

Université du 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : *HACHOUF RAMZI*

=====

***Analyse des performances d'une ligne
d'assemblage automatique***

=====

Sous la Direction de

Dr. Riad Khattabi

Année universitaire 2011/2012

Sommaire

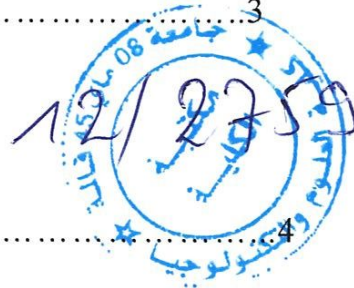
Remerciements

Résumé

Introduction générale 1

I. Problématique..... 3

Chapitre 01



I-DFMA..... 4

➤ 1-Introduction..... 4

➤ 2- Avantages..... 4

II-Transfert de pièce 4

II.1.Methodes de transtert des pièces..... 5

➤ 1-1- Transfert motorisé non synchrone 5

➤ 1-2-Transfert linéaire intermittent..... 5

➤ 1-3-Transfert intermittent en carrousel..... 6

➤ 1-4-Table rotative et bol vibrant..... 6

III- Machines indexeuses (synchrone)..... 7

➤ 1-Introduction 7

➤ 2-Vitesse de rotation..... 8

➤ 3-Protection de l'environnement..... 8

➤ 4- Types de machines synchrones et modèles..... 8

IV-Machines à transfert libre (asynchrone) 9

➤ 1-Introduction 9

➤ 2-Principe de fonctionnement 10

➤ 3-Caractéristique du machine asynchrone..... 10

V-Gamme d'assemblage 13

VI- Temps de cycle 13

VII- Temps d'arrêts..... 13

VIII- Stocks Tampons..... 15

Sommaire

➤ 1-Introduction.....	15
➤ 2-Formulation du problème et analyse des performances	17
➤ 3-Analyse des états du stock-tampon	19

Capitre02

I. introduction	21
II. Machines indexeuses.....	22
III. Machines à transfert libre	22
IV. Effet de la qualité des pièces	22
IV.1. Temps d'arrêts.....	26
IV.2. Stocks Tampons	27
➤ Le nombre.....	27
➤ La taille.....	28
V. Exemple de planification de la production.....	31
V.1. Séquence d'assemblage.....	31
V.2. Nombre de postes de travail	35
V.3. Balancement de ligne.....	35

Conclusion générale

Conclusion générale.....	40
Annexe A.....	41

REMERCIEMENTS

Cette étude est le résultat de la préparation d'un mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre de Master en génie mécanique, option : Maintenance Industrielle.

Pour cela, Je remercie particulièrement mon encadreur ; Docteur *RIAD KHETTABI*; pour m'avoir guidé tout au long de ce travail. Je tiens à lui exprimer ma très vive gratitude pour ses conseils, ses explications et son aide pour la bonne rédaction de ce mémoire de Fin D'études.

Je voudrais remercier spécialement Mon père *Hachouf Ahmed* pour son courage et soutien durant mon parcours universitaire.

Je remercie tous les membres du département de Génie mécanique que se soit enseignants ou personnels administratifs. Je tiens à remercier aussi l'étudiant *Kharoubi Samir* et tout le groupe de classe Master en Génie mécanique, Option : maintenance industrielle.

Hachouf Ramzi

Résumé

L'assemblage automatique gagne de plus en plus du terrain en industrie moderne. La concurrence est devenue atroce et exigeante. Le développement continu est donc indispensable. Ceci impose que la durée de cycle de production (de la matière première aux produits finis) doit être réduite au minimum. Ceci est possible par la conception d'une ligne totalement intégrée, or cela pourrait causer de graves problèmes si la fiabilité et l'interaction de chaque opération ne soit pas optimisées. Des stocks tampons sont employés entre les sections intégrées d'une ligne manufacturière pour minimiser l'effet du temps d'arrêt individuel et augmentent l'efficacité globale de la ligne. Des systèmes de manutention sont aussi nécessaires pour réintroduire les pièces à la prochaine opération. Les organes de manutention étant souvent les composants les moins fiables dans la chaîne de montage entière, ils contribuent considérablement au temps d'arrêt. Il a été possible dans notre étude d'optimiser la taille, le nombre et l'endroit des stocks tampons et d'avoir une fiabilité élevée. La méthode adoptée permet de concevoir ou de reconcevoir une chaîne d'assemblage automatique existante afin d'améliorer la production. Cette méthode a été appliquée sur un cas simple d'un produit de téléphone cellulaire comportant 10 pièces.

Abreviations :

DFMA: Design For Manufacture and Assembly

TTA: Temps Technique d'Arrêt

TA: Temps d'Arrêt

TDF: Time- Dependent-Failure

ODF: Operation-Dependent-Failure

Notations et Symboles

P: Nombre de paire de pôles du moteur

f : Fréquence du courant alternatif qui traverse la bobine

N : Capacité (Taille) du stock

ω_i : Capacité de production de la machine

M_i : Pièces/unité de temps

α : Rapport des capacités de production ($\alpha = \omega_1 / \omega_2$)

ρ_i : Taux de production de la machine M_i

λ_i : Taux de défaillance de la machine M_i

μ_i : Taux de réparation de la machine M_i

A_i : Disponibilité de la machine M_i

A_s : Disponibilité du système

l : Niveau de stock moyen dans le stock tampon

T : Temps moyen

Nt : Temps nécessaire pour assembler N assemblages

m : Proportion des pièces défectueuses

x : Rapport des pièces défectueuses sur les pièces acceptables (pendant l'alimentation)

Abréviation, Notations et Symboles

n : Nombre de tête de travail automatique

t : Temps de cycle

D : Proportion du temps d'arrêt

N : nombre d'assemblages

t_{pr} : Temps moyen de production des assemblages acceptables

C_t : Coût d'assemblage

W_a : Frais généraux

B : Constante relative au niveau de la qualité

M_t : Coût d'opérations d'assemblage

b : Taille du stock tampon

d : Temps d'arrêt

K : Facteur qui dépend du rapport T/t

FM : Taux de distribution maximal du distributeur

Y : La plus grande dimension de la pièce

OE : Indice de la difficulté de manipulation de la pièce

Introduction Générale

L'Assemblage est l'une des étapes les plus importantes pour le développement de produit. la conception Ensemble-orientée (AOD) est une nouvelle approche à concevoir des assemblages, qui utilise un certain nombre d'outils de conception et d'analyse pour aider à apporter des arrangements avant d'avoir détaillé la connaissance de la géométrie des pièces. [1].

En utilisant cette approche, beaucoup d'arrangements de l'assemblage peuvent être économiquement évalué pour que leur capacité fournisse les caractéristiques importantes du produit [2].

L'Assemblage est l'une des étapes les plus importantes pour le développement de produit. Il a pour rôle de réduire le coût et améliorer la productivité, d'où l'idée de la chaîne d'assemblage automatique c'est à dire la productivité de travail, IF le rendement/heure-homme [3].

L'amélioration de travail ou la productivité sont habituellement réalisées l'un ou l'autre en faisant plus l'utilisation efficace de la main d'œuvre ou de présenter plus d'équipement productif [4].

La productivité est considérée importante pour toutes les industries. Dans le secteur de fabrication elle est particulièrement considérée plus importante, en raison de l'impact relativement grand que ce secteur sur génération de la richesse nationale [5].

Au sein de la fabrication industrie la forme discrète d'industries de pièce durable est considérée comme une cible importante pour l'amélioration de productivité. Ceci l'a soumis aux attaques directes de la haute économie en ayant le prix qui indique l'article de qualité. La productivité croissante assurée par l'assemblage automation est de venue une voie de la compétitive [4] et [6].

Les technologies classiques de production, telles que la coupe de métal et la mise en forme, ont réalisé un niveau élevé de l'automatisation. En conséquence, des pièces sont maintenant produites à un coût relativement bas [4] et [7].

D'autre part, l'assemblage demeure en grande partie une opération manuelle avec l'effet entre beaucoup de différentes fonctions et opération.

Introduction Générale

Depuis lors, beaucoup d'études ont été entreprises et on l'a constaté que plus de 40% des coûts total de production est du à l'assemblage.

Dans l'industrie automobile, qui est fortement considérée par beaucoup d'automatisation, approximativement un tiers de toutes les tâches de production sont des assemblages. De nombreuses industries automobile s'appuient sur la technologie d'assemblage automatique. La combinaison a le respect de tous les secteurs industriels automatique il représente un tiers de l'industrie automobile [6].

La conception et dans ce domaine est motivé par ce désir d'abaisser le cout d'assemblage. L'approche de base est d'apporter des considérations d'assemblage dans la conception mettent en phase puisque la conception est peut être responsable de 75% des coûts finaux des produits [8].

Un aperçu de 355 compagnies en République Fédérale d'Allemagne montre les obstacles les plus importants contre l'automatisation dans le domaine de l'assemblage sont :

1. des conceptions de produits ne sont pas généralement "ensemble orienté"
2. la plupart des pièces ne peut pas être manipulé automatiquement sans problèmes.

C'est parce que peu de concepteurs ont de l'expertise en conception ensemble-orientés et même si ils ont l'expertise, ils sont peu disposé à exécuter l'analyse de DFA due à la quantité d'effort à impliquer [8] et [9].

Cependant Les outils disponibles sont actuellement compétitifs, ils sont typiquement employés comme outils d'analyse de conception.

En conséquence, les concepteurs généralement les regardent comme fardeau additionnel et difficile les accepter.

Pour changer cette perspective, nous proposons une nouvelle approche par lequel analyse de DFA est incorporé à la phase de plan d'étude pour guider le concepteur dans sa recherche d'une "bonne" solution initiale de conception [9] et [5].

Introduction Générale

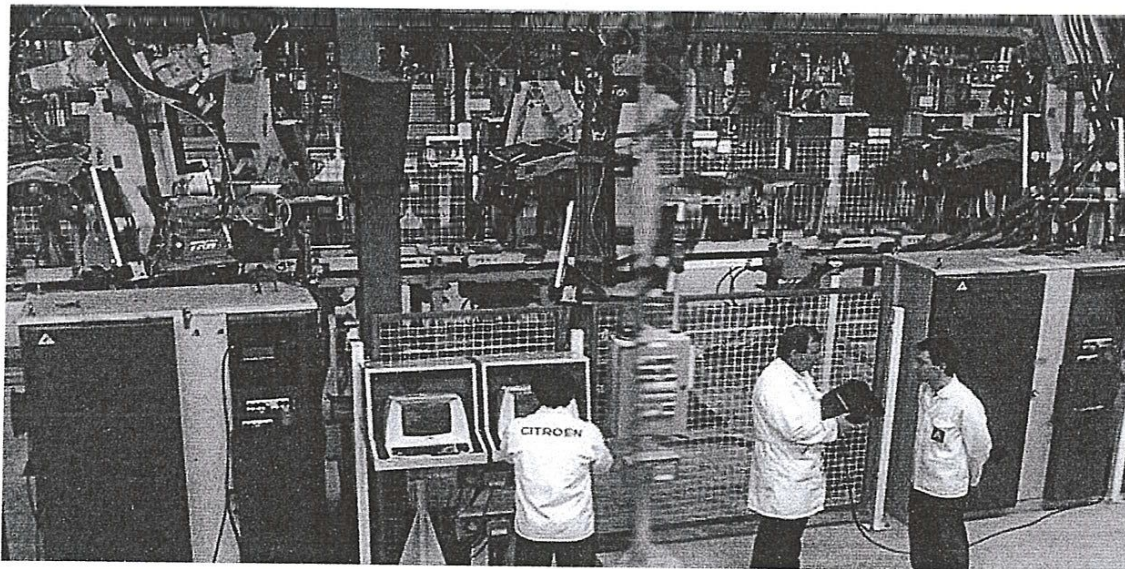
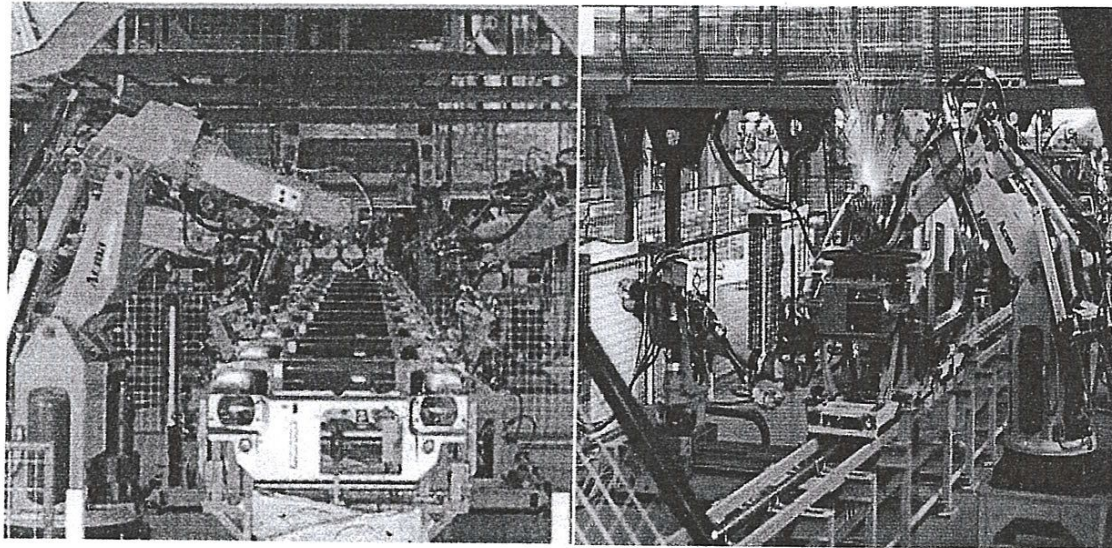


Fig1 : Chaîne assemblage automatique de voiture
<http://philippe.boursin.perso.sfr.fr/pdgusine.htm>

I. Problématique:

Problèmes rencontrés lors de l'assemblage automatique, le design des pièces, le transfert des pièces et Temps d'arrêt

Implique réparation et augmentation du temps de cycle Blocage dû a la mauvaise conception de la chaîne d'assemblage.

Chapitre -1-

I. DFMA

I.1. Introduction :

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation d'une gamme d'assemblage ou de fabrication. La méthode de DL Poly advisor est une méthode rapide mais moins précise que la méthode de conception pour la fabrication et l'assemblage (DFMA) développée par Boothroyd est une méthode précise et très efficace. Le DFMA est un logiciel de conception qui permet l'évaluation de l'efficacité d'un nouveau produit ou d'un produit existant. De plus il permettra de reconcevoir le même produit et de maximiser l'efficacité sans passer par des essais réels. Cet outil est très puissant et largement utilisé en industrie. Il se base principalement sur les difficultés d'orientation et de manipulation des pièces. Cet outil est peut être utilisé dans le cadre de travail afin d'évaluer l'efficacité et la fiabilité de la méthode développée [19].

I.2. Avantages

Réel

- Temps D'Élaboration Raccourci
- Coûts Réduits De Développement
- Augmente une transition douce à la production
- Compte réduit de pièces
- Assemblages simplifiés
- Qualité améliorée (peu d'occasions pour des erreurs)
- La fabrication réduite coûte (réduisant de ce fait AUPC et cycle de vie coûts)

Non réel

- Communication améliorée chez l'équipe de conception entière
- Favorise le travail d'équipe
- Propriété d'organisation d'augmentations [13].

Chapitre-1-

II. Transfert de pièce :

Transfert de pièce et un système qui travail a doit assurer les fonctions suivantes : CHARGER/DECHARGER, TRANSFERER, ASSEMBLER [17].

II.1. Méthodes de transfert des pièces

II.1.1. Transfert motorisé non synchrone

Un **Transfert motorisé non synchrone** est un type de **Transfert** de base mais se système il consomme beaucoup de temps d'assemblage Les palettes restent à chaque station jusqu'à ce que le travail est complété et Chaque station doit lire le code et fait le travail demandé (inspection ou assemblage)[17].

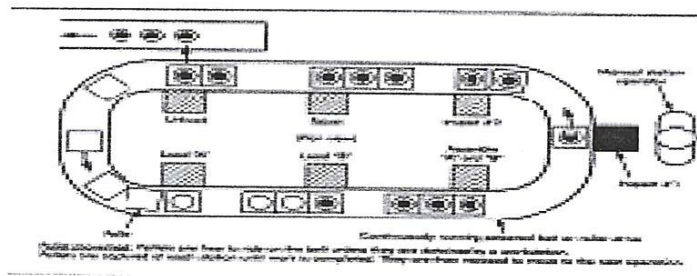


Fig2 : exemple de transfert non synchronisée motorise

II.1.2. Transfert linéaire intermittent

Ce type de transfert exige un déplacement pas à pas. L'avancement des stations se fait d'une façon intermittente. Les pièces sont placées dans des palettes et assemblées dans chaque station de travail. Généralement ce type de transfert est utilisé dans l'industrie lourde [17].

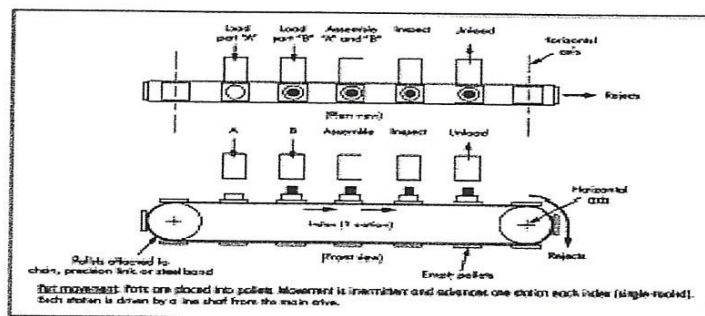


Fig3 : exemple de transfert linéaire intermittent

II.1.3. Transfert intermittent en carrousel

Dans ce type de transfert, les palettes sont attachées a la chaine d assemblage. . L'avancement des pièces se fait aussi d une Facon intermittente. Généralement, ce type de transfert est fréquemment utilisé dans le cas des pièces de taille petites et moyennes [17].

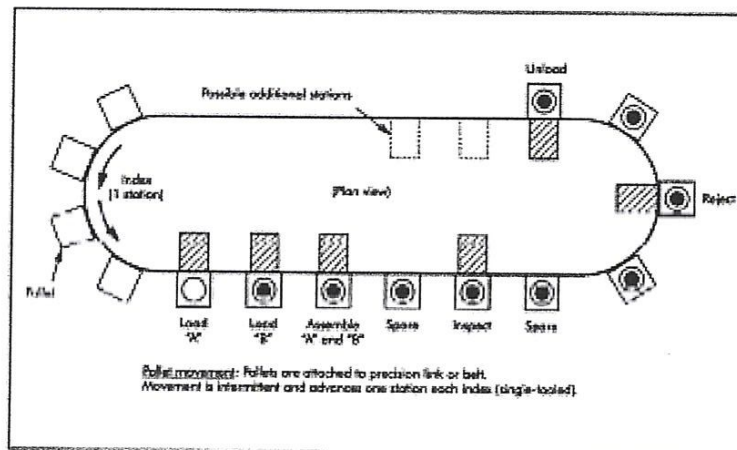


Fig4 : exemple de transfert intermittent en carrousel

II.1.4. Table rotative et bol vibrant

La table rotative a présenté une invention dans type de transfert. Le bol vibrant utilisé pour l'alimentation des pièces. Ceci présente une Facon ingénieuse pour faciliter la manipulation et l'insertion de certains types de pièces. La vitesse d'assemblage est relativement élevée mais le système est en général sensible [17].

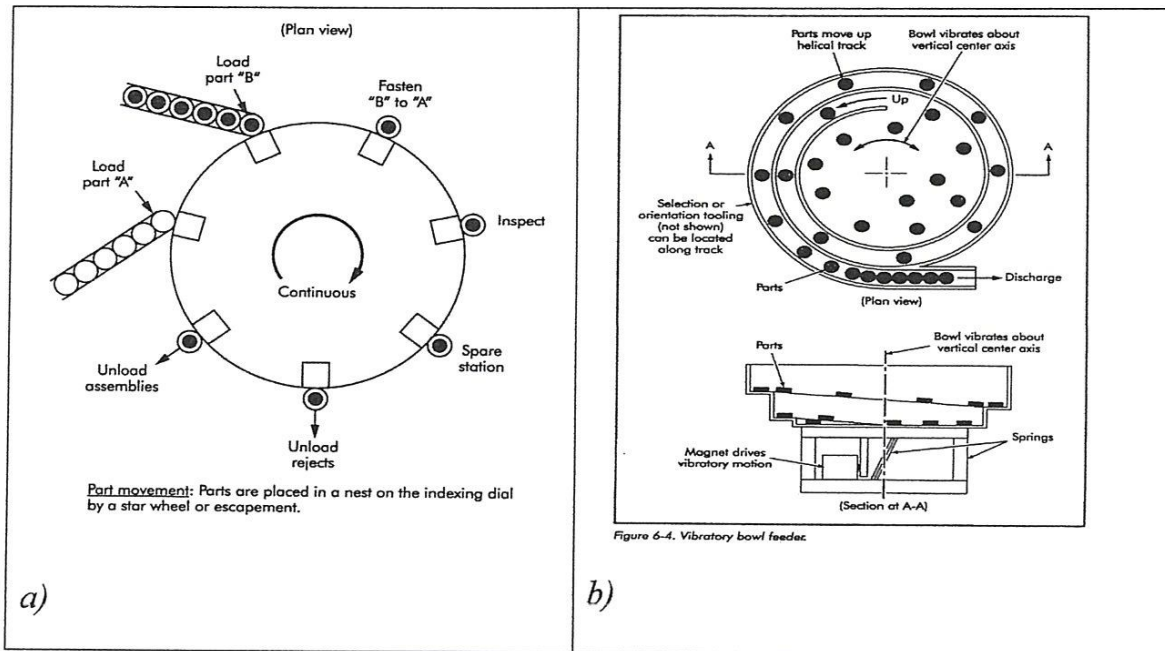


Fig5 : exemple de transfert Table rotative (a) et bol vibrant (b)

III. Machines indexeuses (synchrones):

III.1. Introduction :

Cette machine se caractérise par une vitesse de rotation constante, indépendante de la charge, mais liée à la fréquence du réseau d'alimentation. Le moteur synchrone conserve sa vitesse de rotation jusqu'à ce qu'il soit en surcharge [12]. Lorsqu'il est surchargé, le moteur décroche ; c'est-à-dire, qu'il s'arrête et se retrouve dans un mouvement oscillatoire (vibration) [14]

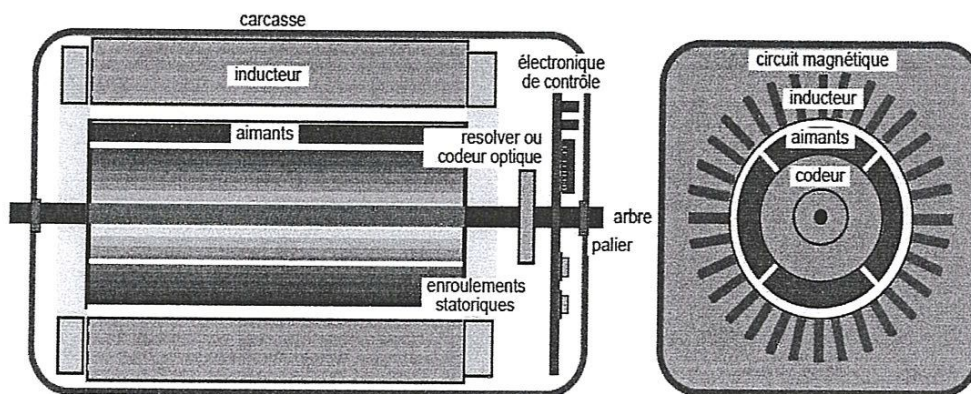


Fig6 : moteur électrique synchrone [14].

III.2. Vitesse de rotation

C'est une caractéristique essentielle qui peut se calculer comme indiqué

ci-dessous :

$$\text{Vitesse (en tr/min)} = 60 * \frac{f(\text{en Hz})}{p}$$

f Hz : C'est la fréquence du courant alternatif qui traverse la bobine.

P : C'est le nombre de paire de pôles du moteur

(1 paire = 1 pôle Nord + 1 pôle Sud)[12].

III.3. Protection de l'environnement

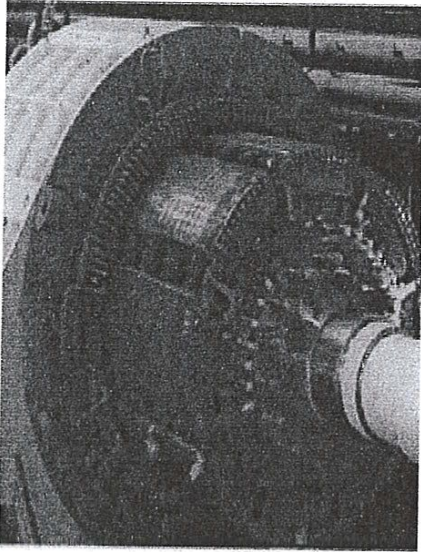
Qui est nécessaire que les fabricants intégrée les concepts modernes de protection de la santé et de l'environnement lors de production jusqu'à le conditionnement.

III.4. Types de machines synchrones et modèles

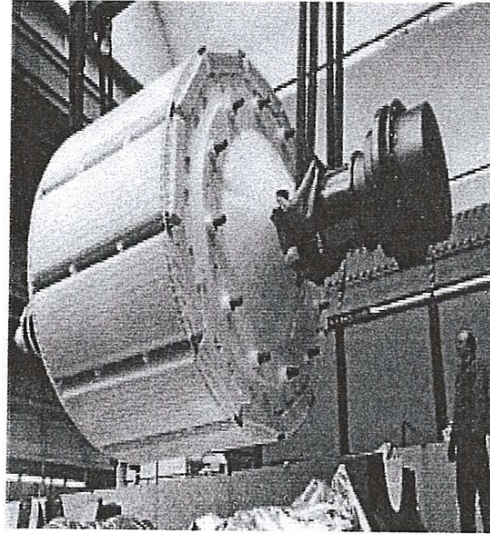
La gamme de puissance des machines synchrones est très étendue, elle va des entraînements de bandes, de disques (quelques watts à 10 W) aux entraînements de grande puissance (pompes, propulsion de bateaux, générateurs à vitesse variable, traction... : MW a 10 MW) en passant par les servomoteurs de la robotique (bras du robot, broches de machines-outils... : 100 W a 10 kW et même 100 kW). Même si les structures de machines sont très variées, leurs principes de fonctionnement et de pilotage restent voisins [12].

Les qualités requises de ces entraînements sont très diverses :

- accélération vive
- ondulations de couple réduites
- longue durée de vie



50 MW Alstom



100 MW ABB

Fig7: Gros moteurs synchrones à pôles saillants à vitesse variable pour soufflerie, [12].

IV. Machines à transfert libre (asynchrone):

IV.1. Introduction :

La machine asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault [15].

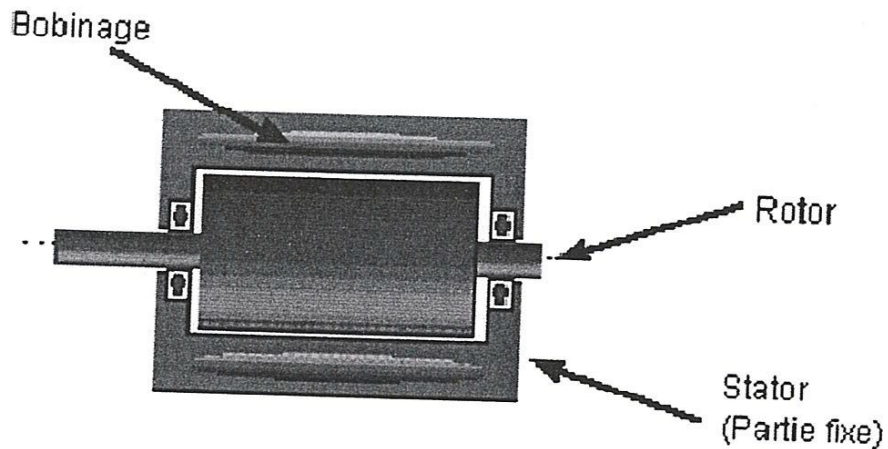


Fig8 : moteur électrique asynchrone [15].

IV.2. Principe de fonctionnement :

Dans le cas de la machine triphasée, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum).

Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit 50 tr/s.

Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Le rotor est donc balayé par un champ magnétique qui tourne à une fréquence de rotation relative de $3000-2840=160$ tr/mn [15].

IV.3. Caractéristique du machine asynchrone

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour la machine et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du machine et de la charge se

Chapitre-1-

croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples machine et résistant sont identiques [15].

Tableau 1 : Comparaison entre les machines synchrones et asynchrones [12].

Synchrone	Asynchrone
Vitesse du rotor égale à la vitesse du champ tournant indépendante de la charge	Vitesse du rotor plus petite que la vitesse du champ tournant (sinon, pas de couple).
L'augmentation de la charge provoque une variation du déphasage entre le rotor et le champ tournant	L'augmentation de la charge fait diminuer la vitesse. (augmentation du glissement \Rightarrow plus de variation du flux dans un matériaux conducteur \Rightarrow de courant dans le rotor et de couple.
Le rotor est constitué d'aimants permanents ou d'électroaimant.	Le rotor est constitué de bobinage en court-circuit (p.ex cage d'écureuil)
Dans le deuxième cas, on doit fournir un courant d'excitation au rotor (bagues de connexion).	Certains gros moteurs ont la possibilité d'ajouter des résistances série pour diminuer le courant dans le rotor donc le courant d'alimentation
Bon rendement (0.985 pour gros alternateurs)	« machine à bagues »
Facteur de puissance réglable en fonction du courant d'excitation	Robuste, peu d'entretiens
Inconvénients :	Démarrage en direct sur le réseau (grand couple de démarrage).
Pour les moyens/gros machines	

Chapitre-1-

<p>(électroaimant), demande un entretiens des bagues.</p> <p>Si on demande trop de couple à une machine synchrone, il décroche. Le couple chute alors à zéro, plus d'effet moteur. (sécurité !)</p> <p>Ne permet pas un démarrage en direct sur le réseau (possible pour les machines synchrones hybrides, ils possèdent une cage d'écureuil qui permet d'atteindre la vitesse synchrone à vide -accrochage)</p> <p>Utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none">- Production d'énergie (alternateur à bon rendement)- Application nécessitant une vitesse stable en fonction de la charge- Moteur pas à pas- Moteur brushless (sans brosse)	<p>Inconvénients :</p> <p>La vitesse dépend de la charge</p> <p>Pour les machines de moyenne et grande puissance et à temps de démarrage long (inertie), il faut gérer la pointe de courant de démarrage égale à 6-8 fois le courant nominal.</p> <p>Le $\cos \phi$ à vide est très faible (non réglable)</p> <p>Rendement moins bon (0.9 pour gros moteurs)</p> <p>Utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none">- Le grand standard industriel- Entraînements divers- Parfois utilisé comme génératrice dans les éoliennes.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Chapitre-1-

V. Gamme d'assemblage

Une gamme d'assemblage est la séquence adoptée en précisant le type d'assemblage, les opérations additionnelles et l'outil utilisé.

VI. Temps de cycle

Pour des opérations manuelles et automatiques. Des opérations automatiques (typiquement exécuté par des robots) sont conçues pour fonctionner à une vitesse légèrement plus élevée que les opérations manuelles. En d'autres termes, la vitesse des machines conduira la productivité [18].

VII. Temps d'arrêts:

VII.1. Introduction :

TTA c'est le temps technique d'arrêt TA est un temps d'arrêt qu'un système en exploitation peut connaître. le temps d'arrêt est dû à des raisons techniques et à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièces, matière, d'énergie). Les TA concernent principalement la maintenance corrective dans la mesure où les interventions à caractère préventif sont effectuées hors production. Cependant, dans le cas de système automatique fonctionnant en continu, le TA correspond aux TR d'opérations préventives, les temps annexes comme les préparations anticipés. Les TR sont donc généralement inclus aux (figure9) néanmoins, dans certaines conditions, l'inverse est possible lorsque l'intervention peut débuter avant l'arrêt du

système[18].

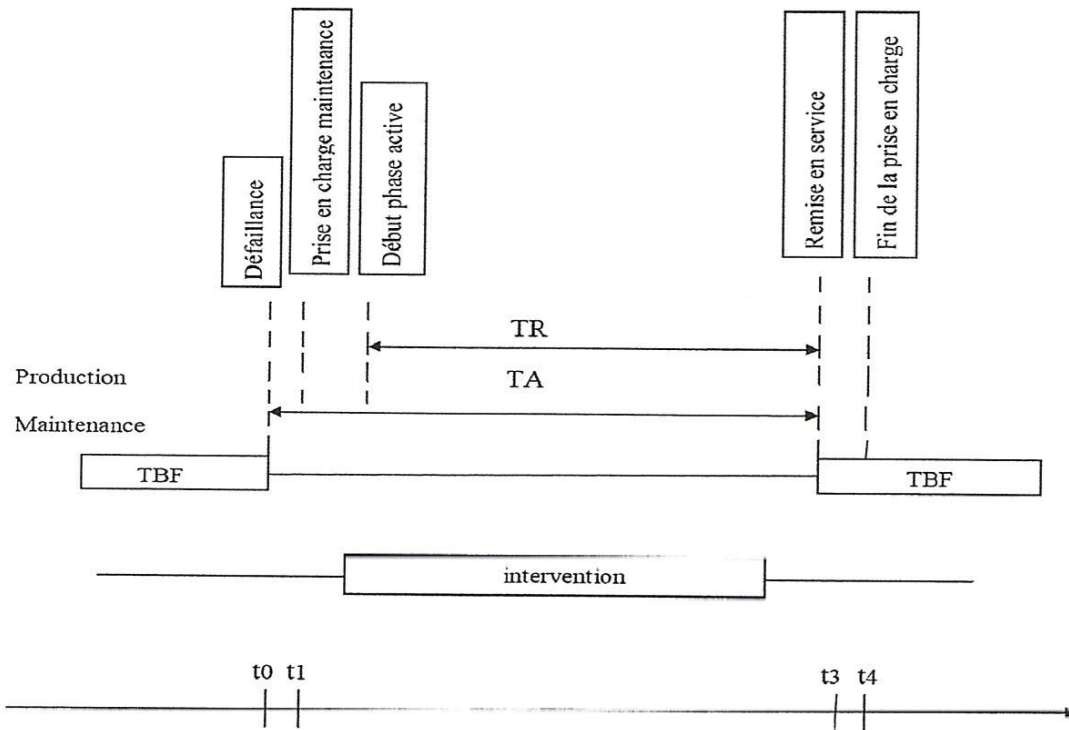


Fig9 : le temps d'arrêt [18].

- $t_0_t_1$: temps de détection de la défaillance et d'appel.

- $t_1_t_2$: temps logistique (déplacement), de préparation et de diagnostic.

- $t_2_t_3$: phase active.

- $t_3_t_4$: temps annexes (compte rendu, nettoyage, déplacement).

Afin d'optimiser la disponibilité des systèmes en réduisant l'écart entre TA et TR, il est indispensable de chercher à réduire les temps non active (de t_0 à t_2) [18].

VIII. Stocks Tampons:

VIII.1. Introduction

Une ligne de production est un système de fabrication à flots de produits. Elle est constituée d'une suite de stations de travail séparées par des zones de stockage tampons (buffers) [11].

Le transfert des produits entre les stations est assuré par différents systèmes de transport possibles tels que :

- Les convoyeurs et les bandes roulantes. La problématique de la conception des lignes de production est basée sur des données concernant les produits et des contraintes technologiques liées aux machines et équipements de fabrication existants.

- C'est pourquoi, lors de la conception d'un système de production, toutes les alternatives fonctionnelles et technologiques doivent être étudiées.

Cette problématique de conception comprend plusieurs sous problèmes tels que: la sélection de pièces d'équipements à partir d'un ensemble de solutions candidates pour chaque opération de fabrication; l'équilibrage et le dimensionnement des postes de travail (affectation des opérations aux postes de travail); le dimensionnement des zones de stockage (buffers); le dimensionnement des systèmes de transport; l'aménagement des emplacements; etc. [10].

L'analyse des performances d'une ligne de production est l'une des étapes principales de la phase d'optimisation de la conception.

En effet, souvent la performance d'une ligne de production est exprimée en fonction du taux de production global de la ligne. il a été montré aussi qu'on ne peut avoir une formulation analytique (solution exacte) du taux de production que dans le cas d'une ligne a deux machines.

Chapitre-1-

Une distinction selon le type de la ligne de production : synchrone si les produits sont transférés simultanément d'une machine à une autre, asynchrone si chaque type de produit est transféré indépendamment des autres ou continue si les produits sont transférés de façon continue et à vitesse constante [11].

Une distinction selon le mode de défaillance des machines.

Deux types de défaillances sont considérés : défaillances dépendantes du temps (TDF : Time- dependent-failure) Temps - personne à charge – échec et défaillances dépendantes des opérations.

(ODF: Operation-dependent-failure) Opération - personne à charge – échec.

Dans le premier cas, l'état de panne d'une machine dépend du temps, i.e., une machine peut tomber en panne même si elle est bloquée ou affamée. Par contre, dans le second mode [10]et [11].

La machine ne peut tomber en panne si elle est au repos. L'autre grand axe de classifications de ces modèles est la distribution des temps de pannes et des temps de réparations des machines.

Ont présenté une étude comparative entre les différents modèles à deux machines existant dans la littérature. Ils ont identifié huit différents modèles, classés selon le type de la ligne de production (synchrone ou asynchrone), selon le mode de défaillance

(Time-dépendent-failure ou Opération-dépendent-failure) et enfin selon la loi de probabilité des temps de panne et de réparation (Bernoulli, géométrique et exponentielle) [10] et [11].

Tableau 2. Les différents modèles à deux machines et un stock-tampon [10].

Chapitre-1-

Type de Ligne	Mode de Défaillance	Distribution des temps de panne et de réparation
Asynchrone	ODF	Exponentielle
Synchrone	TDF et ODF	Géométrique
Asynchrone	TDF	Exponentielle
Synchrone	ODF	Géométrique
Asynchrone	ODF	Exponentielle
Synchrone	TDF	Exponentielle
Asynchrone	TDF	Bernoulli
Synchrone	TDF	Bernoulli
Asynchrone	TDF	Bernoulli
Synchrone	TDF	Géométrique

VIII.2. Formulation du problème et analyse des performances :

Dans cet travail, il considère deux machines (station de travail) reliées par une zone de stockage intermédiaire (Figure 10).

Le système est sujet à des indisponibilités en raison de la capacité limitée du stock-tampon ou/et la défaillance et la réparation des machines.

Nous considérons aussi les hypothèses suivantes :

Chapitre-1-

1. Les durées opératoires des tâches sont déterministes.

2. L'état de panne des machines dépend des opérations.

Une machine ne peut tomber en panne si elle est affamée ou bloquée.

3. La première machine ne peut être affamée et la seconde ne peut être bloquée.

4. Les temps de défaillance et de réparation sont indépendants et distribués suivant une loi exponentielle.

5. Lorsque les deux machines sont en pannes, elles peuvent être réparées simultanément.

6. Le stockage ne peut tomber en panne et les temps de transition entre machines et stock sont nuls [10].

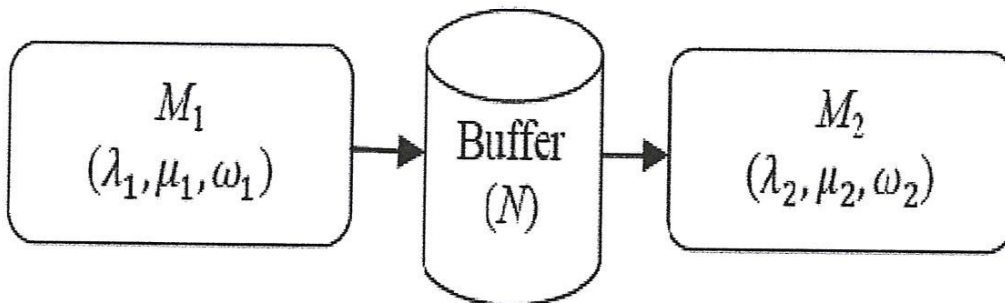


Fig10 : Système à deux machines et un stock-tampon [10].

N : la capacité (la taille) du stock

ω_i la capacité de production de la machine M_i (pièces/unité de temps)

Chapitre-1-

$\alpha = \omega_1 / \omega_2$ le rapport des capacités de production

ρ_i le taux de production de la machine M_i

λ_i le taux de défaillance de la machine M_i

μ_i le taux de réparation de la machine M_i

A_i la disponibilité de la machine M_i

A_s la disponibilité du système

I le niveau de stock moyen dans le stock tampon

VIII.3. Analyse des états du stock-tampon :

Considérant le stock comme un système isolé entre deux machines fiables, les différents états du système peuvent être modélisés par un processus de naissance ont étudié le cas où les durées opératoires sont stochastiques loi exponentielle ont considéré le cas déterministe des durées opératoires.) [10].

Pour faire, on considère un processus de naissance et de mort avec $(N+1)$ états $\{0, 1, 2, \dots, N\}$ et ω_1, ω_2 respectivement les taux de naissance et taux de mort. On obtient le système

d'équations différentielles suivant :

$$P \begin{cases} P'_0(t) = \omega \times P_0(t) + \omega_2 \times P_1 \\ P'_j(t) = \omega_1 \times P_{j-1}(t) - (\omega_1 + \omega_2) \times P_j(t) + \omega_2 \times P_{j+1}(t) \\ P'_N(t) = \omega_1 \times P_{N-1}(t) + \omega_2 \times P_N(t) \end{cases} \quad (1)$$

A l'état stationnaire du fonctionnement du système, les termes différentiels p'_j sont égaux à zéro.

Donc le système d'équations (1) s'écrit :

Chapitre-1-

$$\begin{cases} 0 = -\omega_1 \times P_0 + \omega_2 \times P_1 \\ 0 = \omega_1 \times P_{j-1} - (\omega_1 + \omega_2) \times P_j + \omega_2 \times P_{j+1} \quad (2) \\ 0 = \omega_1 \times P_{N-1} + \omega_2 \times P_N \end{cases}$$

Soit $\alpha = \omega_1/\omega_2$; en simplifiant le système d'équations (2) et

en considérant $\sum_{j=1}^N P_j = 1$ on obtient :

$$P_j = \begin{cases} \frac{\alpha^j \times (1-\alpha)}{2\alpha} & \text{si } \alpha \neq 1 \\ \frac{1}{N+1} & \text{si } \alpha = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Le niveau de stock moyen dans le stock-tampon à l'état stationnaire du fonctionnement du système est calculé comme suit :

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{j=1}^N j \times P_j \quad (4) \\ &= \begin{cases} \frac{N \times \alpha^{N+2} - (N+1) \times \alpha^{N+1} + \alpha}{\alpha \alpha^{N+2} - \alpha^{N+1} - \alpha + 1} & \text{si } \alpha \neq 1 \\ \frac{N}{2} & \text{si } \alpha = 1 \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

Remarque :

la formule du stock moyen est basée sur le calcul de série suivant [11]:

$$\sum_{j=1}^N j \times \frac{\alpha^j (1-\alpha)}{1-\alpha^{N+1}} = \frac{1-\alpha}{1-\alpha^{N+1}} \sum_{j=1}^N j \times \alpha^j \quad (6)$$

Sachant que :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N j \times \alpha^j &= \alpha \times \frac{\partial \sum_{j=1}^N j \times \alpha^j}{\partial \alpha} \quad (7) \\ &= \alpha \times \frac{\partial \frac{\alpha \times (1-\alpha^N)}{1-\alpha}}{\partial \alpha} = \frac{\alpha - (N+1) \times \alpha^{N+1} + N \times \alpha^{N+2}}{(1-\alpha)^2} \quad (8) \end{aligned}$$

Chapitre -2-

I. Introduction:

Les méthodes de transfert synchrones, où les postes de travail sont synchronisés entre eux incluent les lignes Intermittente, en continue ou en rotation continue. La machine indexeuse représente bien ce type de transfert. Dans ce type de machine, on est conditionné par le temps d'opération le plus lent. La qualité de la pièce joue un rôle primordial, une pièce défectueuse qui peut causer un blocage à n'importe quelle opération, bloque le système tout entier, et par conséquent l'intervention pour localiser le défaut, le réparer et remettre la ligne en course nécessite un temps assez important, qui sera multiplié par le nombre total d'opération, ce qui devient un grand problème si on cherche une productivité assez élevée.

La méthode de transfert asynchrone « Power-and-free » est un système où chaque station fonctionne indépendamment des autres dans la même chaîne de montage. Ce type de transfert donne général de meilleures performances que le transfert synchrone. C'est pour toutes ces raisons qu'on doit opter pour une machine à transfert libre (asynchrone), pour qu'on puisse atténuer l'influence de la qualité des pièces afin d'éviter au maximum l'arrêt du processus d'assemblage. Bien que cette dernière n'atteigne pas la perfection absolue et présente aussi des défauts et des limites, on essaie toujours d'en minimiser les coûts d'opération.

Le choix de la machine et le type de transfert, dépendent de plusieurs paramètres. Nous cherchons toujours à minimiser les coûts en diminuant les temps de cycle et d'arrêt. La qualité des pièces qui entrent dans l'assemblage influence directement le temps d'arrêt, le temps de production et donc le coût d'assemblage.

Chapitre-2-

II. Machines indexeuses:

La machine indexeuse est la plus simple des machines d'assemblage automatique. Le transfert se fait d'une façon synchronisée, ce qui veut dire que le temps de transfert est le même sur toute la ligne. Le système doit attendre l'achèvement de l'opération la plus lente pour effectuer le transfert, ce qui fait augmenter considérablement le temps de cycle. Il suffit d'avoir une seule opération lente par rapport aux autres pour ralentir tout le système. En plus, la machine indexeuse présente d'autres limites affectées principalement par la qualité des pièces. C'est pourquoi ce type de transfert devient peu recommandable.

III. Machines à transfert libre:

La machine à transfert libre (asynchrone) est bien entendu beaucoup plus intéressante que l'indexeuse puisqu'elle donne un taux de production très élevé, et cela à cause de la flexibilité et surtout de l'introduction des stocks tampons entre les têtes de travail. Ces stocks tampons vont assurer une production continue même si une tête de travail se bloque quelque part. L'emplacement, la taille et le nombre de stocks tampons dans le système doivent être optimisés.

VI. Effet de la qualité des pièces:

Voyons l'effet de la qualité de la pièce sur :

➤ Le temps d'arrêt :

Soit la notation suivante :

- Nombre de tête de travail automatique est n .
- le temps de cycle est t

Chapitre-2-

- soit x le rapport des pièces défectueuses sur les pièces acceptables (pendant l'alimentation);
- m est la proportion des pièces défectueuses qui causent le blocage de la machine nécessitant l'intervention d'un opérateur qui prend un temps moyen T pour localiser et réparer la défaillance.

On peut définir le temps d'arrêt dû à un stoppage de production de N assemblages par :

- $mxnNT$
- Le temps nécessaire pour assembler N assemblages est : Nt .

Donc la proportion du temps d'arrêt est :

$$D = \frac{mxnNT}{Nt + mxnNT} = \frac{mxn}{mxn + t/T} \quad [19].$$

Plus on augmente le nombre de tête de travail plus le temps d'arrêt devient considérable, ce qui justifie que la machine indexeuse n'est pas recommandée pour un nombre assez grand de tête de travail.

➤ Sur le temps de production :

Les pièces défectueuses provoquent beaucoup de problèmes, un autre cas peut apparaître, si une pièce ne bloque pas la machine on va avoir à la fin un assemblage inacceptable, donc une réduction du taux de production.

Le temps nécessaire pour produire N assemblages acceptables ou non est :

- $Nt + mxnNT$ [19].

Alors que le nombre d'assemblages acceptables est :

- $N - (1 - m)xnN$, avec $m < 1$ [19].

Chapitre-2-

Le temps moyen de production des assemblages acceptables est donc :

$$- t_{pr} = \frac{Nt + mxnNT}{N - (1-m)xnN} = \frac{t + mxnT}{1 - (1-m)xn} \quad [19].$$

$$- \text{Si } m=1 \rightarrow t_{pr}=t+xnT.$$

Sur le coût d'assemblage : on doit tenir compte du coût d'assemblage de chaque pièce d'une part et le coût de fonctionnement de la machine Mt d'autre part. Ce qui nous donne :

$$- C_t = M_t t_{pr} + C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad [19].$$

On suppose toujours que chaque tête de travail assemble une seule pièce.

En tenant compte de certaines considérations :

- le salaire horaire de l'ouvrier d'assemblage,
- les frais généraux W_a ,
- le temps supplémentaire additionnel pour démonter un assemblage inacceptable et le réassembler en changeant la pièce défectueuse (t_c)
- le coût de fonctionnement de la machine par unité de temps si seulement des assemblages acceptables sont produits M .

le coût total prendra la forme générale suivante :

$$- C_t = \frac{M(t + mxnT) + (1-m)xn t_c W_a}{1 - (1-m)xn} + \sum_{i=1}^n A_i + \frac{nB}{x} \quad [19].$$

- B est une constante relative au niveau de la qualité.

On distingue dans cette équation trois parties :

- Un coût inversement proportionnel à x .
- Un coût constant.

Chapitre-2-

- Un coût proportionnel à x.

Dans le cas où $m = 1$. L'équation de C_t devient :

$$C_t = Mt + MxnT + \frac{nB}{x} + \sum_{i=1}^n A_i$$

Respectivement : coût d'opérations d'assemblage + coût de temps d'arrêt + coût de qualité des pièces + coût de base des pièces.

À partir de là on peut trouver le x optimal, en faisant la dérivation par rapport à x, où on trouve :

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{B}{MT}} \quad [19].$$

Par conséquent :

$$C_t(\min) = Mt + 2n(MBT)^{1/2} + \sum_{i=1}^n A_i$$

Remarque :

Le nombre de poste de travail :

Comme il a été prité auparavant avec la machine indexeuse, pour minimiser le temps de cycle à la limite, on propose un poste de travail pour chaque opération où chaque poste correspond à une seule tête de travail (ce qui veut dire que le nombre d'opération soit égale au nombre de tête de travail et aussi au nombre de poste). Cette situation peut être différente dans certains cas; par exemple le cas d'un bras manipulateur à deux ou trois têtes de travail qui nécessite un seul poste de travail. Dans le cas du téléphone, le nombre d'élément est sept, donc si on n'a aucune opération d'orientation, de vérification ou de contrôle, le nombre de tête de travail sera égal à sept.

IV.1. Temps d'arrêts:

Pour qu'on puisse faire une analyse, on doit s'assurer que toutes les têtes de travail ont le même temps de cycle t (fonctionnent à la même vitesse), chaque tête est alimentée par des pièces de même niveau de qualité x , et entre chaque deux tête on introduit un stock tampon de taille assez grande pour stocker b assemblage. Une tête de travail dans le transfert libre doit être forcée d'arrêter seulement pour une de ces trois conditions :

- Une pièce défectueuse arrive à une tête de travail et bloque l'achèvement de l'opération. Dans ce cas, un intervalle de temps T s'écoule avant que le défaut soit localisé et la tête de travail se remise en course.
- Une tête de travail adjacente en haut de la ligne est stoppée et les provisions dans le stock tampon sont épuisées.
- la tête de travail adjacente en bas de la ligne stoppée et le stock tampon entre les deux, est plein.

Pour ne pas tomber en interruption, on doit avoir dans chaque stock tampon un nombre égal à la moitié du nombre total, soit alors $b/2$. Si une tête de travail s'arrête par un blocage, on aura un temps de $bt/2$ pour intervenir et corriger le défaut. Donc plus la taille de stock tampon est grande plus on va avoir du temps pour réparer. De cette façon on s'assure du fonctionnement continu des autres têtes.

On suppose qu'on a N assemblages, on aura Nx blocages si on accepte $m = 1$, si chaque défaut demande un temps T pour le corriger. Donc le temps d'arrêt de la première tête de travail due à ce blocage est : NxT . Le même temps d'arrêt moyen va être appliqué pour stopper la seconde tête en bas de la ligne, mais le premier est prévu pour fonctionner seulement pour la période de $Nx[T - bt/2]$, le même

Chapitre-2-

raisonnement pour le troisième qui sera $Nx[T - bt]$. Prenant en considération les têtes placées en haut et celles placées en bas de la ligne on obtient la série suivant :

d/Nx

Ou.

$$d/Nx = T + [2T - bt] + [2T - 2bt] + [2T - 3bt] + \dots \dots \dots [19].$$

Si l'un des termes entre crochets est négatif, on peut le négliger.

À ce stade on doit connaître le rapport entre T et t.

IV.2. Stocks Tampons:

Les stocks tampons correctement placés et conçus, sont essentiels pour réaliser un temps de fonctionnement élevé sur les lignes complexes de fabrication. L'endroit et le classement par taille peuvent être ajustés en utilisant la simulation sur ordinateur. Toutefois, une analyse théorique avec quelques suppositions logique peut donner de très bons résultats, surtout quand nous possédons toutes les informations du système. La conception des stocks tampons est critique, puisqu'ils peuvent causer directement des temps d'arrêt. Les stocks tampons doivent être fiables et efficace.

On voit que dans la machine à transfert libre (ou asynchrone), les stocks tampons sont d'une importance de première catégorie. On peut les optimiser en variant le nombre, la taille et le type.

IV.1.1. Le nombre:

Afin de s'assurer que chaque tête de travail soit alimenté en cas où une tête ou plus soit bloquée, les autres têtes doivent fonctionner en s'alimentant des stocks tampons. On doit introduire entre chaque deux têtes de travail un stock tampon,

Chapitre-2-

peu importe son type qu'on va présenter plus tard. Donc le nombre des stocks tampons dépend seulement du nombre de têtes de travail pour notre assemblage.

Avec sept têtes de travail on peut introduire six stocks tampons afin d'assurer le bon fonctionnement du système.

IV.1.2 La taille:

La taille est très importante et nécessite une analyse du procédé afin de l'optimiser. Si les stocks tampons sont trop importants, une partie de ceux-ci seront inutile et s'ils sont trop petits, ils causeront des temps d'arrêts. Alors on cherche la relation entre la taille du stock tampon et le temps d'arrêt, ce dernier doit être minimisé pour nous donner la taille optimale.

$$\frac{d}{N_x} = T + [2T - bt] + [2T - 2bt] + [2T - 3bt] \dots \dots \dots [19].$$

b, est la taille du stock tampon.

On considère que les termes entre crochets sont positifs, s'ils sont négatifs ou nul nous les négligerons. Pour le calcul on doit connaître le rapport entre T et t.

L'équation plus haute peut être écrite sous la forme :

$$d / N_x = T + t \left[\left(\frac{2T}{t} - b \right) + \left(\frac{2T}{t} - 2b \right) + \dots \dots \dots \right]$$
$$d = N_x T + N_x t \left[\left(\frac{2T}{t} - b \right) + \left(\frac{2T}{t} - 2b \right) + \dots \dots \dots \right]$$

Si à titre d'exemple $T/t = 6$; $d / N_x = T + t[(10 - b) + (10 - 2b) + \dots \dots \dots]$

Ce qui limite en quelque sorte la taille

Chapitre-2-

Si $b = 5$, les deuxième et troisième et quatrième termes et ceux qui suivent seront négligés. Il n'y aura alors que le premier terme qui reste et sera égal à 5.

L'équation devient :

$$d / Nx = T + 5t \Leftrightarrow d / Nx = 11t \Rightarrow d = 11Nxt$$

La proportion du temps d'arrêt devient alors :

$$D = \frac{11xT}{t + 11xT}$$

Dans le cas général, l'expression du temps d'arrêt est : $d = KNxt$

K , est un facteur dépend du rapport T/t

Essayant de donner une petite illustration de l'influence de la taille du stock tampon sur le temps d'arrêt.

Prenant la même considération du rapport $T/t = 6$, et faisant varier la taille du stock tampon

On suppose pour l'ensemble une qualité de 99% (veut dire une seule pièce défectueuse dans les 100 pièces) ce qui nous donne un $x = 0.01$.

$$b = 0 \rightarrow K = 30 \rightarrow D = \frac{42x}{1 + 42x} = \frac{0.42}{1.42} = 0.2957 \rightarrow 29.57\%$$

De la même façon $b = 2 \rightarrow D = 25.92\%$; $b = 4 \rightarrow D = 21.87\%$; $b = 6 \rightarrow D = 17.35\%$;
 $b = 8 \rightarrow D = 12.28\%$; $b = 10 \rightarrow D = 6.54\%$; $b = 12 \rightarrow D = 5.66\%$

Pour une valeur de b supérieure à 12 tous les termes entre crochets vont être

annulés d'où il reste que : $\frac{d}{Nx} = T \rightarrow d = Nxt \Rightarrow D = \frac{d}{Nt + d} = \frac{6x}{1 + 6x} = 5.66\%$

Donc au delà d'une taille supérieure à 10 dans les mêmes conditions, n'améliore rien et la proportion du temps demeure inchangée. Ce qui signifie que

Chapitre-2-

théoriquement la valeur optimale de la taille du stock tampon est $b=2T/t$ ($T/t=6$ et $b=12$). Donc c'est la condition qu'on peut prendre pour améliorer la productivité.

Le graphe suivant représente la relation entre proportion du temps d'arrêt et la taille du stock tampon.

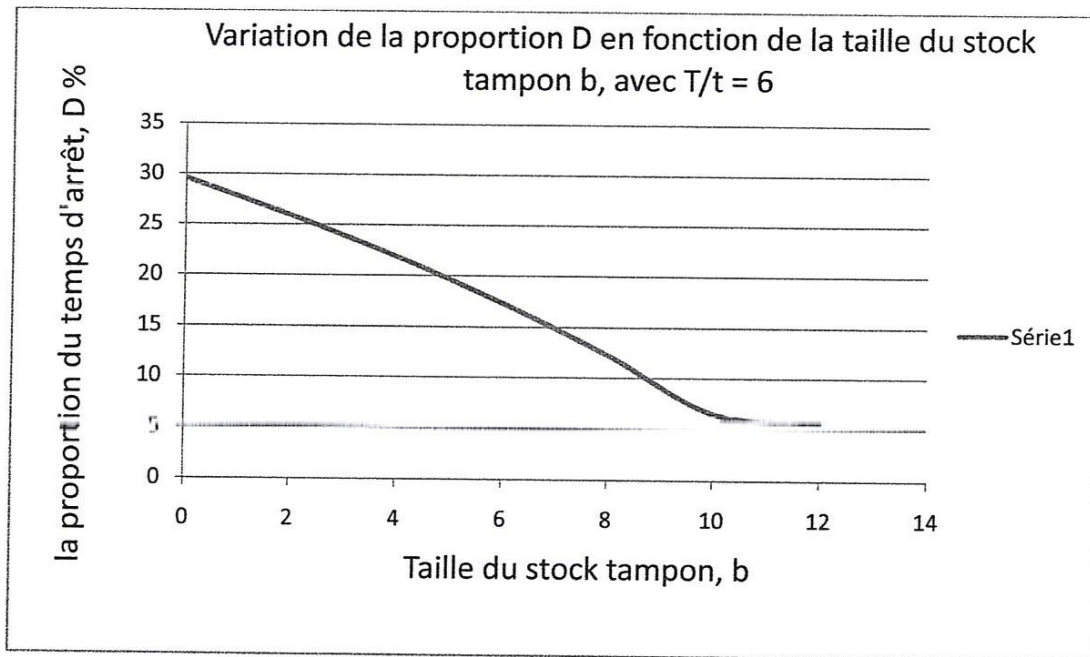


Figure 1 : Variation de D en fonction de b

On remarque que la diminution de D est importante pour b petit et, devient de moins en moins grand en augmentant b et tend à se stabiliser à partir de b correspondant à une valeur T/t , pour se stabiliser définitivement à $b=2T/t$.

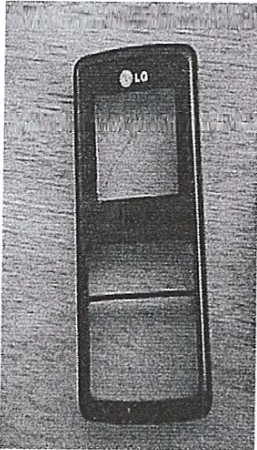

Dans d'autres conditions de travail, comme un nombre de stations différent on aura la même chose sauf pour des b petite où la variation est plus au moins accentuée (pour un nombre de station grand la pente est plus intéressante), mais au-delà de $b=T/t$ tous les graphes se convergent. Cela signifie que pour les raisons économiques on peut optimiser la taille du stock tampon à la valeur de T/t .

Chapitre-2-

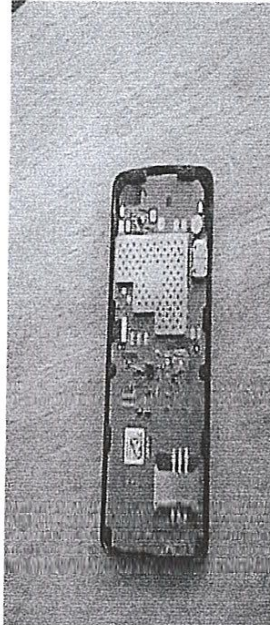
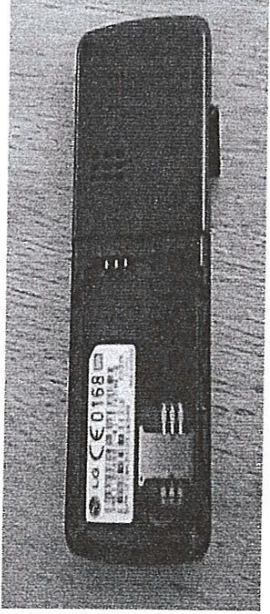
V. Exemple de planification de la production:

Le produit à assembler est un téléphone de la marque LG. Ce produit est très intéressant parce que l'on peut faire toutes sortes de téléphone similaires dans une usine flexible. Le produit comporte sept pièces et/ou sous-assemblage. De plus, il faut une opération d'inspection avant la fin de l'assemblage.

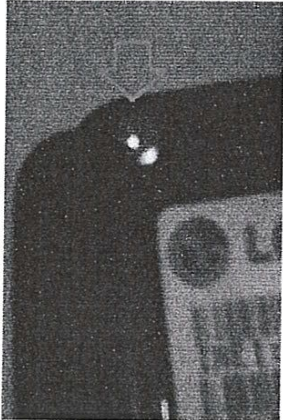
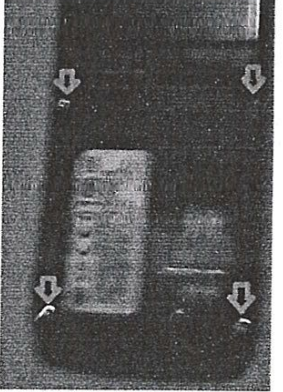
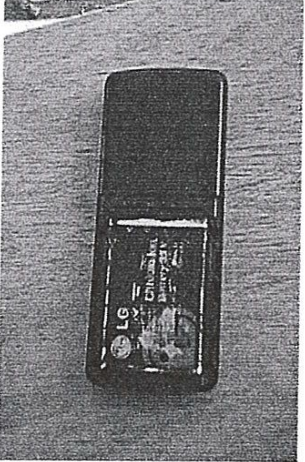
V.1. Séquence d'assemblage:

Étapes	Schéma d'assemblage	Procédure d'assemblage
Étape-1-		Le couvercle avant sert de base, il est placé sur le dispositif de transfert, que ce soit des palettes ou autre.
Étape-2-		Assembler la pièce (2) les touche dans la pièce (1) cage de la surface : Les boutons sont insérés dans le couvercle avant.

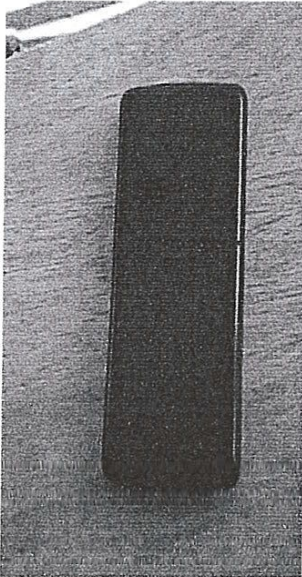
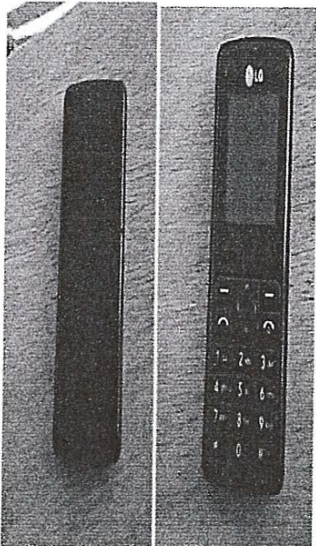
Chapitre-2-

<p>Étape-3-</p>		<p>Assembler la pièce (3) carte mère plus l'écran avec l'ensemble des pièces (1+2)</p> <p>La carte mère et l'écran sont achetés comme un sous assemblage La plaquette électronique est insérée dans le couvercle par-dessus des boutons,</p>
<p>Étape-4-</p>		<p>Le couvercle arrière est inséré par clipsage dans le couvercle avant.</p> <p>Dans cette étape on assemble la cage arrière (4) avec l'ensemble (1+2+3)</p>

Chapitre-2-

Étape-5-		Les pièces (1+2+3+4) sont fixées par la suite avec des vis (5) : visser chaque vis dans le trou.
Étape 6-		Répéter l'opération précédente quatre fois
Étape-7-		insérer la pièce (6) la batterie par dessus dans son emplacement

Chapitre-2-

Étape-8-		<p>Le couvercle de la batterie est inséré par clipsage dans le couvercle arrière.</p>
Étape-9-		<p>Ici, c'est le moment idéal pour faire une inspection.</p> <p>Cette inspection consiste à alimenter le téléphone et à vérifier qu'elle communique bien avec la station de test. Si c'est le cas, on procède à la dernière étape de l'assemblage.</p>

Tableaux.1: gamme d'assemblage

V.2. Nombre de postes de travail :

Il y a en tout 11 opérations à effectuer sur la ligne :

1. Installation de la base (couvercle avant).
2. Insertion des boutons ou les touche.
3. Insertion de la plaquette électronique (la carte mère).
4. Insertion de couvercle arrière.
5. Insertion de 1ère vis.
6. Insertion des 2eme vis.
7. Insertion des 3eme vis.
8. Insertion des 4eme vis.
9. Insertion la batterie.
10. Insertion du couvercle de batterie.
11. Déchargement de la ligne.

Il y aura donc un minimum de 11 postes de travail sur la ligne. Il faut déterminer le temps requis pour chaque opération. Avec le temps de cycle nécessaire, nous pourrons effectuer le balancement de la ligne en augmentant le nombre de postes pour les opérations les plus lentes ou en diminuant la fréquence des postes plus rapide si la demande est moins importante.

V.3. Balancement de ligne :

Nous poserons l'hypothèse que les têtes d'assemblages sont au minimum aussi rapides que les systèmes de distributions. Ce sont donc ceux-ci qui vont déterminer

Chapitre-2-

les temps de cycle des postes de travail. Nous avons déterminé les codes pour la manipulation automatique et le **Annexe A** nous donne le paramètre OE, qui est un indice de la difficulté de manipulation de la pièce. Le paramètre Y, quant à lui, est la plus grande dimension de la pièce. Avec ces deux paramètres on peut calculer FM, le taux de distribution maximal du distributeur à l'aide de la formule :

$$FM = 1500 \frac{OE}{Y}$$

La figure résume les résultats pour chacune des pièces.

	Pièce	Code pour manipulation automatique	OE	Y Mm	FM pièce/min
1	Couvercle avant	641	0.15	98	2.29
2	Boutons	641	0,15	45	5
3	Plaquette (la carte mère)	641	0,15	93	2.41
4	Couvercle arrière	641	0,15	98	2.29
5	Les vis	252	0,27	4.6	90
6	La batterie	600	0.08	46.6	2.57
7	Couvercle batteries	840	0.15	57.2	3.93

Tableau-2: Taux de distribution maximal

Après vérification, nous avons estimé que l'opération d'inspection a une fréquence approximative de 2.29 pièces par minute. L'opération de déchargement des produits de la ligne d'assemblage se fait en vrac et a une fréquence de plus de 6 pièces par minute.

Pour maximiser le taux de production, nous aurions pu balancer la ligne en ajoutant des machines en parallèles aux postes de travail qui sont plus lents. Ainsi, nous aurions pu avoir la configuration suivante :

Chapitre-2-

	Opération	FM/un poste pièce/min	Nombre de postes	FM total
1	Couvercle avant	2.29	2	4.58
2	Boutons	5	1	5
3	Plaquette	2.41	2	4.82
4	Couvercle arrière	2.29	2	4.58
5	Les vis	90	1	90
6	La batterie	2.57	2	5.14
7	Inspection	2,0	2	4
8	Couvercle batteries	3.93	1	3.93
9	Déchargement	6,0	1	6
			FM Min.	9.14

Tableaux .3: Exemple de balancement

Où nous avons besoins d'un total de 8 postes de travail pour une fréquence maximale de 4 pièces par minute. Plus on augmente le nombre de postes, plus on peut arriver à des multiples de fréquences qui sont près l'un de l'autre ce qui maximise l'utilisation des machines. Cependant, il faut que la demande soit assez importante pour justifier un tel investissement.

Comme on n'a pas de commande de client ni de prévision des ventes pour notre exemple, nous allons ajuster les postes de travail à la fréquence la plus basse, c'est-à-dire 1,0 pièces par minute.

Chapitre-2-

N	Nom des pièces	Les démonitions des pièces	Les 3 chiffres	Code d'insertion manuelle	Code insertion automatique	Code manipulation manuelle	Code Manipulation automatique
1	Couvercle avant	98/44.6/8	6.4.1	2.1	0.1	9.5	9.5
2	Boutons	45/40/5	6.4.1	2.1	0.1	9.5	9.5
3	Plaquette	93/40.8/6 .2	6.4.1	2.1	0.1	9.5	9.5
4	Couvercle arrière	98/44.6/7 .2	6.4.1	2.1	0.1	9.5	9.5
5	Les vis	L=4.6/D =1.8	2.5.2	3.9	3.9	8.2	8.2
6	La batterie	46.6/34/5 .5	6.0.0	0.0	0.0	8.0	8.0
7	Couvercle batteries	57.2/44.4 /4.8	8.4.0	0.1	0.1	8.7	8.7

Tableaux.4: les caractéristiques des pièces assemblées

L'utilisation de l'Annexe A, et après les analyse des dimensions de toute les pièces de l'exemple, on utilise ces calculs pour déduire les 3 chiffres est les code de l'insertion (manuelle et automatique) et manipulation (manuelle et automatique).

Chapitre-2-

Identification du composant ou de l'opération	Nombre de fois que l'opération est répétée	Code à 2 chiffres: manipulation manuelle	Temps de manipulation (s)	Code à 2 chiffres: insertion manuelle	Temps d'insertion (s)	Temps d'opération (s): colonnes (2) x (3+5)	Coûts en cents: taux horaire (cents/s) x colonne (6)	Nombre de composants théorique
couvercle avant	1	9:5	4	2:1	6.5	10.5	$10.5 * 2 / s = 21$	0
Les boutons ou les touche	1	9:5	4	0:1	2.5	6.5	13	1
plaquette électronique (la carte mère)	1	9:5	4	2:1	6.5	10.5	21	1
couvercle arrière	1	9:5	4	2:1	6.5	10.5	21	1
Les vis	4	8:2	5.1	3:9	8	52.4	104.8	0
la batterie	1	8:0	4.1	0:0	1.5	5.6	11.2	1
Le couvercle de batterie	1	8:7	5.85	0:1	2.5	8.35	16.7	0

Taux horaire (\$/heure)			Somme	104.35	208.7	4
Taux horaire (\$/s)				TM	CM	NM
				Efficacité= $3 * NM / TM$		0,1149976

Tableaux.5: temps de cycle et l'efficacité d'assemblage

Conclusion générale

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en génie mécanique, option : maintenance industrielle. Le but est d'étudier une chaîne d'assemblage automatique en utilisant une analyse de performances basée sur l'*analyse de Stocks Tampons* dont les principaux objectifs sont d'avoir une meilleure compréhension du fonctionnement de la chaîne d'assemblage automatique, avec tout ses points forts et ses limites, de plus à avoir une meilleure compréhension des défaillances possible et donc une meilleure utilisation de service maintenance pour résoudre convenablement les problèmes.

Nous avons fait également une analyse concernant la nature et le type des pannes en partant par une analyse de la gamme d'assemblage et l'optimisation de la taille et la distribution de stocks tampons, afin d'améliorer la ligne de production.

Après tout, nous avons confirmé que le facteur le plus important, en développement est de minimiser le coût et le temps de cycle avec une configuration optimale.

Il a été prouvé qu'il est possible de configurer la chaîne d'assemblage automatique en se basant sur l'emplacement et la taille des pièces pour réduire les temps de cycle et améliorer les conditions de production.

Enfin, on peut appliquée cette étude sur une chaîne d'assemblage automatique existante pour améliorer sa production ou sa conception.

Annexe A

Clé	Composants faciles à saisir et manipuler						Composants présentant des difficultés de manipulation (1)						
	Épaisseur > 2 mm			Épaisseur ≤ 2 mm			Épaisseur > 2 mm			Épaisseur ≤ 2 mm			
	Dimension > 15 mm	6 mm ≤ Dimension ≤ 15 mm	Dimension < 6 mm	Dimension > 6 mm	Dimension ≤ 6 mm	Dimension < 6 mm	Dimension > 15 mm	6 mm ≤ Dimension ≤ 15 mm	Dimension < 6 mm	Dimension > 6 mm	6 mm ≤ Dimension ≤ 15 mm	Dimension < 6 mm	
UNE MAIN (α + β) < 360° 360° ≤ (α + β) < 540° 540° ≤ (α + β) < 720° (α + β) = 720° Composants pouvant être saisis et manipulés par une main sans l'aide d'outils.	0	1,13	1,43	1,83	1,69	2,18	1,84	5	6	7	8	9	
	1	1,5	1,8	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	2,65	2,98	3	3,38	
	2	1,8	2,1	2,55	2,36	2,85	2,57	2,9	3,38	3,18	3,7	4	
	3	1,95	2,25	2,7	2,51	3	2,73	3,06	3,55	3,34	4		
UNE MAIN AVEC OUTIL 0 ≤ β ≤ 180° β = 360° 0 ≤ β ≤ 180° β = 360° Composants pouvant être saisis et manipulés par une main mais requérant l'aide d'outils.	4	3,6	6,85	4,35	7,6	8,35	6,35	8,6	7	9			
	5	4	7,25	4,75	8	8,75	6,75	9	8	8			
	6	4,8	8,05	5,55	8,8	9,55	7,55	9,8	8	9			
	7	5,1	8,35	5,85	9,1	9,55	7,85	10,1	9	10			
	DEUX MAINS POUR MANIPULER Composants s'emboîtant ou s'attachant fermement ou flexibles mais pouvant être saisis et soulevés par une main (à l'aide d'outils si nécessaire) (2)	8	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5	5,25	5,85	6,35	7	
		9											
DEUX MAINS OU ASSISTANCE NECESSAIRE POUR LES GRANDES DIMENSIONS Deux mains, deux personnes ou assistance mécanique nécessaires pour saisir et transporter les composants.	9	2	3	2	3	3	4	5	6	7	8	9	

TABLEAU 1 : Manipulation manuelle : Estimation du temps (secondes).

COMPTEUR
AUGMENTE MARS
NON FIXE

Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération		Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt		Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt			
	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt				
0	0	1	2	3	6	7	8	9
1	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
2	4	5	6	7	8	9	10	11
3	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5

Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement.

COMPTEUR
NON
MONTREMENT

Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération		Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt		Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt					
	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt						
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5

Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement.

COMPTEUR
NON
MONTREMENT

Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération		Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt		Avec comptage manuel de l'heure pour un état d'opération et un état d'arrêt					
	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'opération	Difficulté à régler ou à positionner pendant l'arrêt						
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5

Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement. Le compteur est fixé à l'extrémité de la tige et tourne librement.

TABLEAU 2 : insertion manuelle : Estimation du temps (secondes).

Annexe A

COMPOSANT DE REVOLUTION (1)	DISQUES	0
	$L/D < 0,8$ (2)	
	CYLINDRES COURTS	1
	$0,8 \leq L/D \leq 1,5$ (2)	
	CYLINDRES LONGS	2
	$L/D > 1,5$ (2)	
COMPOSANT QUI N'EST PAS DE REVOLUTION	A/B ≤ 1	6
	PLAT A/C > 4 (3)	
	LONG A/B > 1 (3)	7
	CUBIQUE A/B ≤ 1 A/C ≤ 4 (3)	8

TABLEU3 : les premiers chiffres.

Annexe A

CHIFFRES A AJOUTER A FC
OBTENUS A PARTIR DES
TABLEAUX CI DESSUS

	Les composants se vendent, et se débloquent						Les composants s'embloque et débloquent également						Les composants s'embloquent automatiquement	Les composants s'embloquent manuellement						
	Non léger			Léger			Non léger			Léger										
	Non existant	Existant	Cellular	Non existant	Existant	Cellular	Non existant	Existant	Cellular	Non existant	Existant	Cellular								
Non flexible	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Flexible	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Non flexible	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Flexible	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
Non flexible	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Flexible	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
Non flexible	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
Flexible	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6

MANIPULATION MANUELLE NECESSAIRE


L/D < 1,5	Composants non petits			Composants grands		
	par de révélation		de révélation		par de révélation	
0	L/D > 1,5	A/E < 3 A/V > 4	A/E > 3	A/E < 3 A/V < 4	L/D > 1,5	A/E > 3 A/V > 4
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	0
5	6	7	8	9	0	1
6	7	8	9	0	1	2
7	8	9	0	1	2	3
8	9	0	1	2	3	4
9	0	1	2	3	4	5

L/D < 1,5	Les composants se vendent, et se débloquent						Les composants s'embloquent automatiquement	Les composants s'embloquent manuellement	
	Composants non petits			Composants grands					
	Demandes définies par des caractéristiques géométriques		Quantité définie par les caractéristiques géométriques		Quantité définie par les caractéristiques géométriques				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
8	9	0	1	2	3	4	5	6	7
9	0	1	2	3	4	5	6	7	8


TABLEAU 6 : manipulation automatique : cout supplémentaires de distributeur, DC

CC:  **COMPONENT RAPPELÉ MOIS NON FIXE**

Niveau de détail	Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))		Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))	
	Facteur 1 (niveau de détail)	Facteur 2 (niveau de détail)	Facteur 3 (niveau de détail)	Facteur 4 (niveau de détail)
0	1	2	3	4
1	1,5	1,5	2,1	2
2	1,6	1,6	2,5	2,1
3	3	3	4,6	4

CC:  **COMPONENT FIXE MONTAGE**

Niveau de détail	Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))		Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))		Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))	
	Facteur 1 (niveau de détail)	Facteur 2 (niveau de détail)	Facteur 3 (niveau de détail)	Facteur 4 (niveau de détail)	Facteur 5 (niveau de détail)	Facteur 6 (niveau de détail)
0	1	2	3	4	5	6
1	1,9	1,6	2,4	3,6	0,9	1,4
2	2,1	2,1	3,2	4,8	1	1,6
3	3,8	3,2	4,8	7,2	1,8	2,8
4						
5						

CC:  **COMPONENT SEPAREE**

Niveau de détail	Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))		Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))		Après montage dans l'atelier (à l'exception de la localisation (1))	
	Facteur 1 (niveau de détail)	Facteur 2 (niveau de détail)	Facteur 3 (niveau de détail)	Facteur 4 (niveau de détail)	Facteur 5 (niveau de détail)	Facteur 6 (niveau de détail)
0	1	2	3	4	5	6
1	0,9	0,8				
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

TABLEAU 7 : Isserion automatique : cout relatif d'unité de travail ,WC

Les références bibliographiques

- [1] X.F. Zhaa, H.J. Dua et J.H. Qiub. Knowledge-based approach and system for assembly oriented design. Institute of Fluid Science, Tohoku University, Japan, Engineering Applications of Artificial Intelligence, pp 61-75, 2001.
- [2] X.F. Zha. A knowledge intensive multi-agent framework for cooperative/ collaborative design modeling and decision support of assemblies. Knowledge - Based Systems, pp 493–506, 2002.
- [3] Hyoungh-Ro, L. Douglas et D. Gemmill. Improved methods of assembly sequence determination for automatic assembly systems. College of Engineering, Iowa State University. European journal of Operational Research, pp 611-621, 2001.
- [4] X. F. Zha et H. Du. A PDES/STEP - based model and system for concurrent integrated design and assembly planning computer. Aided design, pp 1087-1110, 2002.
- [5] A. H. Redford. Design for assembly. Department of Aeronautical and Mechanical Engineering, University of Salford, UK, 1983.
- [6] W. y. Hsu, C. S. G. Lee et S. F. Feedback. Approach to design for assembly by evaluation of assembly plan. School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA, volume 25, 7 juillet 1993.
- [7] X. Chen, S. Gao, Y. Yang et S. Zhang. Multi-level assembly model for top-down design of mechanical products. Zhejiang University, Hangzhou, Popular Republic of China, Elsevier Ltd. 2011.
- [8] I. Kihak, R. Shaw, J-H. Lee, K-K Kim, K-O. Namc , S-H. Jung, H-S. Hwang et H-k. Park. The design of the assembly tools for the ITER tokamak. Republic of Korea, Fusion Engineering and Design, pp 659–662, 2011.
- [9] J. Bukchin et M. Tzur. Design of flexible assembly line to minimize equipment cost. Faculty of Engineering, Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israel, pp 585-598, 2000.
- [10] Y. Ouazene, H. Chehade et A. Yalaoui. Approches mono et multi-objective pour la conception d'un système de production à deux machines et un stock-tampon. Université de Technologie de Troyes, Troyes, France.
-