# Annexe

La distribution triangulaire est utilisée pour modéliser des variables aléatoires dont les valeurs sont limitées dans un intervalle donné et dont la probabilité est plus élevée autour d'une valeur modale.

Voici quelques caractéristiques de la distribution triangulaire [2] :

1. **Paramètres** : La distribution triangulaire est définie par trois paramètres :
  - $a$  : la valeur minimale de l'intervalle.
  - $b$  : la valeur maximale de l'intervalle.
  - $c$  : la valeur modale (la valeur la plus probable) située entre  $a$  et  $b$ .
2. **Fonction de densité de probabilité (PDF)** : La fonction de densité de probabilité de la distribution triangulaire est définie comme suit :
$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & \text{pour tout } a < x \leq c; \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, & \text{pour tout } c < x \leq b. \end{cases}$$
3. La fonction de répartition : est généralement définie comme suit :
$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & \text{pour tout } a < x < c; \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)}, & \text{pour tout } c < x \leq b. \end{cases}$$
4. **Moyenne et Variance** : Les formules pour la moyenne  $\mu$  et la variance  $\sigma^2$  d'une distribution triangulaire sont données par :
$$\mu = \frac{a+b+c}{3}$$
$$\sigma^2 = \frac{a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc}{18}$$
5. **Applications** : La distribution triangulaire est utilisée dans divers domaines pour modéliser des variables dont on sait que les valeurs se situent dans un intervalle spécifique. Par exemple, elle peut être utilisée pour modéliser des temps de livraison, des coûts de projets, des estimations de valeurs, etc.

Il est important de noter que la distribution triangulaire est une simplification de la réalité et peut ne pas être appropriée pour tous les

---

types de données. Elle est souvent utilisée lorsque peu d'informations sont disponibles sur la distribution réelle des données, et elle peut être ajustée en fonction des connaissances et des données spécifiques à la situation.



# Bibliographie

- [1] M.Tahkot. Conception et réalisation d'un module pour gestion de production dans le cadre l'ERP de l'entreprise VMS. mémoire Mastre, Université de Béjaïa (2016-2017). pages (17-25)
- [2] V. Hogg, W. McKean, T. Craig. Probability and Statistics (2018).
- [3] T. M. Liebling, D. Werra and J. F. Heche. Recherche opérationnelle pour ingénieurs tome 02, Presses polytechnique et universitaires romandes. pages (105-110), (2003).
- [4] R. Alan (1988). Processus stochastiques avec application aux phénomènes d'attente et fiabilité Edition 1. Presses Polytechnique Romandes.
- [5] B. Lionel. Processus stochastiques : processus de poisson et chaîne de Markov. (2004)
- [6] S. Ziani. Analyse des Comportements Stratégiques et Recherche des Equilibres dans les Systèmes d'Attente Markoviens. Thèse de Doctorat, Université de Béjaïa, (2016).
- [7] Arun. B. Rane et al. Improving the Performance of Assembly Line : Review with case study. 2015 International Conference on Nascent Technologies in the Engineering Field (ICNTE-2015).
- [8] M. Dewa and L. Chidzuu. Bottleneck management through discrete event simulation for manual automobile assembly systems. South Africa CIE42 Proceedings, (16-18 July 2012), Cape Town, South Africa, CIE SAIIE (120-1).

## *BIBLIOGRAPHIE*

---

- [9] J. Medhi. Stochastic models in queuing theory. Academic press, Elsevier science, (1991).
- [10] J. Medhi. Stochastic process, 2nd. ed. Wiley Eastern New Delhi, (1994).
- [11] K. Wu. Classification of queueing models for a workstation with interruptions : a review. International Journal of Production Research. 52 :3, 902-917, (2014).
- [12] A. M. Adeyinka , B. Kareem . The application of Queuing Theory in Solving Automobile Assembly Line Problem. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT) , (2018).
- [13] J. Wallace , T. Simon . BOUNDS AND HEURISTICS FOR ASSEMBLY-LIKE QUEUES . Queueing Systems, 4 137-156 (1989).
- [14] I. Ghalekhondabia , G. Sucer . Production line performance analysis within a MTS/MTO manufacturing framework : a queueing theory approach, (2018)
- [15] H. Shafeek , M. Marsudi . The Application of Queuing Theory in Multi-Stage Production Lines , World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering , (2014).
- [16] E. Manica, S. da Silva, Application of Queue Theory in a Continuous Assembly Line for Setting Conwip Level, International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology, (2017).
- [17] C. Heavey , M.E.J. O'Kelly , Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with Inter Station Buffers, (1989).

## *Résumé*

L'équilibrage et l'organisation des chaînes d'assemblage sont des aspects cruciaux de la gestion de la production industrielle. Ils visent à assurer une répartition optimale des tâches entre les postes.

Dans ce travail, nous présentons la modélisation et l'analyse des performances de la chaîne d'assemblage de la ligne 1 chez VMS Industrie. À l'aide de l'outil de simulation Matlab et de l'inverse de la fonction de répartition de la loi bêta triangulaire pour générer les temps de service de chaque poste, nous avons pu identifier et corriger les goulots d'étranglement. L'approche d'optimisation a conduit à une amélioration significative de la productivité, répondant ainsi aux objectifs de l'entreprise. Ces résultats montrent l'importance de la simulation et de l'optimisation continue pour maintenir une chaîne de production efficace et compétitive.

**Mots clés :** Loi bêta triangulaire, Organisation Chaîne d'assemblage .

## *Abstract*

Balancing and organizing assembly lines are crucial aspects of industrial production management. They aim to ensure optimal distribution of tasks among workstations.

In this study, we present the modeling and performance analysis of the assembly line 1 at VMS Industrie. Using the Matlab simulation tool and the inverse of the triangular beta distribution function to generate service times for each workstation, we were able to identify and address bottlenecks. The optimization approach implemented resulted in significant improvements in productivity, thereby meeting the company's objectives. These findings underscore the importance of continuous simulation and optimization in maintaining an efficient and competitive production chain. **Keywords :** Triangular beta distribution, Assembly line organization .