

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابنة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : Génie mécanique
Domaine : SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Ingénierie de la maintenance

Mémoire
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Master

Thème :

**PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE POUR
L'OPTIMISATION DES LA MAINTENANCE DE MACHINES A
SOUDER EN SPIRALE DE PIPELINES**

Présenté par : *Boudjelal Malak Meriem*

Encadrant : *BENAMIRA Mohamed MC(B)UBMA*

Jury de Soutenance :

KHELIF RABAI	PROF	UBMA	Président
BENAMIRA MOHAMED	MC(B)	UBMA	Encadrant
DJEDDI LAMINE	MC(A)	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Tous d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à terme ce travail ; je tiens aussi à remercier toute ma famille pour le soutien et les encouragements.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadrant, Monsieur BENAMIRA Mohamed, pour ses précieux conseils, son soutien continu et son expertise tout au long de ce projet de fin d'études. Sa disponibilité et ses conseils éclairés ont été déterminants dans la réalisation de ce mémoire. Je suis très reconnaissante de l'opportunité de travailler sous sa direction et je suis sûr que son influence positive continuera à se faire sentir dans ma future carrière.

*Je remercie également Monsieur
KHELIF Rabia.*

Je tiens à exprimer mes remerciements sincères à Monsieur H. BERKANI, responsable du bureau de méthodes du service maintenance de l'entreprise ALFAPIPE Annaba, ainsi qu'à toute l'équipe du bureau de méthode, pour leur précieuse assistance, leur disponibilité, leurs conseils avisés, leurs orientations et surtout pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Sommaire

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABRIVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE.....(1)

Chapitre I : Transport du pétrole pipe

I.1 Introduction.....(3)

I.2 Définition.....(3)

I.3 Les différents types des canalisations(3)

I.4 Aperçu du processus de fabrication des pipelines soudés en spirale.....(4)

 a) Tube soudés en spirale.....(4)

 b) Tube sans soudure.....(5)

 c) Tube soudés longitudinalement.....(5)

I.5 Description du procédé de fabrication de l'unité ALFAPIPE.....(6)

I.6 Équipements complémentaires de fabrication.....(11)

I.7 Le contrôle des fabrications.....(13)

 I.7.1 Contrôle destructif et essais en laboratoire.....(13)

 I.7.2 Contrôles non destructif en ligne.....(14)

I.8 Le revêtement des tubes.....(15)

 I.8.1 Revêtement extérieur des tubes.....(15)

 I.8.2 Le revêtement intérieur des tubes.....(16)

Chapitre II : Description de la machine à souder

II.1 Introduction.....(18)

II.2 Description de la machine à souder.....(18)

II.3 Maintenance de la machine à souder cas : ALFAPIPE.....(23)

Chapitre III : La maintenance des machines à souder

III.1 Introduction.....(26)

III.2 Généralités sur la gestion de la maintenance industrielle.....(26)

III.3 Diagramme des politiques de maintenance : phénomènes état et action.....(28)

 III.3.1 Critères pour le choix d'une politique de maintenance optimisée.....(35)

 III.3.2 Critère coût(36)

III.4 La disponibilité.....	(37)
III.4.1 Définition.....	(37)
III.4.2 Les indicateurs de la disponibilité.....	(38)
III.4.3 Les types de disponibilité.....	(39)
III.4.4 Evaluation de la disponibilité des système série.....	(41)

Chapitre IV : L'optimisation de la disponibilité

IV.1 Introduction.....	(45)
IV.2 Présentation de l'historique.....	(45)
IV.3 Calcul de disponibilité des sous-ensembles des machines à souder.....	(49)
IV.4 Calcul de la disponibilité des machines à souder.....	(52)
CONCLUSION GENERALE.....	(56)

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Les tubes soudés sous la forme en spirale.....	(4)
Figure 02 : Fabrication de pipeline sans soudure.....	(5)
Figure 03 : a) : Croquage b): Formage sous forme "U" c): Formage sous forme "O".....	(6)
Figure 04 : La machine à souder.....	(7)
Figure 05 : Préparation bobine.....	(8)
Figure 06 : La machine d'essais hydrostatique.....	(10)
Figure 07 : Vue de la chanfreineuse de tubes.....	(10)
Figure 08 : Machine de contrôle ultrason automatique.....	(10)
Figure 09 : Zone de réparation manuelle du défaut de soudage.....	(12)
Figure 10 : Revêtement extérieur.....	(15)
Figure 11 : Revêtement intérieur.....	(16)
Figure 12 : Diagramme de l'ensemble de la machine à souder.....	(18)
Figure 13 : Chaise support bobine et le dévidoir.....	(20)
Figure 14 : Soudage SAWH à l'intérieur et à l'extérieur du tube.....	(22)
Figure 15 : Diagramme de maintenance des MAS cas –ALFAPIPE-	
Figure 16 : Diagramme phénomènes (défaillance), état et action pour un traitement en maintenance corrective classique.....	(28)
Figure 17 : Diagramme phénomène, état et action dans le cas d'une maintenance corrective en 2 étapes.....	(28)
Figure 18 : Diagramme phénomène état action.....	(29)
Figure 19 : Diagramme phénomène état action.....	(30)
Figure 20 : Diagramme phénomène état action.....	(31)
Figure 21 : Diagramme phénomène état action.....	(32)
Figure 22 : Diagramme phénomène état action.....	(33)
Figure 23 : Fonctions liées à la disponibilité.....	(38)
Figure 24 : Les durées caractéristiques de FMD.....	(38)
Figure 25 : Existence d'une limite de disponibilité.....	(40)
Figure 26 : La situation de différentes formes de disponibilité.....	(41)

Figure 27 : Diagramme d'un système en série.....	(41)
Figure 28 : Graphe d'état d'un système en série.....	(42)
Figure 29 : Diagramme de composition d'un système série.....	(42)
Figure 30 : Courbe ABC de la MAS A.....	(45)
Figure 31 : Courbe ABC de la MAS B.....	(46)
Figure 32 : Courbe ABC de la MAS C.....	(46)
Figure 33 : Courbe ABC de la MAS D.....	(47)
Figure 34 : Diagramme de la MAS A.....	(47)
Figure 35 : Diagramme de la MAS B.....	(48)
Figure 36 : Diagramme de la MAS C.....	(48)
Figure 37 : Diagramme de la MAS D.....	(49)
Figure 38 : Histogramme de disponibilité MAS A.....	(50)
Figure 39 : Histogramme de disponibilité MAS B.....	(50)
Figure 40 : Histogramme de disponibilité MAS C.....	(51)
Figure 41 : Histogramme de disponibilité MAS D.....	(52)
Figure 42 : Diagramme de composition d'un système série.....	(52)
Figure 43 : Disponibilité des machines à souder.....	(53)
Figure 44 : Diagramme phénomène état action.....	(55)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Caractéristiques de tube Gaz et Pétrole Selon API 5L.....	(4)
Tableau 02 : Désignation de la machine à souder.....	(19)
Tableau 03 : Sous-ensembles considérés.....	(53)

LISTE DES ABREVIATIONS

Spa :	Société par action.
ALFAPIPE :	Algérienne de fabrication des pipes.
API 5L:	American Petroleum Institute.
E :	Limite élastique.
SAWH :	Procédé de soudage à l'arc submergé sous flux.
MAS :	Machine à souder.
CEN :	Comité européen de normalisation.
MTBF:	Mean time between failure.
MTTR:	Mean time to pair.
MDT:	Mean down time.
MUT:	Mean up time.
MTTF:	Mean time to failure.
D_{op} :	Disponibilité opérationnelle.
$D_{(ti)}$:	Disponibilité instantanée.
λ :	Taux de défaillance.
μ :	Taux de réparation.
D_{∞} :	Disponibilité asymptotique.
D_c :	Disponibilité contractuelle.

Introduction générale :

En raison de certaines considérations liées aux facteurs économiques, de sécurité industrielles et même écologiques, le transport de gaz et de pétrole au moyen de pipeline est plus approprié pour répondre à ces exigences.

Les pipelines sont des structures immenses qui se composent de tubes en acier qui forment un vaste réseau de transport s'étendant sur des milliers de kilomètres. La fabrication de ces tubes comprend des techniques distinctes dont le choix se fait en fonction des paramètres technologiques et de service.

La fabrication des pipelines nécessite des équipements de pointes, dédiées et souvent nécessitant une maintenance optimale pour garantir un fonctionnement rentable et durable.

L'objectif de ce mémoire est de proposer une méthodologie d'optimisation basée sur l'amélioration de la disponibilité des machines à souder utilisées pour la fabrication de pipelines soudés en spirale. Le premier chapitre présente le transport du pétrole pipe, le second chapitre présente la description du processus de fabrication en continue (online) des tubes soudés en spirale sur des machines à souder, au niveau de l'entreprise ALFAPIPE Annaba. Le troisième chapitre, est dédié à la maintenance des machines à souder et la présentation de la disponibilité sous ses différentes formes. Le dernier chapitre, est consacré à l'optimisation de la disponibilité.

Chapitre I

Généralités sur le transport du pétrole par pipeline

I.1 Introduction :

La distribution de fluides tels que le pétrole, le gaz et l'eau exigent des installations très importantes comportant souvent des réseaux de transport. L'objectif est de garantir la sécurité et limiter les coûts de l'exploitation. Les pipelines représentent une solution efficace dans le cas des hydrocarbures. Parmi ces derniers, nous avons les pipelines soudés en spirale qui sont fabriqués à partir de bobines de tôles. Le présent chapitre présente le procédé de fabrication des pipelines relatifs à l'entreprise ALFAPIPE.

I.2 Définition :

Un pipeline est un système de transport de fluide composé de tubes interconnectés qui forment un réseau. Ce réseau de transport par pipeline décentralise toute la production d'hydrocarbures de l'entrée à la sortie, au profit des utilisateurs [1].

I.3 Les différents types des canalisations :

Le type et le nom du tube varient en fonction des caractéristiques physiques du produit à transporter et des conditions d'installation [2] :

- Pour le gaz naturel, on parle de gazoduc.
- Pour le pétrole, on parle d'oléoduc.
- Pour l'eau industrielle ou alimentaire, on parle de canal, d'aqueduc.
- Pour les eaux d'égouttage on parle d'égout.
- Pour l'eau salée, on utilise le terme de saumoduc.
- Pour l'oxygène, on utilise le terme d'oxygénoduc ou d'oxyduc.
- Pour l'hydrogène, on utilise le terme d'hydrogénoduc.

I.4 différents procédés de fabrication des pipelines soudés en spirale :

Les pipelines assurent le bon écoulement des liquides des fournisseurs en amont vers les consommateurs en aval. Les conduites pour le transport de liquide ont des dimensions et des propriétés mécaniques différentes, qui dépendent de la nuance d'acier utilisée (tableau 01), du type de conduite et des conditions de pose. Il existe trois techniques nécessaires pour fabriquer des tubes [3] :

- a) Tube soudés en spirale
- b) Tube sans soudure
- c) Tube soudé longitudinalement

Tableau 01 : Caractéristiques de tube Gaz et Pétrole Selon API 5L [3].

Grade de l'acier	Limite élastique E 0,2 MPA	Résistance à la rupture MPA
X42	289	413
X46	317	434
X52	378	455
X56	386	489
X60	413	517
X70I	482	566

- a) **Tube soudé en spirale :**



Figure 01 : Les tubes soudés sous la forme en spirale [1].

b) Tube sans soudure :

Les tubes sans soudure sont des produits tubulaires en acier forgés sans ligne de soudure. Ils sont obtenus à partir d'une ébauche cylindrique par un travail du métal à chaud (laminage) visant à produire la forme, les dimensions et les propriétés requises. Ces tubes ont généralement de petits diamètres, soit moins de 450 mm. La méthode de fabrication de ce type de tube repose sur la présentation du métal d'une manière telle qu'il soit contenu entre la filière et l'aiguille, ce qui permet d'obtenir un tube monobloc sans soudure. Il existe une variante appelée filage sur nez d'aiguille, où l'aiguille reste fixe pendant le processus de fabrication [7].

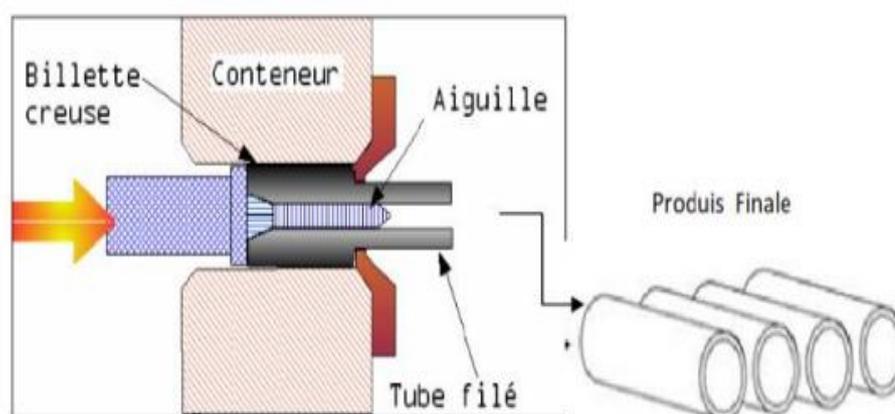


Figure 02 : Fabrication de pipeline sans soudure [7].

c) Les tubes soudés sous forme longitudinale :

La technique de fabrication des tubes soudés sous forme longitudinale est généralement basée sur le formage à froid de la plaque à travers le processus « UOE » (...), elle est spécifique aux tubes avec des diamètres plus que 406.4 mm (16"). Cette technique passe par trois étapes de formage [7] :

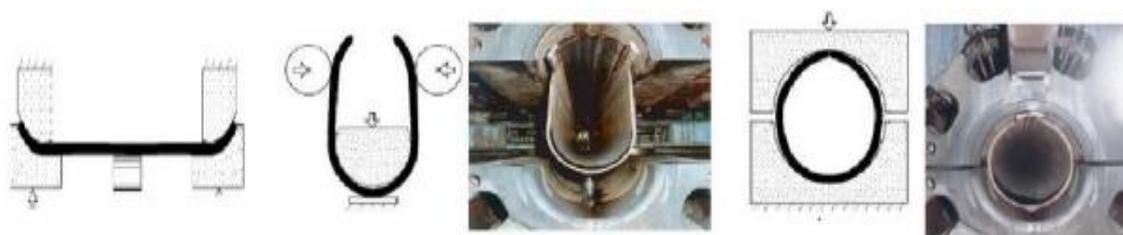


Figure 03 : a) : Croquage b): Formage sous forme "U" c): Formage sous forme "O". [7]

- a) Croquage et formage : La plaque va être pliée au niveau de l'extrémité, l'objectif de cette opération est de faciliter le processus de pliage par les étapes suivantes, à partir de cela, la tôle ou la plaque unitaire est pliée en deux types de presses : la première confère la plaque sous forme "U" et la seconde lui donne une forme "O"
- b) Le soudage du tube : Il s'agit du soudage à l'air submergé sous flux (SAW). Deux tâches de soudage sont effectuées, une à l'extérieur et l'autre à une demi- spirale en avant à l'intérieur des tubes à l'accostage des vives.
- c) Expansion et calibrage : l'objectif essentiel à atteindre par cette opération est d'avoir des tubes de section parfaitement circulaire, qui subit une augmentation de diamètre de 1 à 1.5%

I.5 Description du procédé de fabrication de l'unité ALFAPIPE :

L'unité ALFAPIPE est équipée de machines capables de traiter des aciers laminés à chaud à très haute limite élastique dans les nuances X60 à X70. Les bobines utilisées pour fabriquer les tubes en spirale ne sont pas prétraitées et sont généralement achetées. Ces bobines peuvent avoir une épaisseur de 5 à 15 mm, une largeur de 600 à 1800 mm et un poids de 29 à 36 tonnes. Ce système est spécialement conçu et équipé pour le formage à froid de bobines de tôle en tubes soudés en spirale [6] :

✓ **Zone fabrication :**

A ce niveau la fabrication des tubes spirales :

• **Basculeur de bobines :**

Les bobines de tôle arrivant en position verticale sont mises en position horizontale sur cette installation pour pouvoir être préparées.

- **Machine de préparation bobine :**

Cette machine est alimentée par un pont roulant à bobines à axe horizontal. Une bobine ainsi posée et déroulée sur une longueur nécessite plusieurs manipulations. La première partie du rouleau est coupée selon une forme adéquate le long de l'axe de la bande et chargée [2] :

- Un contrôle dimensionnel (épaisseur, criques,...etc.)
- Un contrôle visuel (empreintes, criques,...etc.)
- Un contrôle ultrasonique pour détecter les éventuels défauts interne (des doublures).
- Si le début de la bande ne présente pas des défauts, on considère que la bobine est apte à être consommée. Dans le cas où le début de la bobine contient des défauts, la bobine sera refusée.

- **Machine à souder :**

L'atelier de fabrication dispose de quatre (04) machines à souder identiques, qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube [1]:

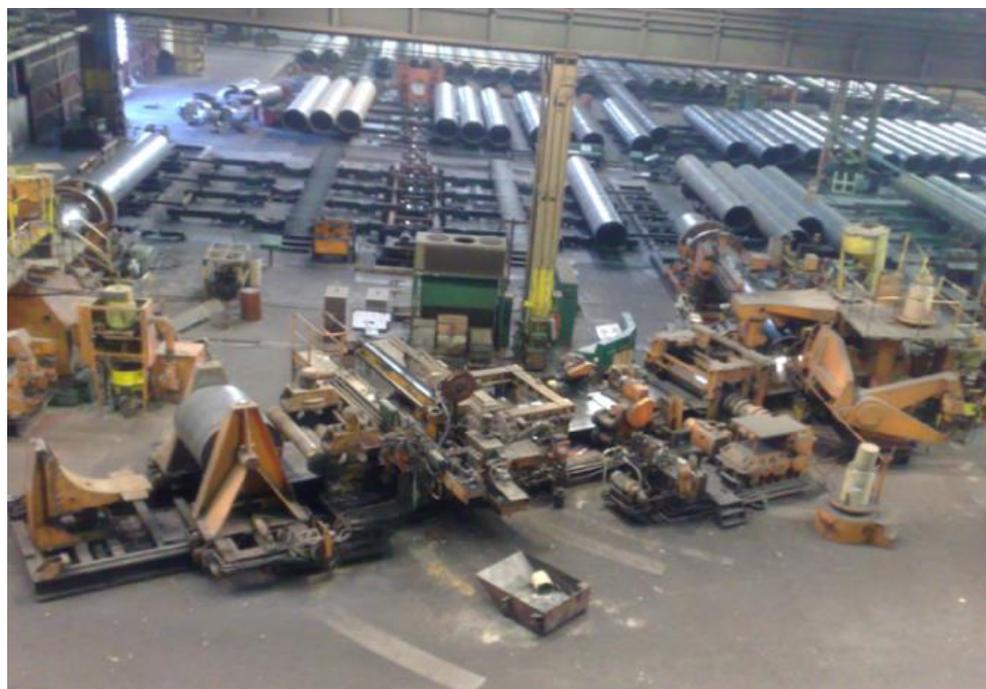


Figure 04 : La machine à souder [6].

A) Le rabotage :

Il s'agit de couper de fines bandes sur une machine et de joindre les extrémités de la bobine précédente à la nouvelle bobine par soudage automatique sous flux. Ce processus prend environ 30 minutes et nécessite l'arrêt de la production.

B) Le guidage :

Quatre (04) galets de guidage à commande hydraulique permettent un réglage rapide de la bande en cas de dérives dues aux variations de largeur bande.

C) Dressage bande :

Un train de rouleaux dresseurs assurent une parfaite planéité et contribue au guidage de la bande.

D) Cisailage :

Des cisailles de rive permettant la mise en largeur définitive de la bande. Les chutes ainsi obtenues par cisailage sont coupées par simple rotation de deux (02) tourteaux hacheurs équipés de plusieurs couteaux en acier.

E) Formage de la bande :

La bande est entraînée par deux (02) rouleaux cylindriques, elle subit un préformage par des galets cambreurs, des bras de guidage avec plaque d'usure en TEFLON maintiennent la bande. Celle-ci est introduite dans la cage de formage constituée de plusieurs trains de galets, ajustés suivant le diamètre à réaliser. La bande ainsi formée, est soudée intérieurement, puis une demi-spire après extérieurement. Le procédé utilisé est le soudage automatique à arc immergé sous flux ; une centrale permet de récupération de flux en excès pour le recycler. Le tube formé est coupé à la longueur voulue par un chariot d'oxycoupage prévu à cet effet.



Figure 05 : Préparation bobine [4].

- **Deux machines nettoyage tubes :**

Le tube ainsi mis en longueur est nettoyé sur une machine qui le débarrasse de tous les déchets (flux, laitier...etc.).

- ✓ **Zone visuelle :**

A ce niveau, les opérations suivantes sont réalisées :

- Contrôle de l'aspect visuel de la tôle et du cordon.
- Contrôle dimensionnel (longueur, diamètre, épaisseur).
- Elimination par meulage de certains types de défauts.
- Transcription de ces informations sur la carte suiveuse du tube.
- (Signalisation des opérations qui sont réalisé sur le tube).

- **Machine de reprise des soudures :**

Cette machine effectue l'opération de soudage extérieure des rabotages ainsi que les longues interruptions du cordon extérieur de la soudure.

Le système de soudage est identique à celui des machines à a soudes en spirale.

- ✓ **Zone de réparation :** Equipée de deux postes à soudage manuel pour réaliser toutes les réparations de défauts préjudiciables de la soudure, signalés en amont par le contrôle visuel.

- **Tronçonneuse des tubes :**

Cette machine est utilisée pour l'oxycoupage des tubes suivant les instructions du contrôle visuel et figurant sur la carte suiveuse de tube.

- **Banc d'essais hydrostatique :**

Dans cette installation, les tubes sont testés à une pression égale à 90 % de la capacité de travail de l'acier utilisé. Cette opération a pour but, d'une part, de vérifier l'étanchéité de la conduite et, d'autre part, de vérifier le comportement de la conduite lors de la montée en pression (résistance des tôles et des soudures).



Figure 06 : La machine d'essais hydrostatique [1].

- **Chanfreineuses des tubes :**

Pour permettre l'opération de soudage manuel, le tube est chanfreiné sur cette installation suivant les normes de travail. L'angle obtenu est en général de 30° à 35° avec un talon de 1.5mm.



Figure 07 : Vue de la chanfreineuse de tubes.

- **Machine de contrôle ultrason automatique :**



Figure 08 : Machine de contrôle ultrason automatique [3].

Le cordon de soudure est contrôlé par une machine électrique à émission ultrason à l'aide de deux (02) palpeurs à angle situés de part et d'autre de cordon de soudure. La tôle est également contrôlée par un palpeur plan en mouvement de translation entre les deux (02) spires.

- **Machines de contrôle radiographique et radioscopique :**

Chaque défaut de soudure détecté par ultrasons automatique subit d'abord une radiographie. Imagerie de fluorescence des défauts, mais radiographie. Elle utilise un film radiographique. Ces systèmes sont isolés par une séparation en plomb pour protéger le personnel des rayons X.

- ✓ **Zone de contrôle final :**

Au niveau de ce stand, les opérations suivantes sont réalisées :

- Contrôle visuel et dimensionnel.
- Vérification de la carte suiveuse du tube, 02 cas peuvent se présenter :
 - Le tube ne comporte pas des défauts et les opérations mentionnées sur la carte suiveuse sont réalisées, dans ce cas la tube reçoit un numéro d'expédition et suit son chemin au parc de stockage.
 - Le tube comporte un défaut ou bien l'opération mentionnée sur la carte n'a pas été réalisée, dans ce cas le tube retourne en atelier pour subir les prestations manquantes.

I.6 Équipements complémentaires de fabrication :

Bien que très complétées, les machines à souder en spirale requièrent un certain nombre d'équipements annexes.

A-Machine de préparation des bobines :

Sur cette machine les têtes de bobines sont ouvertes et préparées par oxycoupage de façon à permettre le rabouillage sur la machine spirale.

Les longueurs à chuter sont déterminées par contrôles visuel et ultrasonique, les têtes de bande présentant assez systématiquement des défauts soit dimensionnels, soit de laminage (feuillages ou de doublures).

B-Machine de régénération de flux de soudage :

Cette machine permet la circulation du flux non fondu lors de l'opération de soudage des bondes. Elle assure le dépoussiérage, l'élimination des particules métalliques par séparation magnétique et l'élimination des fines.

C-Machine de reprise des soudures extérieure :

Cette machine permet de réaliser le cordon extérieur des soudures de raboutage, non terminées sur la machine spirale.

Elle permet d'autre part, la reprise éventuelle des interruptions ou défauts de garde longueur du cordon de soudure extérieur.

✓ Zone de réparation des défauts de soudage :

Les défauts de soudage pouvant apparaître dans le cordon de soudure sont réparés manuellement sur une zone de réparation des tubes, équipée de quatre vireurs et quatre postes à souder manuels (redresseurs de 1000A), permettant le soudage et gougeage selon le 'procédé Arc Air' [5].

✓ Parachèvement des tubes :

Les tubes bons c'est-à-dire les tubes ayant subi avec succès les différents contrôles en ligne, sont chanfreinés à leurs extrémités sur deux chanfreins du type 'tourillonner', la qualité de cette préparation spéciale pour tube de forte épaisseur étant de grande importance puis qu'elle conditionne les cadences de soudage manuelles chantier de pose du pipe-line [5].

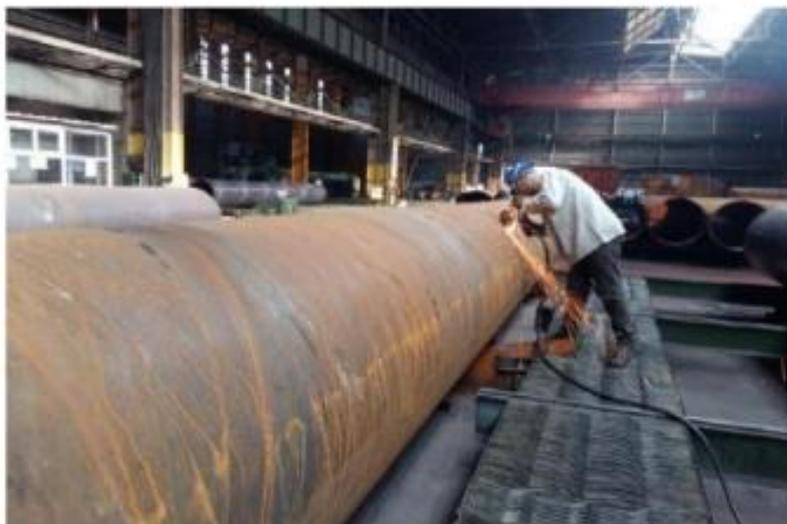


Figure 09 : Zone de réparation manuelle du défaut de soudage [5].

I.7 Le contrôle des fabrications :

Afin de contrôler minutieusement la précision dimensionnelle des tubes, un poste de contrôle dimensionnel et visuel est installé après la machine et le test hydrostatique pour contrôler systématiquement la qualité de chaque tube. Divers points sont contrôlés : Longueur, diamètre, rectitude, ovalité, couverture de soudure, aspect du cordon, état du métal de base.

De plus, compte tenu des besoins de l'industrie pétrolière, les Contrôles des métaux de base et des cordons de soudure sont très importants, nécessitant un laboratoire d'essais mécaniques et de contrôles non destructifs dans l'unité [5].

I.7.1 Contrôle destructif et essais en laboratoire :

Ces contrôles portent essentiellement :

- ✓ D'une part, sur la qualité du feuillard
- ✓ D'autre part, de la soudure obtenue à la machine à souder en spirale

Ces différents contrôles nécessitent le découpage d'un grand nombre d'éprouvettes sur bobine et sur tubes à tous les niveaux de fabrication. Leur conditionnement se fait au niveau du laboratoire sur machine outils.

A-Qualité de feuillard :

Les hautes caractéristiques demandées aux bobines requièrent un contrôle sévère des qualités du métal employé :

- ✓ Contrôle des caractéristiques mécaniques des bobines d'une même coulée, principalement limite élastique (E), limite de résistance à la traction (R) et allongement ces contrôles se font sur tête de bobine avant formage et sur tubes après formage.
- ✓ Contrôle de l'analyse chimique du métal suivant les différents critères de soudabilité.

B-Qualité du joint soudé :

- ✓ Contrôle des caractéristiques mécaniques ; principalement limite de résistance à la traction transversale et essai pliage
- ✓ Prises de macrographies et micrographies assurant le suivi des variables de soudage machines [5].

I.7.2 Contrôles non destructifs en ligne :

Ces contrôles mettent principalement en œuvre les techniques ultrasoniques, radiographiques et radioscopiques.

A-Contrôle des têtes de bande :

La recherche des défauts des têtes de bande, en particulier des doublures de laminage, se fait à l'aide d'appareils manuels à ultrasons au niveau de la machine de préparation bobines.

B-Contrôle continu du cordon de soudure sur la machine NDT :

La recherche des défauts internes du cordon de soudure, notamment des inclusions de gaz et des fissures, est effectuée à l'aide de l'appareil automatique à ultrasons de la machine CND. Deux sondes d'émission-réception montées de part et d'autre du cordon et en contact avec la conduite testent la soudure et déclenchent des jets de peinture pour les défauts hors tolérance. Cette localisation des défauts facilite la recherche de la taille et du type des défauts à l'aide de rayons X [5].

C-Radiographie des défauts de soudage :

Chaque défaut de soudure identifié par ultrasons automatisé sur la machine CND fait l'objet d'une radiographie. La machine à rayons X est installée dans la fosse et peut traiter 30 films par heure. L'interprétation du film peut conduire à la réparation de défauts causés par le gougeage manuel ou le soudage. Tous les défauts réparés manuellement subissent une nouvelle inspection aux rayons X pour confirmer la qualité de la réparation. Une machine à rayons X a été ajoutée à la machine à rayons X afin que la qualité de la soudure puisse être surveillée en continu sur un écran. Cette opération est particulièrement utile pour réaliser des soudures de qualité, ou pour "calibrer". Dispositif de contrôle automatique de soudage par ultrasons [5].

D-Radiographie des soudures d'extrémités de tube :

Une deuxième unité de radiographie, est dédiée aux soudures de bord.

En effet, il est important de pouvoir fournir une très bonne soudure finale et d'éviter d'éventuelles erreurs lors du soudage sur site.

Par conséquent, il est important de surveiller systématiquement la qualité du bord du cordon de soudure, de plus, le bord du cordon de soudure est déjà contrôlé par ultrasons automatique [5].

E-Contrôle ultrasonique des extrémités de tube :

Dans le même esprit, le métal de chaque extrémités de tube est restés à l'aide d'appareils a ultrason manuels de façon à localiser puis écarter par oxycoupage tout défauts de laminage tel que dédoubleable ou feuilletage [5].

I.8 Le revêtement des tubes

I.8.1 Revêtement extérieur des tubes :

Le tube avant d'être revêtu, passe par plusieurs étapes structurées telles que [3]:

- Le séchage pour enlever l'humidité
- Le grenailage afin de nettoyer et réparer la surface du tube
- Le chauffage pour rendre le tube prêt pour le revêtement

Le revêtement extérieur est constitué d'une combinaison de trois couches :

- La résine époxydique, de couleur blanche.
- Le copolymère joue le rôle d'un agent adhésif, a une couleur verte.
- Le polyéthylène extrudé assure la protection des tubes contre la corrosion

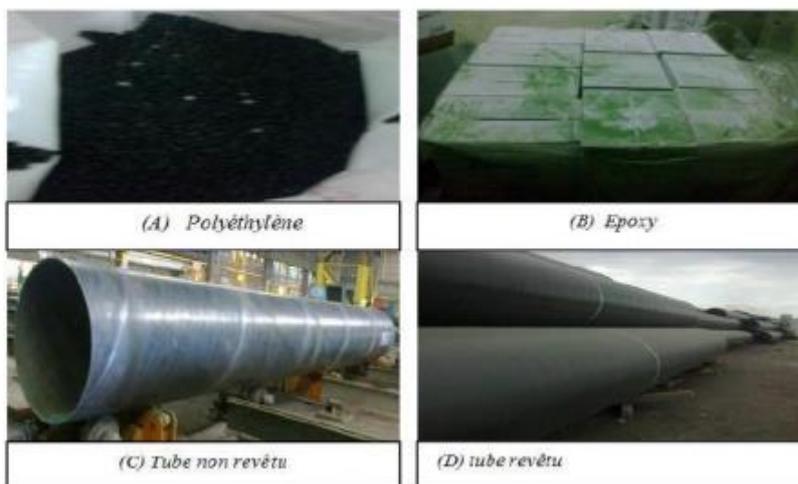


Figure10 : revêtement extérieur [3].

I.8.2 Le revêtement intérieur :

Il se fait en résine époxy pour les tubes destinés au transport et à la distribution du gaz sec et transport du gaz humide, d'eau potable brute et industrielle. L'aspect du revêtement est brillant, lisse et répond aux exigences de la norme API RP 5L [3].



Figure11 : Revêtement intérieur [3].

Chapitre II

Description de la machine à souder

II.1 Introduction :

Les M.A.S (Machines à souder) sont des équipements essentiels dans de nombreuses industries et sont utilisées pour souder et assembler des pièces. Comme pour toute machine, un entretien régulier est essentiel pour maintenir les performances et prolonger la durée de vie. L'optimisation de sa maintenance est un processus critique qui nécessite une attention particulière portée sur certains indicateurs de la performance de la machine et à la qualité de la soudure. Dans ce chapitre, nous allons détailler la description de la machine à souder et sa maintenance au niveau de l'entreprise ALFAPIPE.

II.2 Description de la machine à souder :

L'objectif de ce travail nécessite une bonne compréhension du processus de fabrication des tubes soudés en spirale chez ALFAPIPE Spa. Ce processus est réalisé de manière continue en utilisant des machines à souder conventionnelles et semi-automatiques. Ces machines sont équipées de différents dispositifs qui permettent à la fois le formage et le soudage des tuyaux [3].

La figure ci-dessous schématise la structure des machines en montrant les composants qui les constituent :

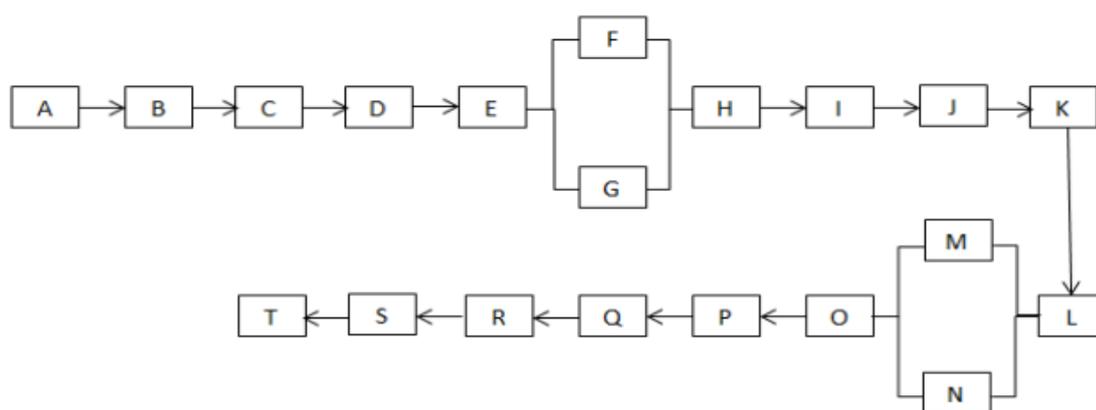


Figure 12 : Diagramme de l'ensemble de la machine à souder [3].

Les éléments qui composent la machine sont énumérés dans le tableau ci-dessous (tableau 02) :

Tableau 02 : désignation de la machine à souder.

<i>Machine à souder</i>	
<i>Elément</i>	<i>Nomenclature</i>
<i>A</i>	Chaise d'attente bobine
<i>B</i>	Dévidoir bobine
<i>C</i>	Pré-planeur
<i>D</i>	Mâchoires Début de Bande
<i>E</i>	Mâchoires Fin de Bande
<i>F</i>	Zone de rabotage
<i>G</i>	Guidage de bande
<i>H</i>	Planeuse
<i>I</i>	Préparation bords de bande
<i>J</i>	Pousseuse
<i>K</i>	Craquage des rives
<i>L</i>	Cage de formage
<i>M</i>	Soudure extérieure
<i>N</i>	Soudure intérieur
<i>O</i>	Récupération flux
<i>P</i>	Lunette de guidage
<i>Q</i>	Chariot oxycoupage des tubes
<i>R</i>	Table élévatrice
<i>S</i>	Châssis MAS
<i>T</i>	Fente de soudure

A. Chaise de support de bobine : est utilisée comme une "chaise d'attente" pour alimenter la machine en bobines pendant la phase de transport. La bobine est sélectionnée en fonction des divers paramètres du pipeline souhaité, tels que l'épaisseur, la largeur, le poids, etc [3].

B. Dévidoir : dispositif qui possède deux mâchoires de serrage équipées de deux tourillons adaptés aux différents diamètres intérieurs des bobines de tôle et servant à serrer et dérouler ces dernières [3].



Figure 13 : Chaise support bobine et le dévidoir [3].

C. Pré-planeur : Cet élément est essentiel pour préparer la surface de la bobine, garantissant ainsi un déroulement optimal depuis son alimentation initiale jusqu'à la zone de rabotage lors de l'insertion d'une nouvelle bobine, ainsi que pendant le fonctionnement continu de la machine.

D. Mâchoires Début de Bande : Les mâchoires de début de bande font partie de la zone de rabotage et ont pour fonction de maintenir le bout du début de la nouvelle bobine serrée afin de permettre l'oxycoupage, la préparation des rives et le soudage bout à bout (rabotage) en fin de bande.

E. Mâchoires Fin de Bande : Les mâchoires de fin de bande font partie de la zone de rabotage et servent à serrer le bout de la bobine consommée, facilitant ainsi les opérations d'oxycoupage, de préparation des rives et de soudage bout à bout (rabotage) en début de bande.

F. Zone de rabotage : c'est la partie la plus importante de la machine, composée du chariot d'oxycoupage/Soudage, d'un dispositif d'alimentation fils et flux et d'un mécanisme comportant un dispositif de support de soudage et des outils de préparation des rives. Tous ces équipements servent à souder en bout à bout les deux queues de bandes et permettent ainsi la production en continue sur la machine.

G. Guidage de bande : Le guidage de la bande est un système de centrage de la bande en ayant comme référence la ligne zéro tracée lors du réglage initial de la machine et d'assurer ainsi une bonne préparation des rives de bande (cisailage, chanfreinage)[1].

H. Planeuse : Dispositif de planage afin d'obtenir la planéité des bandes [1].

I. Préparation bords de bande : Cette étape de fabrication est composée des sous-ensembles suivants :

- Les blocs cisailles : Cisailage des rives.
- Les blocs hacheuses : permet le découpage en morceaux les chutes issues du cisailage.
- Le transporteur chutes : assurent l'évacuation de chutes résultantes du cisailage, des hacheuses et du chanfrein.
- Les blocs chanfreins : permet de réaliser le chanfrein de soudage après cisailage.
- La brosse face bande : Assure le nettoyage de la bande des résidus de poussière de calamine et tous autres déchets avant l'entrée de la pousseuse.

J. Pousseuse : Ce dispositif est équipé de deux rouleaux superposés qui assurent l'entraînement principal de la bande.

K. Craquage des rives : Le dispositif de craquage des rives comprend deux paires de galets cambreurs, chaque paire étant composée d'un galet cambreur convexe (supérieur) et d'un galet cambreur concave (inférieur). Ces deux paires sont positionnées sur les rives gauche et droite de la bande. Leur fonction est de donner une légère courbure (cambreur) aux deux rives, permettant ainsi un bon soudage après le formage de la tôle, donnant la forme arrondie du tube et évitant ainsi l'effet de toit.

L. Soudure extérieure : est un soudage automatique, à l'arc immergé sous flux, à l'aide d'une tête de soudure extérieure.

M. Cage de formage : également nommée « cage à galet », elle est réglable mécaniquement suivant les dimensions du tube qu'on désire obtenir.

N. Soudure intérieure : est un soudage automatique, à l'arc immergé sous flux, à l'aide d'une tête de soudure intérieure.



Figure 14 : Soudage SAWH à l'intérieur et à l'extérieur du tube [1].

O. Récupération flux : récupérer le surplus de flux introduit sur les cordons de soudure interne et externe.

P. Lunette de guidage : Appelés communément les galets de lunettes, c'est un dispositif réglable selon diamètre du tube, ce dispositif se trouve en aval du soudage extérieur. Son rôle étant de guider le tube et le maintenir à la hauteur de la machine et à l'axe du chariot d'oxycoupage.

Q. Chariot oxycoupage des tubes : selon une longueur prédéfinie, le tube est coupé automatiquement sur le châssis aval de la machine à souder, à l'aide de l'oxygène/Propane. Le tube coupé, doit être nettoyé avant d'effectuer le contrôle visuel sur le cordon de soudure.

R. Table élévatrice : La machine à souder est équipée de quatre (04) tables élévatrices actionnées par des vérins hydrauliques. Ceux sont des dispositifs qui permettent le guidage

du tube avant l'opération d'oxycoupage et ensuite son acheminement vers le dispositif de nettoyage.

S. Châssis MAS : La machine possède deux châssis, un en amont où sont fixés les dispositifs de planage de tôle, de cisailage et chanfreinage de rives et l'autre, en aval de la machine où se fait l'oxycoupage de tube. Les deux châssis sont liés par l'axe de la machine, situé au niveau de la cage de formage.

T. Fente de soudure : La fente de soudage est l'ouverture créée entre la rive gauche et la rive droite lors du formage du tube et juste avant le soudage intérieur. Afin de permettre un réglage optimal de la fente de soudage. A cet effet, un système dit « fente de soudage », composé d'un groupe hydraulique, d'un vérin et d'un dispositif de commande, est installé sur l'avant machine.

II.3 Maintenance de la machine à souder cas –ALFAPIPE- :

Le diagramme ci-dessous représente le processus de maintenance des machines à souder d'ALFAPIPE qui regroupe les activités de maintenance nécessaires pour assurer la disponibilité de l'équipement.

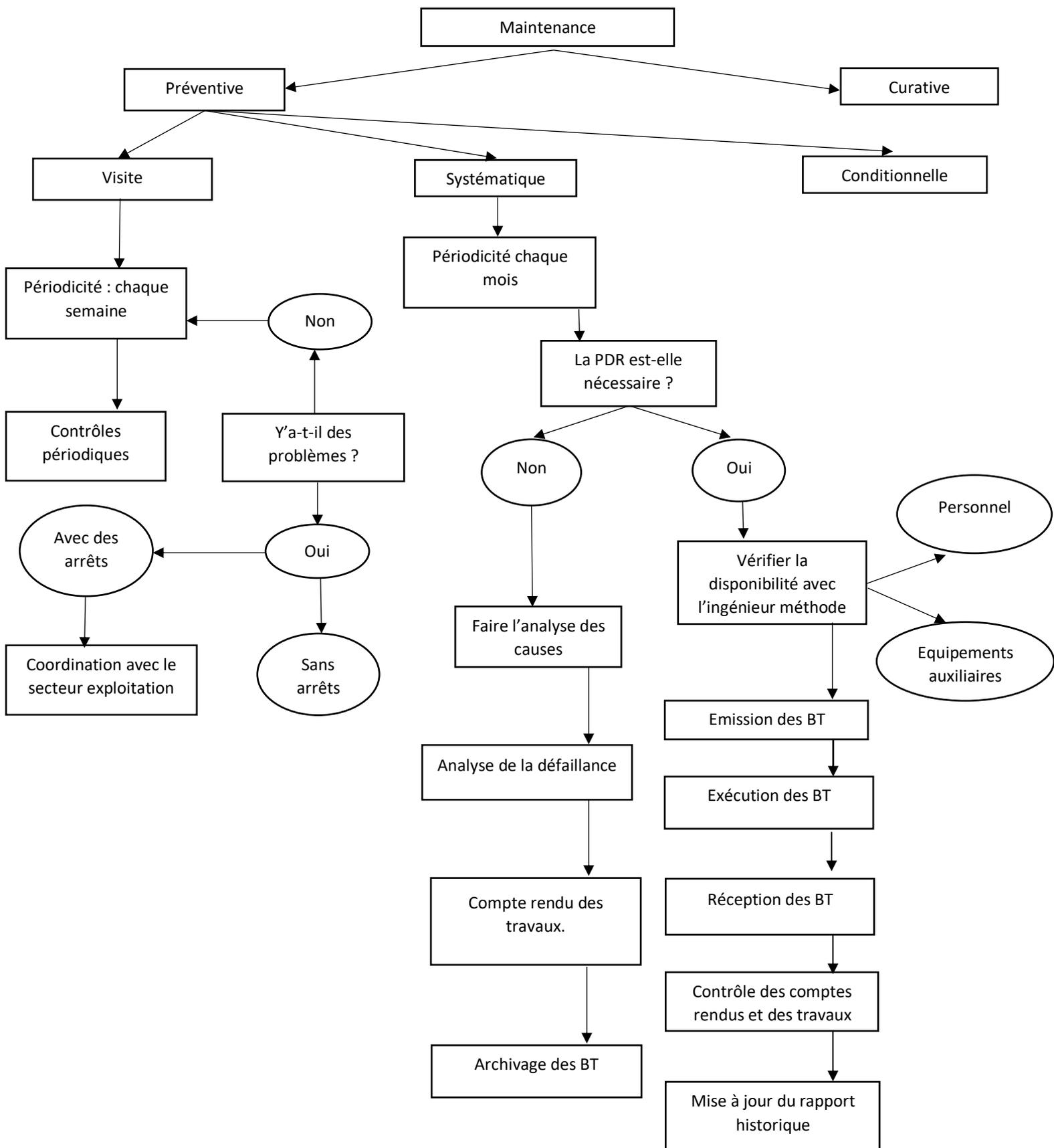


Figure 15 : Diagramme de maintenance des MAS cas –ALFAPIPE-

Chapitre III

Notions sur la disponibilité des systèmes industriels

III. 1 Introduction :

Les systèmes industriels, d'une manière générale, peuvent divers dysfonctionnements dont l'impact est significatif sur leur disponibilité optimale. Afin d'améliorer la productivité, il est impératif d'évaluer régulièrement la disponibilité des équipements. Dans cette partie, nous allons aborder la disponibilité des équipements industriels, qui constitue un indicateur important à la fois pour la maintenance et la production.

III.2 Généralités sur la gestion de la maintenance industrielle :

La maintenance, c'est = l'ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé » (NF X60-010 de l'AFNOR) [9].

Ces actions diffèrent selon les techniques mises en œuvre, à savoir [9] :

- La maintenance corrective (palliative ou curative).
- La maintenance préventive (systématique, conditionnelle ou prédictive).
- La maintenance préservative (après ou hors défaillance).

Le choix d'une maintenance optimale se fait en fonction de divers critères [9] :

- Connaissances sur le comportement de son matériel.
- Historique
- Jugement d'expert
- Coûts importants entraînés par la défaillance
- Coûts inconnus
- Panne totalement aléatoire.

Le modèle d'organisation « méthodes-ordonnement-réalisation » matérialise le modèle humain « œil-cerveau/système nerveux/main ». C'est un modèle itératif, donc compatible avec une gestion qui permet l'amélioration en continue. Il possède une structure semblable au modèle d'organisation de la production, bien que les contenus soient très différents. Les méthodes se basent sur des verbes d'action : savoir, analyser, prévoir, anticiper, améliorer. L'ordonnement se caractérise par les verbes : planifier, coordonner et synchroniser. La réalisation par contre, ces verbes : effectuer, vérifier et rendre compte.

Pour promouvoir la maintenance, il est essentiel de créer et développer un service méthodes. Sa position au sein du service de maintenance revêt une importance stratégique [9] :

- ✓ Il sert de relais pour les politiques, les orientations et les projets à mettre en œuvre ;
- ✓ Il constitue le centre des ressources documentaires ;
- ✓ Il est le principal point d'échange et de réception des flux d'information du service de maintenance ;
- ✓ Il gère les activités techniques, mais aussi les remet en question ;
- ✓ Il propose des actions d'amélioration.

Dans le cas de l'utilisation d'un outil de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), le bureau des méthodes devient le lieu privilégié pour exploiter le système.

Les agents travaillant dans les bureaux de méthodes agissent dans les domaines suivants [8] :

1. Participation aux choix des politiques à mettre en œuvre :
2. Participation aux études et travaux neufs :
3. Participation aux projets
4. Gestion de la documentation
5. Gestion du parc matériel
6. Analyses des activités
7. Préparation et contrôle des activités
8. Propositions d'améliorations
9. Assistance technique sur site

III.3 Diagramme des politiques de maintenance : phénomènes état et action

Pour la maintenance corrective nous avons le digramme :

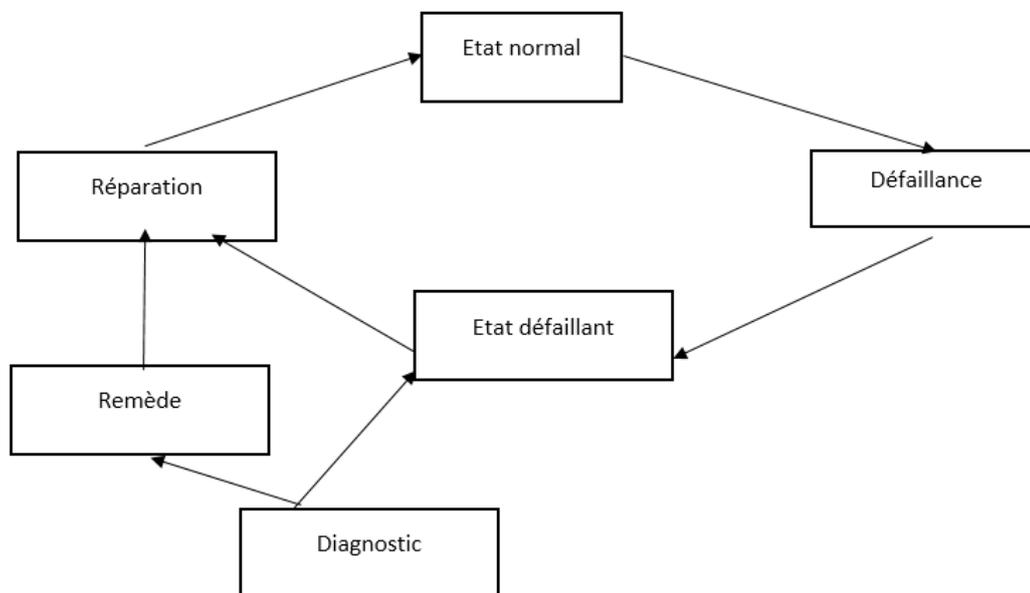


Figure 16 : Diagramme phénomènes (défaillance), état et action pour un traitement en maintenance corrective classique [9].

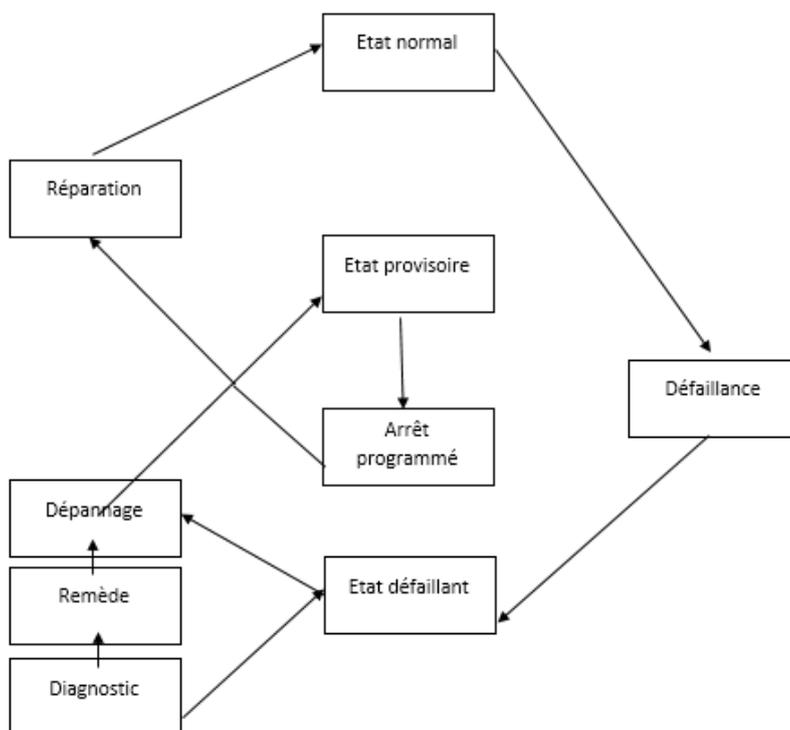


Figure 17 : Diagramme phénomène, état et action dans le cas d'une maintenance corrective en 2 étapes [9].

Le dépannage permet réduire le temps d'arrêt. Il sera utilisé pour augmenter la disponibilité.

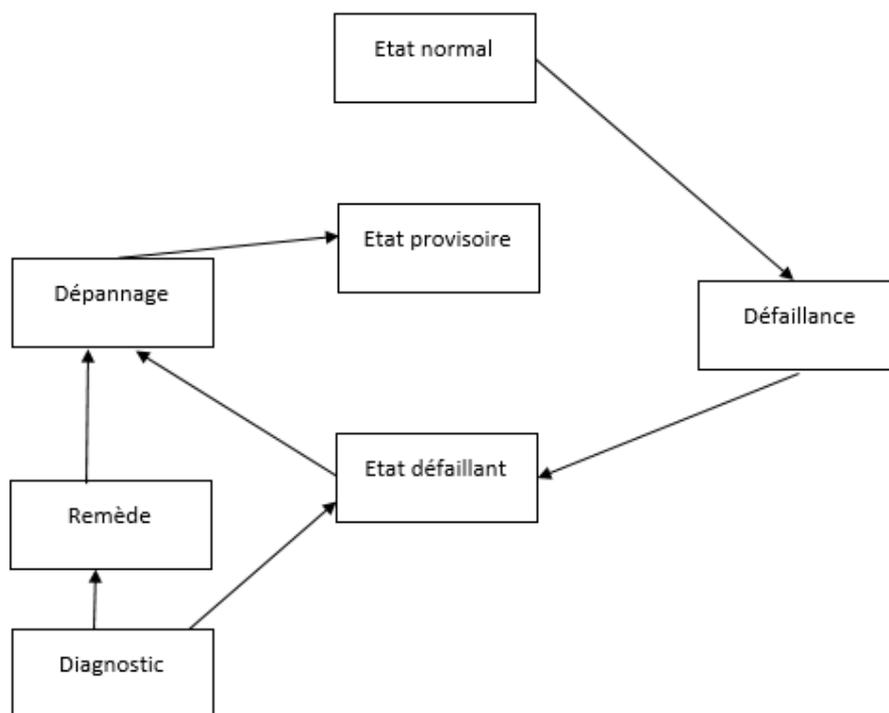


Figure 18 : Diagramme phénomène état action [9].

La technique de dépannage permet de refonctionner à moindre coût.

○ Maintenance préventive conditionnelle (ou prédictive) :

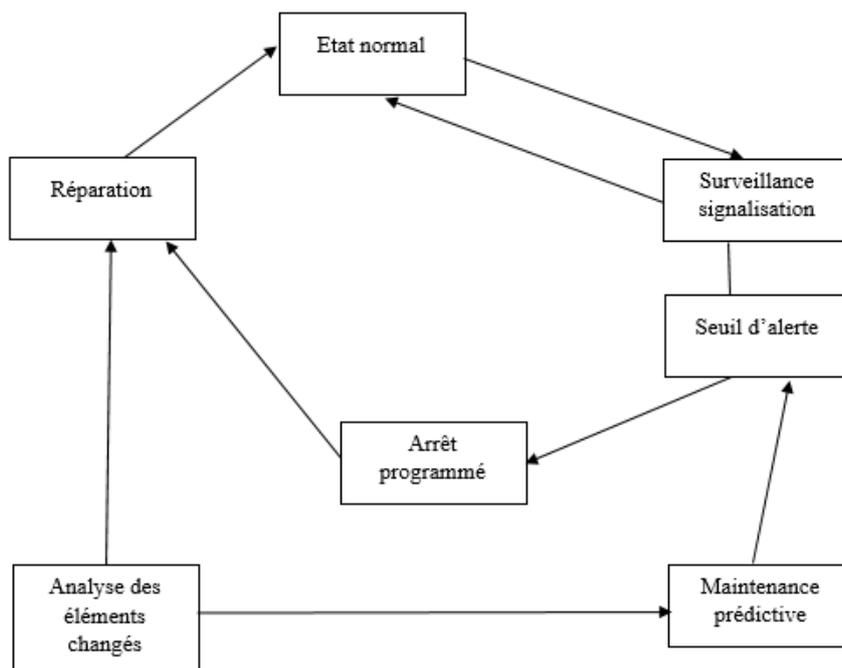


Figure 19 : Diagramme phénomène état action [9].

Elle s'adresse à des défaillances arrivant par dérive et détectable et nécessite l'installation de système de mesure.

○ Maintenance préventive systématique :

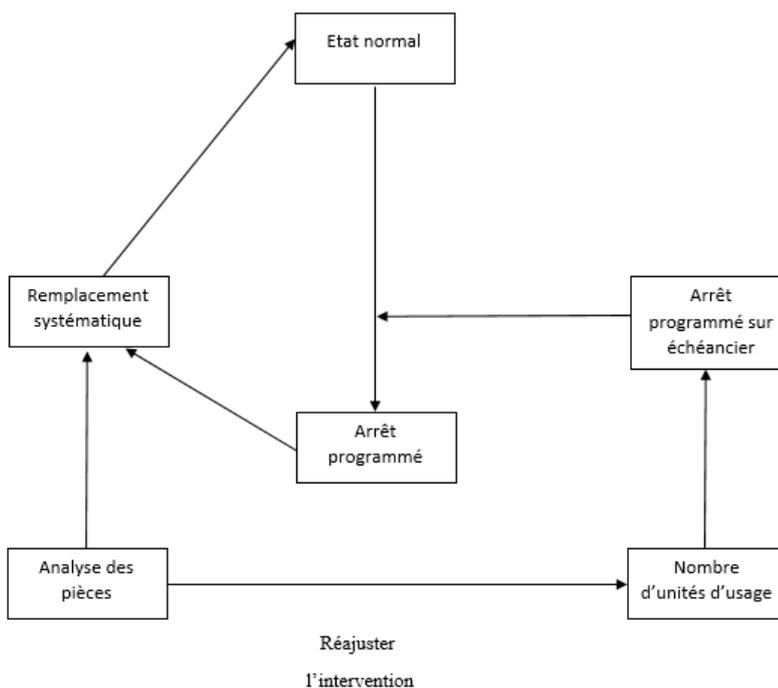


Figure 20 : Diagramme phénomènes état action [9].

Elle demande d'avoir une connaissance fine des lois de dégradations et s'adresse à des systèmes qui ont un coût induit par une panne élevée.

○ Maintenance préservatrice :

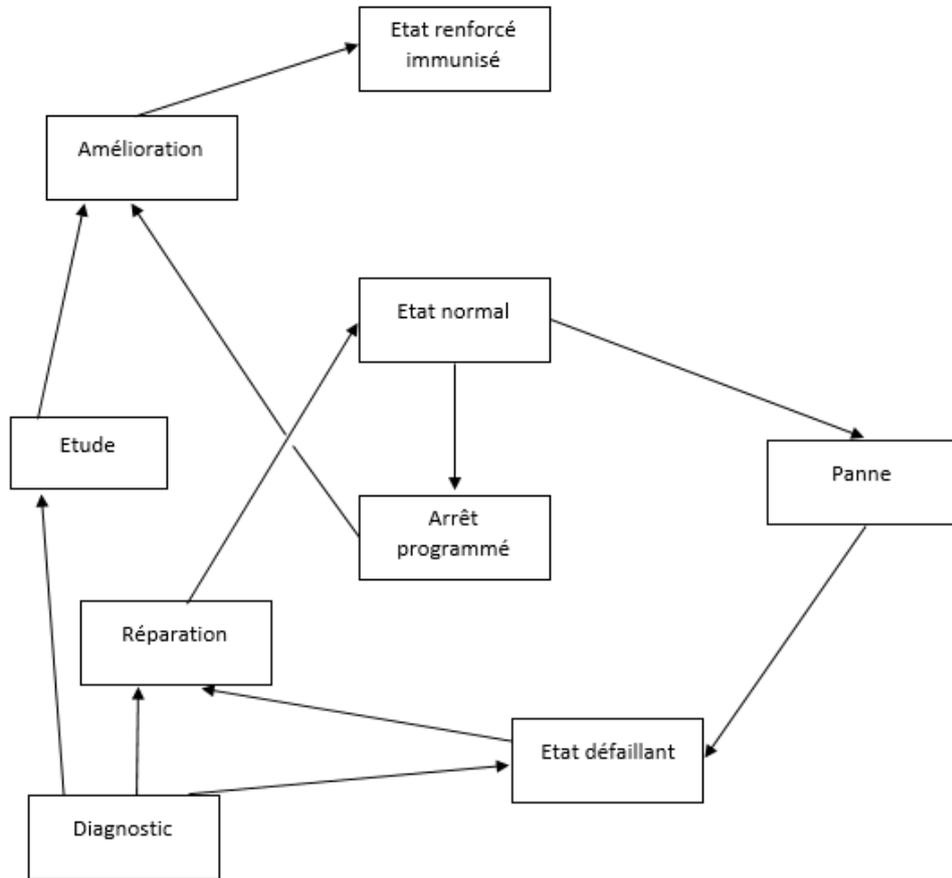


Figure 21 : Diagramme phénomène état action [9].

Elle s'adresse à des systèmes où la panne coûte cher et où l'on a la volonté de réduire le risque de panne à néant. C'est vraiment tirer parti de la défaillance pour améliorer la technologie.

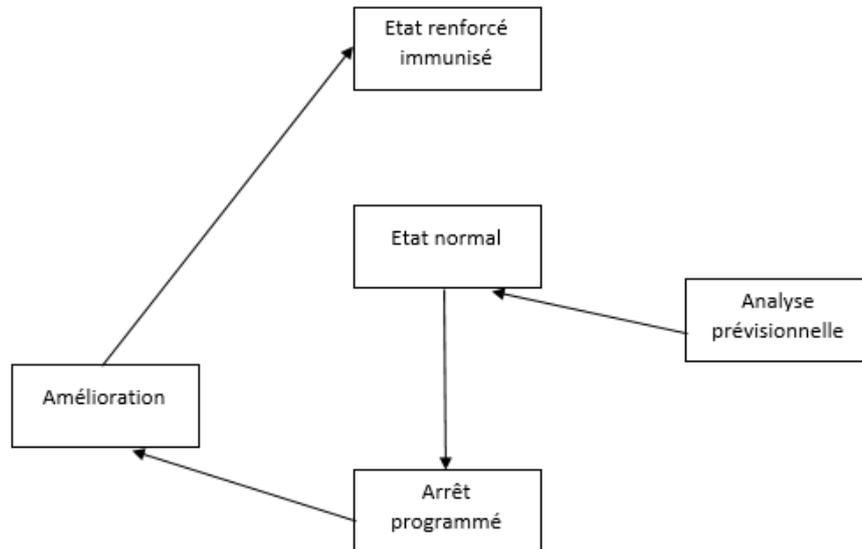


Figure 22 : Diagramme phénomène état action [9].

L'amélioration se fait dès l'étude prévisionnelle de fiabilité sans attendre la panne.

Objectif : Maintenance et qualité optimum.

Les méthodes de maintenance préventive :

- Systématique,
- Conditionnelle,
- Préservative,

Lorsqu'elles sont mises en œuvre en connaissant les (éléments d'entrées) :

- Coût du changement,
- Disponibilité,
- Fiabilité des équipements,

Et en étudiant les (élément de sortie) :

- Disponibilité opérationnelle,
 - Fiabilité opérationnelle,
 - Coût de maintenance et de non maintenance (voir la partie immergée de l'iceberg),
- entrent dans une vraie démarche (Qualité) des systèmes industriels.

▪ Concepts pour choisir une technique :

Maintenir en état de bon fonctionnement les moyens de production est bien entendu le souci premier de tout service de maintenance, mais ceci n'est pas à n'importe quel prix. L'homme de maintenance est obligé de décider dans un univers technico-économique et de choisir une politique adaptée [9].

L'introduction de la maintenance préventive semble être une solution intéressante. Il n'en demeure pas moins que cette introduction systématique suppose une étude sérieuse.

En effet, si les éléments technique et scientifique de l'approche du préventif ne sont pas connus, à savoir [9]:

- Lois de vieillissement non modélisées ;
- Étude sur les défaillances non établies ;
- Coûts entraînés par les défaillances en service non connus ;
- Pannes tout à fait aléatoires ;
- Absence de phénomène d'usure.

La mise en place du préventif ne sera pas optimisée, les dépenses dues au changement des éléments maintenables seront trop élevées ou inefficaces.

Le choix du type de maintenance le mieux adapté à chaque cas dépend [9]:

- Du type de défaillance : cyclique ou aléatoire.
- De l'aptitude du personnel de maintenance, des services après-vente ou de sous-traitance
- De l'aptitude du personnel de maintenance, des services après-vente ou de la sous-traitance.
- D'une bonne connaissance des coûts de maintenance (coûts directs, coûts indirects, investissements, etc.).
- D'une bonne organisation du travail (méthodes, préparation, planning, pièces de rechange, moyens d'investigation, etc.).

Ce choix n'est pas simple car les données à prendre en considération sont nombreuses.

Mais dans tous les cas :

- Point de bon remède sans un bon diagnostic,
- Point d'optimisation des techniques de maintenance sans une bonne analyse des défaillances.

- **Analyse des défaillances appliquant les propriétés formelles** des relations entre actions, les phénomènes et les états (théorie de la défaillance).

Les séquences des processus de défaillance sont déterminées en utilisant des raisonnements inductifs (de la cause vers l'effet) et / ou déductifs (de l'effets vers la cause), ceci ne peut évidemment pas se faire dans la précipitation [9].

- **Analyse a posteriori :**

Le diagnostic s'effectue la plupart du temps à la hâte, à cause d'impératifs de production. L'analyse a posteriori, détachée de ces impératifs, peut s'effectuer dans le calme [9].

Le résultat de ces analyses permet d'éviter que les défaillances ne se reproduisent ou au moins d'en minimiser les effets; en cela, elles constituent un prolongement très utile du diagnostic [9].

Les informations nécessaires pourront provenir [9]:

- Des rapports d'événement (rôle confié au personnel de fabrication).
- Des fiches de diagnostic.
- Des diagrammes Etat/Phénomène.
- D'une investigation complémentaire.
- Des bons de travail.
- Des mesures ou enregistrements.
- De la documentation technique.
- De l'assistance des constructeurs.

Ce regard sur la défaillance est une approche plus positive que le simple fait de réparer. (De ne plus y penser) et d'attendre la nouvelle panne.

De cette démarche, on va en tirer un enseignement et mieux réagir ; c'est véritablement une démarche (qualité). Pour les pannes inéluctables, on pourra plus facilement connaître les (TBF), et ainsi prévenir...

III.3.1 Critères pour le choix d'une politique de maintenance optimisée :

Toute action de maintenance préventive va agir sur une composante liée à la qualité de fonctionnement de l'entreprise [9].

Quels sont donc les critères à prendre en considération :

- ✓ Critère sécurité : C'est maximiser $R(t)$,
C'est minimiser $L(t)$,
- ✓ Critère disponibilité : (production maximum)

Donc :

C'est maximiser :

$$D_i = \frac{MUT}{MUT+MDT} = \frac{MUT}{MTBF} \dots \dots \dots (1)$$

Et :

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} - (n-1)} \dots \dots \dots (2)$$

D'où maximiser MUT et minimiser MDT, MTTR.

III.3.2 Critère coût :

C'est souvent celui que l'on cherche à optimiser en premier, à moins qu'il y ait d'autres priorités (sécurité) ;

C_{tm} = coût total de maintenance

Ce coût intègre les dépenses liées au changement préventif, au stock de sécurité, à la logistique maintenance en général, et aussi les coûts induits par un dysfonctionnement, une panne, enfin toute conséquence de mauvaise maintenance.

Le coût total de maintenance préventive par unité d'usage sera noté $G(t)$. Si l'on ne fait pas de préventif, on notera G_c , le coût moyen de la maintenance corrective [9].

- Données à prendre en compte pour la mise en équation de ces éléments :

Il s'agit de :

C_p : Coût de maintenance préventive. Il est en général égal au coût de la pièce plus le coût du changement.

C_d : Coût de la défaillance en service. Il comprend le coût de la solution compensatoire plus le coût du changement hors des heures de production ou de fonctionnement programmé, plus les coûts entraînés par les pertes de production.

On a souvent $C_d > C_p$

Sous ces conditions, on peut calculer le coût de la maintenance corrective (sans préventif systématique) par unité d'usage :

$$Gc = \frac{Cp+Cd}{MUT} \dots\dots\dots (3)$$

De même, le coût moyen par unité d'usage est établi par une formule du type de cette présentée ci-dessous ; l'approfondissement de ces éléments sera développé plus loin

$$G(t) = \frac{Cp+Cd(1-R(t))}{MUT_{tp}} \dots\dots\dots (4)$$

Sous ces hypothèses, il peut facilement en être déduit que le gain est :

$$\text{Gain absolu : } Gc - G(t) \dots\dots\dots (5)$$

Lorsque l'on pratique du systématique, et le gain relatif :

$$\text{Gain relatif} = \frac{Gc-G(t)}{Gc} \dots\dots\dots (6)$$

Notons également ceci :

Pour être facilement comparés, les coûts doivent être mesurés par unité d'usage (Année de fonctionnement, kilowattheure fourni etc.) [9].

III.4 La disponibilité :

Notre service de maintenance assume la responsabilité de la gestion des équipements afin de garantir leur disponibilité, en alignement avec les objectifs de l'entreprise. Cela englobe la gestion des coûts de maintenance ainsi que la mise en œuvre de la politique de maintenance de l'entreprise.

La disponibilité peut être considérée comme un résultat des fonctions suivantes [8] :

- **La fiabilité** : Selon la Norme CEN : « la fiabilité est l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. » [8].
- **La maintenabilité** : Selon CEN : « la maintenabilité caractérise l'aptitude des équipements à être maintenus ou rétablis dans un état dans lequel ils peuvent accomplir une fonction requise dans un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est accomplie sous certaines conditions, avec des procédures et des moyens prescrits. » [8].
- **La logistique de maintenance** : Possède plusieurs éléments réduisant les temps des interventions au niveau de la maintenance préventif et correctif, ainsi que les coûts d'indisponibilité des équipements industriels.

III.4.1 Définition :

Selon la Norme CEN : « la disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. » [8].

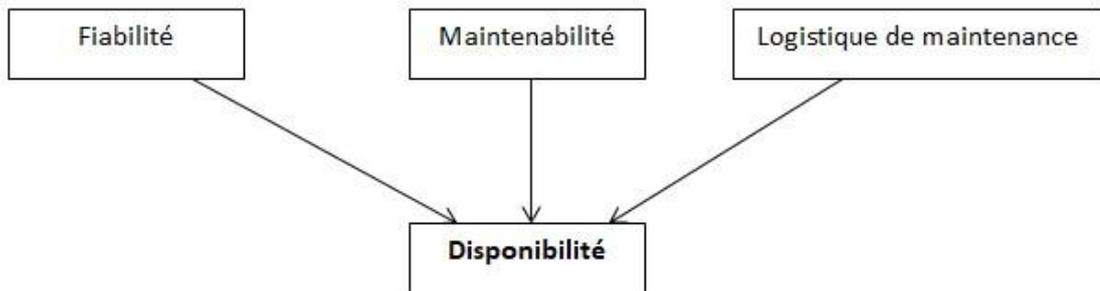


Figure 23 : Fonctions liées à la disponibilité [8].

III.4.2 Les indicateurs de la disponibilité :

Les indicateurs permettent d'évaluer des installations depuis l'apparition de l'incident qui conduit à des arrêts, jusqu'à la remise en marche de ces dernières, en fonction de temps. On distingue les principales caractéristiques représentées sur la figure 23 [8] :

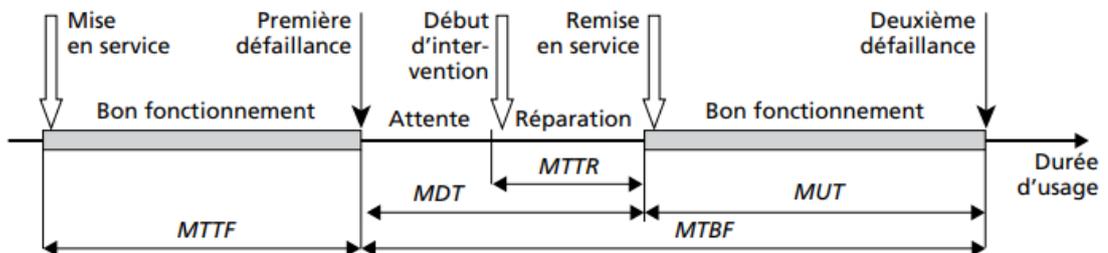


Figure 24 : Les durées caractéristiques de FMD [8].

- **MTBF (Mean Time Between Failure)** : C'est le temps moyen du bon fonctionnement estimé entre deux défaillances consécutives.
- **MTTR (Mean Time To Pair)** : Le temps moyen de réparation estimé entre le début et la fin de l'intervention technique.
- **MDT (Mean Down Time)** : Le temps moyen d'indisponibilité du système pendant une durée donnée où sa fonction est incomplète.
- **MUT (Mean Up Time)** : Le temps moyen de disponibilité.
- **MTTF (Mean Time To Failure)** : Le temps de bon fonctionnement entre la mise en service du système et l'apparition d'une première défaillance.

III.4.3 Les types de disponibilité :

Le calcul de la disponibilité peut avoir plusieurs formes et chacune d’elles est obtenue à partir des mesures de temps (les indicateurs) saisies à partir des états d’un bien. Nous noterons [8] :

La disponibilité opérationnelle : Généralement notée D_{op} , afin d’optimiser le maintien, elle prend dans son sens opérationnel la considération de la disponibilité intrinsèque et la logistique de la maintenance. Elle peut être calculée en suivant le modèle [8]:

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF+MDT} \dots\dots\dots(7)$$

La disponibilité instantanée $D_{(t)}$: est l’aptitude d’un bien à être en état de non défaillance à l’instant « t ». Elle s’exprime sous forme d’un modèle de calcul probabiliste qui permet de montrer l’existence d’une disponibilité asymptotique D_{∞} . Telle que [8] :

$$D_t = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\mu}{\mu+\lambda} e^{-(\mu+\lambda)t} \dots\dots\dots(8)$$

Avec :

Taux de défaillance : $\lambda = \frac{1}{MTBF} \dots\dots\dots (9)$

• Taux de réparation : $\mu = \frac{1}{MTTR} \dots\dots\dots(10)$

La disponibilité intrinsèque ou asymptotique D_{∞} : inclue des caractéristiques propres aux entités, elle est la résultante de la prise en compte initiale des critères qualitatifs de maintenabilité et de fiabilité qui doivent figurer au cahier des charges de fourniture. Par la fiabilité, la maintenabilité et la logistique prédéfinie de la maintenance. La valeur de la disponibilité asymptotique « D_{∞} » est la limite que doit tendre la D_{op} .

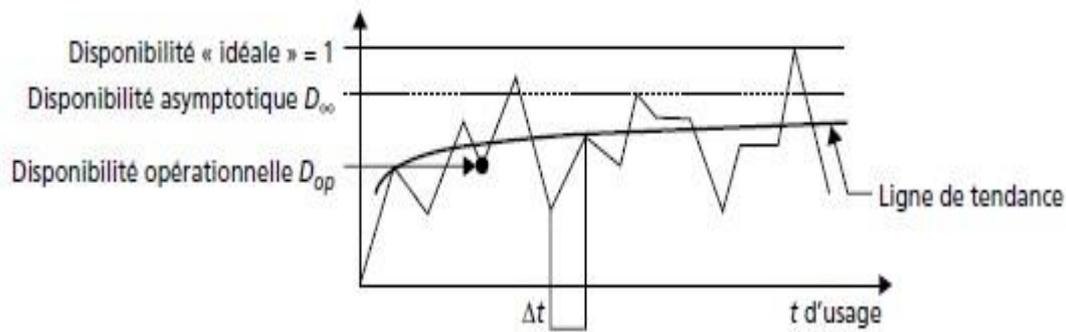


Figure 25 : Existence d'une limite de disponibilité [8].

Lorsque D_t tend vers cette limite quand $t \rightarrow \infty$. Nous trouvons alors les formules usuelles équivalentes [8] :

$$D_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \dots \dots \dots (11)$$

La disponibilité contractuelle : Les contrats de fourniture imposent une valeur allouée D_c qu'il appartient au concepteur de « construire » en réalisant une modélisation à partir des valeurs supposées (bases de données) de MTBF et de MTTR.

La disponibilité prévisionnelle : Elle devra être confrontée à la disponibilité opérationnelle mesurée suivant des procédures précisées et acceptées par les deux parties fournisseur/utilisateur-client.

La figure ci-après illustre les différentes formes de disponibilité et leur contexte :

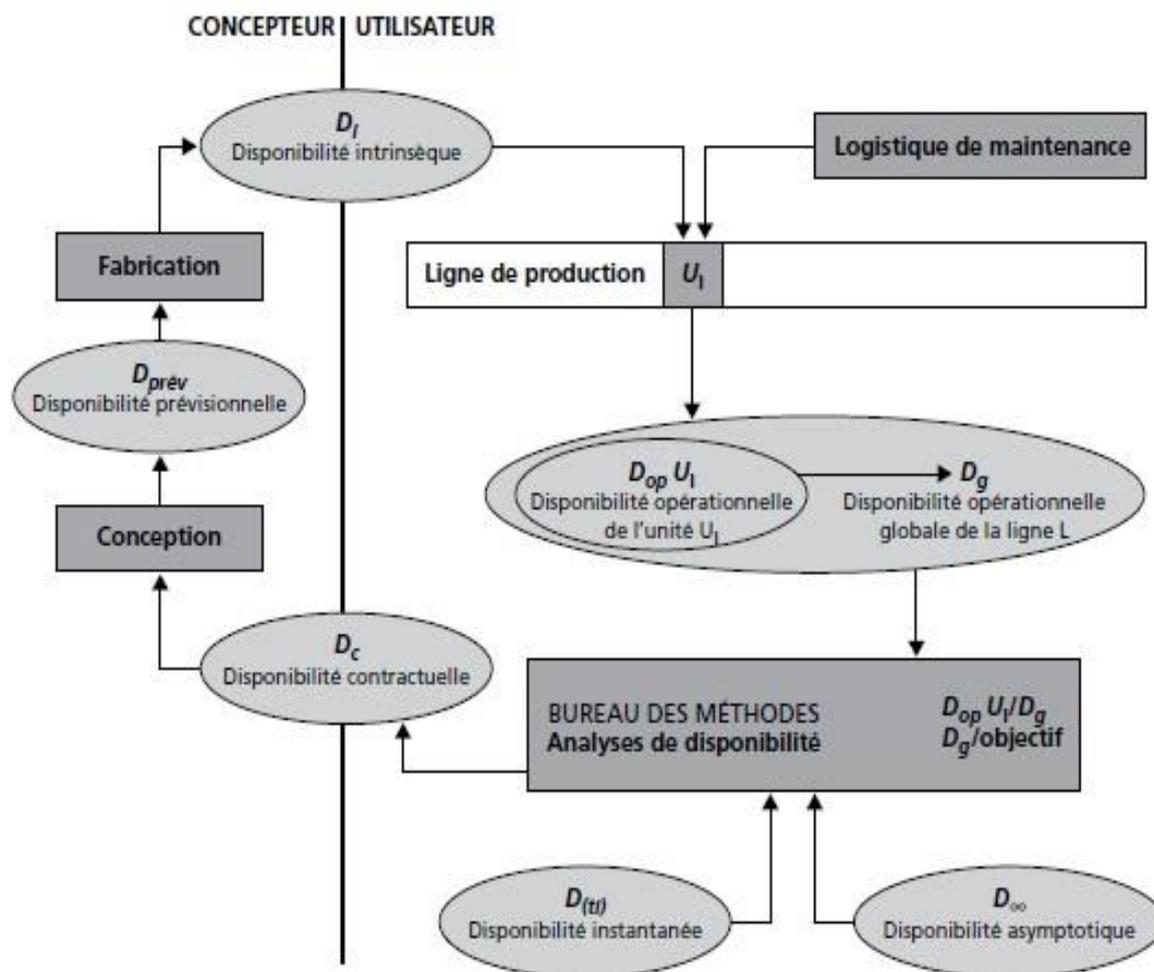


Figure 26 : La situation de différentes formes de disponibilité [8].

III.4.4 Evaluation de la disponibilité des système série :

On considère que le système est en série (figure 27) :

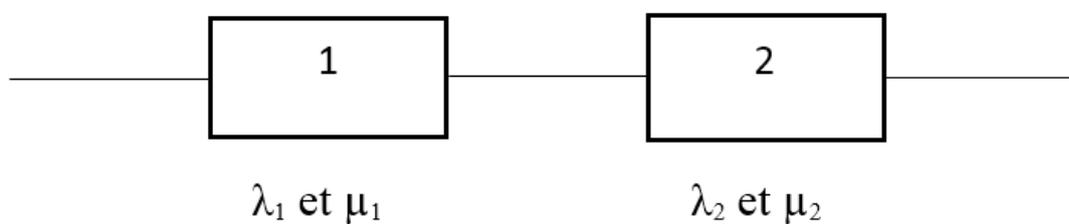


Figure 27 : Diagramme d'un système en série [10].

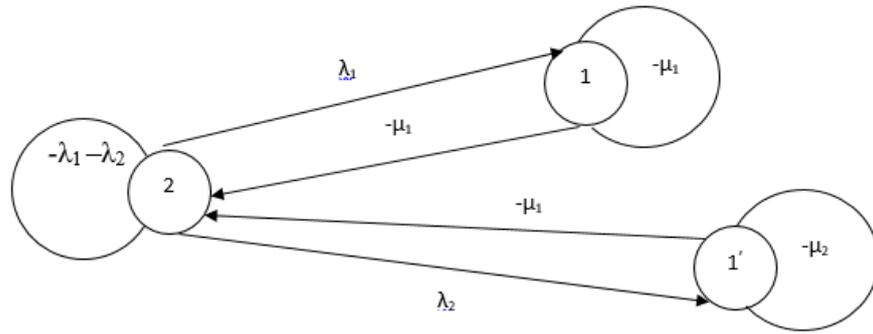


Figure 28 : Graphe d'état d'un système en série [10].

$$\begin{pmatrix} (P + 2\lambda) & -\mu & -\mu \\ -\lambda & P + \mu & 0 \\ -\lambda & P + \mu & P + \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_2(P) \\ \xi_1(P) \\ \xi_{1'}(P) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Etude simplifiée de la disponibilité nécessite les hypothèses suivantes [10] :

- L'arrêt d'une machine entraine celui de la ligne.
- Chaque machine est caractérisée par un taux λ_i de défaillance et un taux de réparation μ_i , (figure 29)

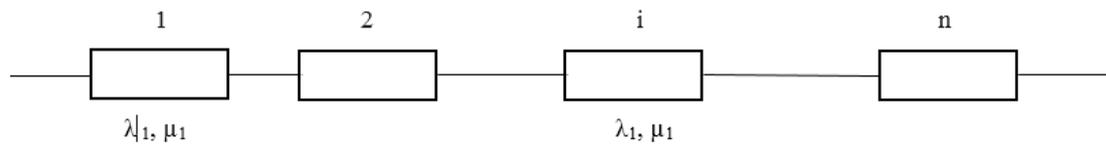


Figure 29 : Diagramme de composition d'un système série [10].

On peut écrire que :

$$MTTR_s = \sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i \times \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \dots\dots\dots(9)$$

$$MTTR_s \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \dots\dots\dots(10)$$

La disponibilité asymptotique d'un système série s'écrit,
(équation 11) :

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{D_i}} \dots \dots \dots (11)$$

Chapitre IV

Etude de la disponibilité des machines à souder

IV.1. Introduction :

L'optimisation de la maintenance est un enjeu majeur pour les entreprises de production, en raison du contexte de compétitivité dans lequel les entreprises doivent évoluer. C'est dans cette optique, nous nous intéressé dans ce chapitre à l'analyse et l'amélioration de disponibilité dans le but d'optimiser de la maintenance.

IV. 2. Présentation de l'historique :

Les données de l'historique des interventions sur les différentes machines sont présentées sous forme de courbe ABC, figures 30, 31, 32 et 33. La première étapes de notre étude consiste à extraire de ces courbes les sous-ensembles susceptibles d'influencer le temps de réparation dans but d'augmenter la disponibilité.

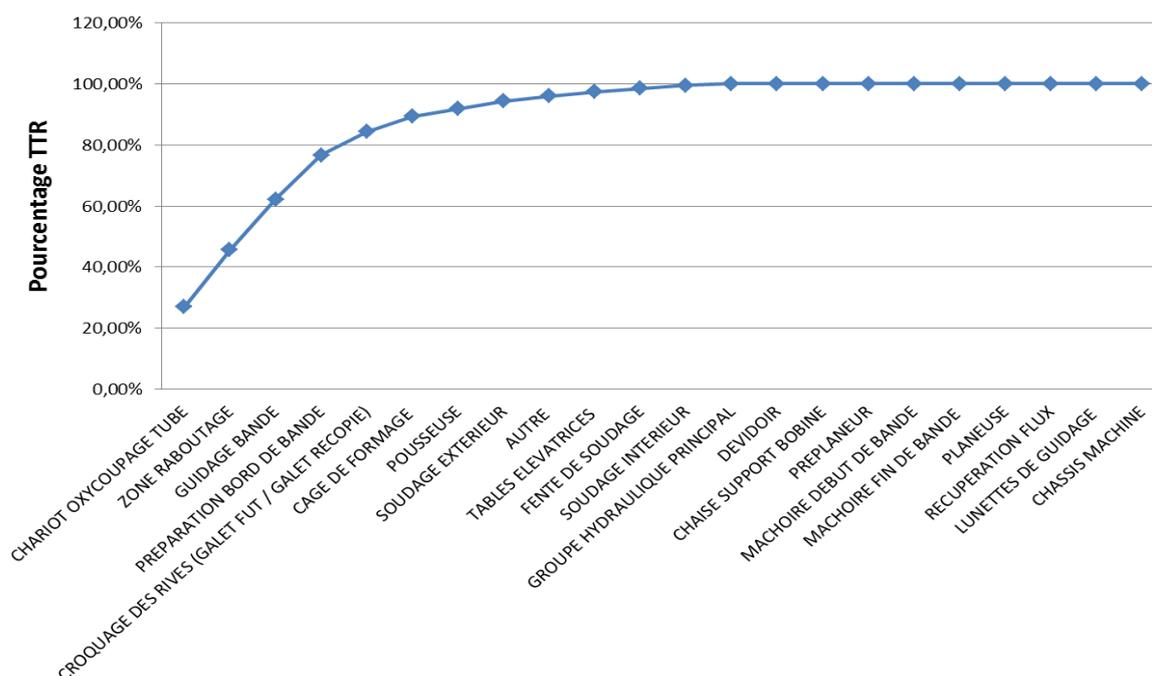


Figure 30 : Courbe ABC de la MAS A [11].

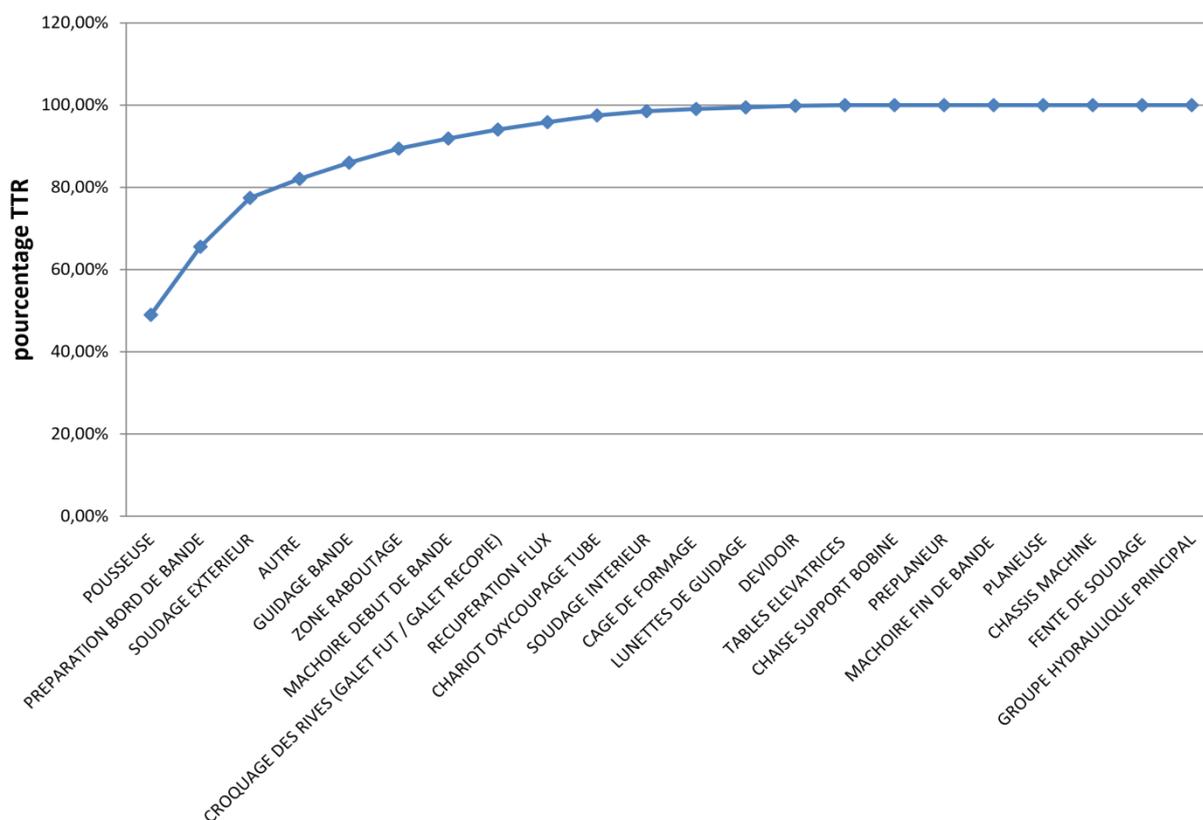


Figure 31 : Courbe ABC de la MAS B [11].

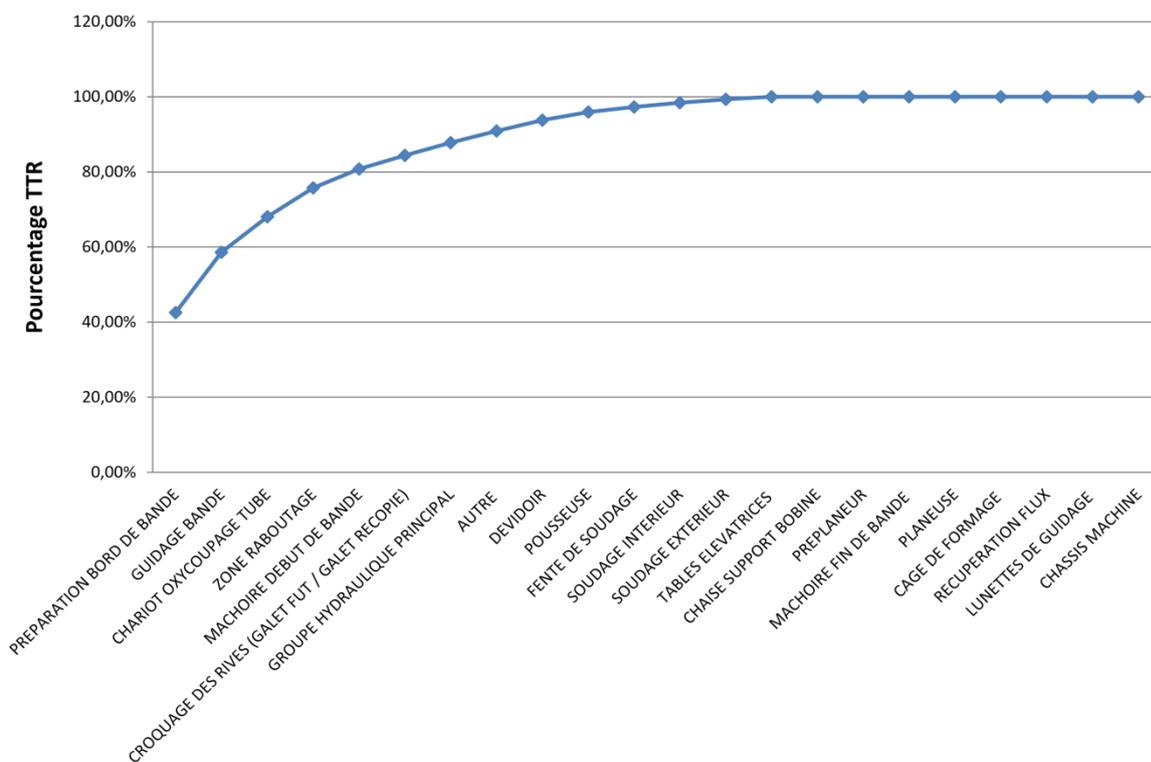


Figure 32 : Courbe ABC de la MAS [11].

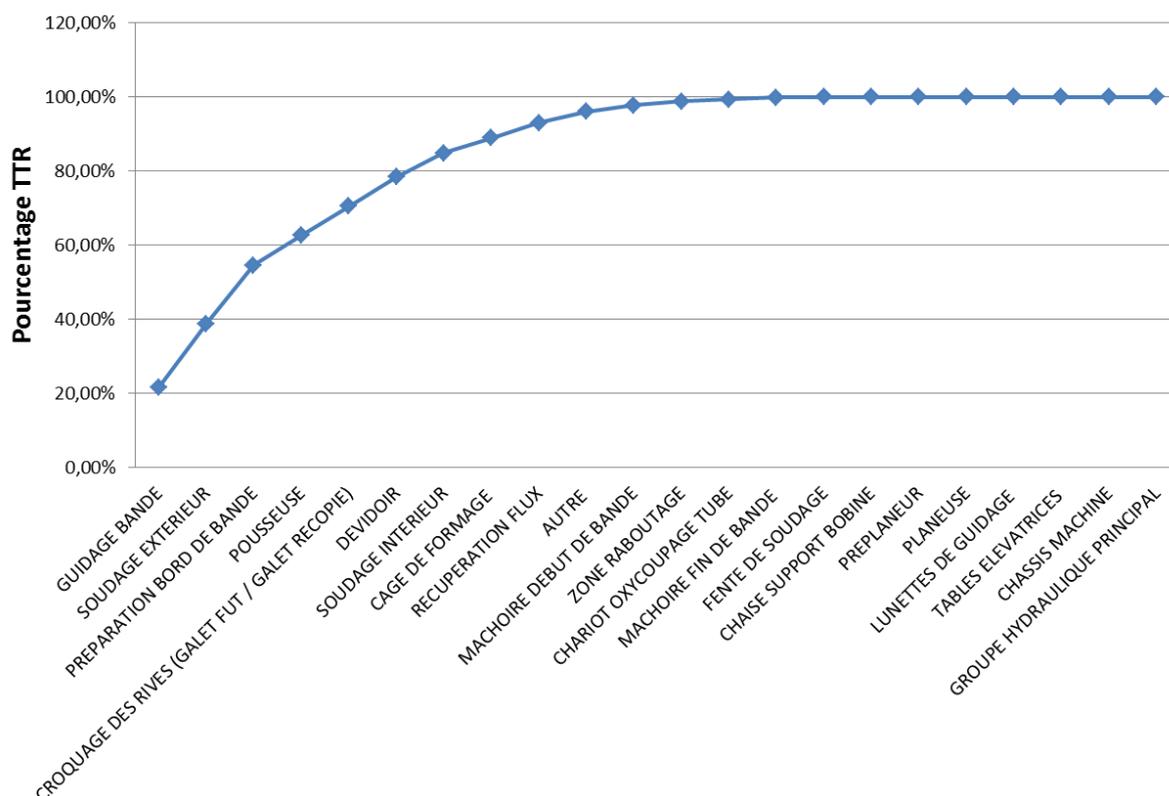


Figure 33 : Courbe ABC de la MAS D [11].

Les sous-ensembles faisant partie de la zone A sont les plus significatifs. Chaque machine comporte un certain nombre qui peut être différent des autres machines.

Dans le cas de la machine A, les sous-ensembles concernées sont indiqués dans la figure 34. Dans ce cas, le chariot d'oxycoupage tube présente le plus grand pourcentage de temps d'arrêt. Les pourcentages relatifs suivants : 35% pour le chariot oxycoupage tube, 25% pour la zone de rabotage, 21% pour le guidage bande, et enfin 18% pour la préparation du bord de bande.

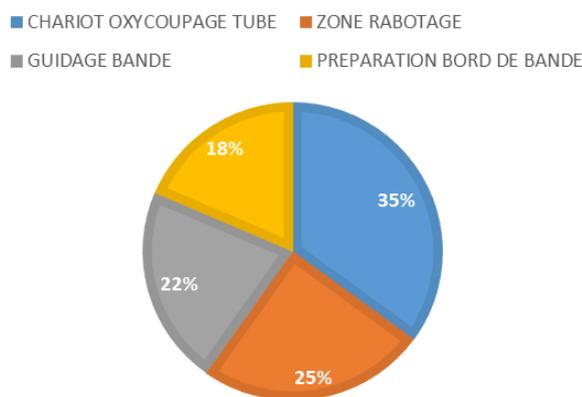


Figure 34 : Diagramme de la MAS A

Dans le cas de la machine B, la pousseuse présente plus de 60 % du temps d'arrêt, comparé aux autres sous-ensembles. Les pourcentages relatifs identifiés dans son diagramme sont les suivants : 64% pour la pousseuse, 21% pour la préparation du bord de bande, et 15% pour le soudage extérieur.

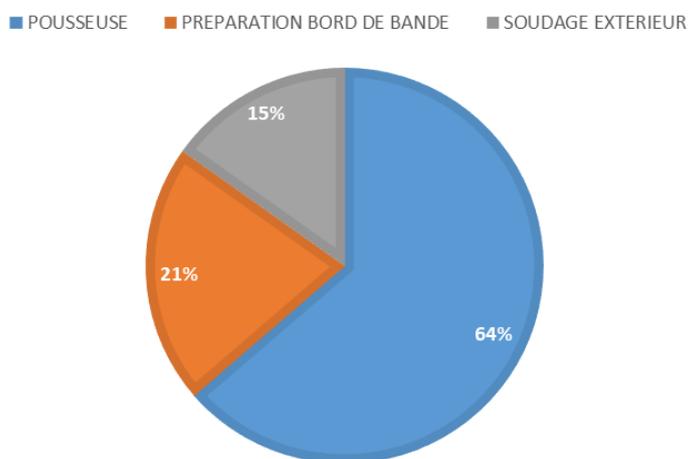


Figure 35 : Diagramme de la MAS B

La zone préparation bord de la machine C présente un pourcentage de 54% du temps d'arrêt. Les pourcentages relatifs obtenus sont les suivants : 54% pour la préparation du bord de bande, 20% pour le guidage bande, 12% pour le chariot oxycoupage tube, 9% pour la zone de rabotage, et 5% pour la mâchoire du début de bande.

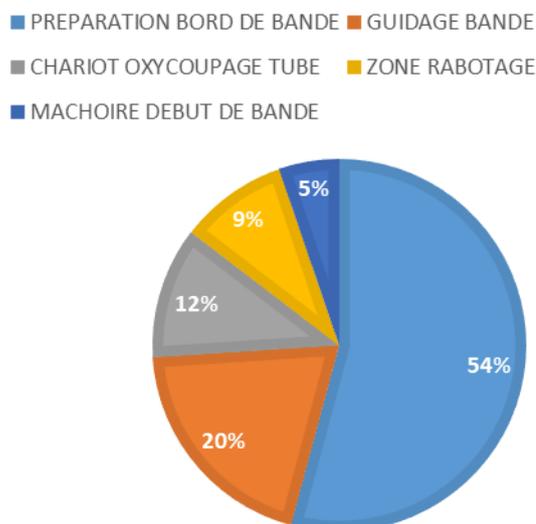


Figure 36 : Diagramme de la MAS C

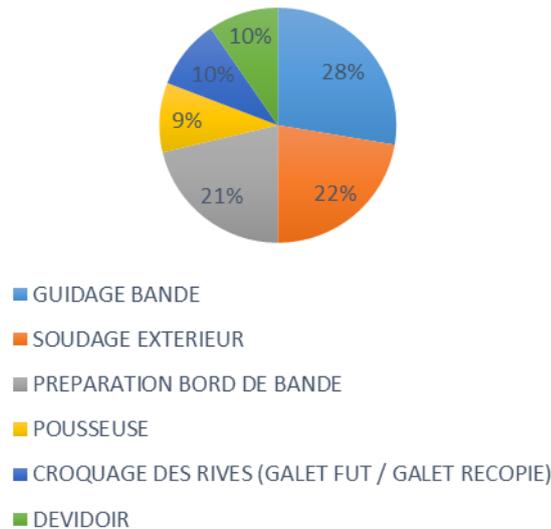


Figure 37 : Diagramme de la MAS D

La machine D comporte le plus grand nombre de sous-ensembles. Les pourcentages relatifs identifiés sont les suivants : 28% pour le guidage bande, 22% pour le soudage extérieur, 21% pour la préparation du bord de bande, avec le craquage des rives et le dévidoir ayant le même pourcentage de 10%, et enfin 9% pour la pousseuse.

IV.3. Calcul de la disponibilité des sous-ensembles des machines à souder:

Les courbes de disponibilité de chaque machine en se basant sur l'équation [8]:

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \dots\dots\dots(12)$$

La figure ci-dessous figure 38, présente la courbe de disponibilité en pourcentage en fonction des sous-ensembles, les éléments tels que la zone de rabotage, le guidage de bande, la préparation du bord de bande et le chariot d'oxycoupage de tube présentent les taux de disponibilités les plus faibles.

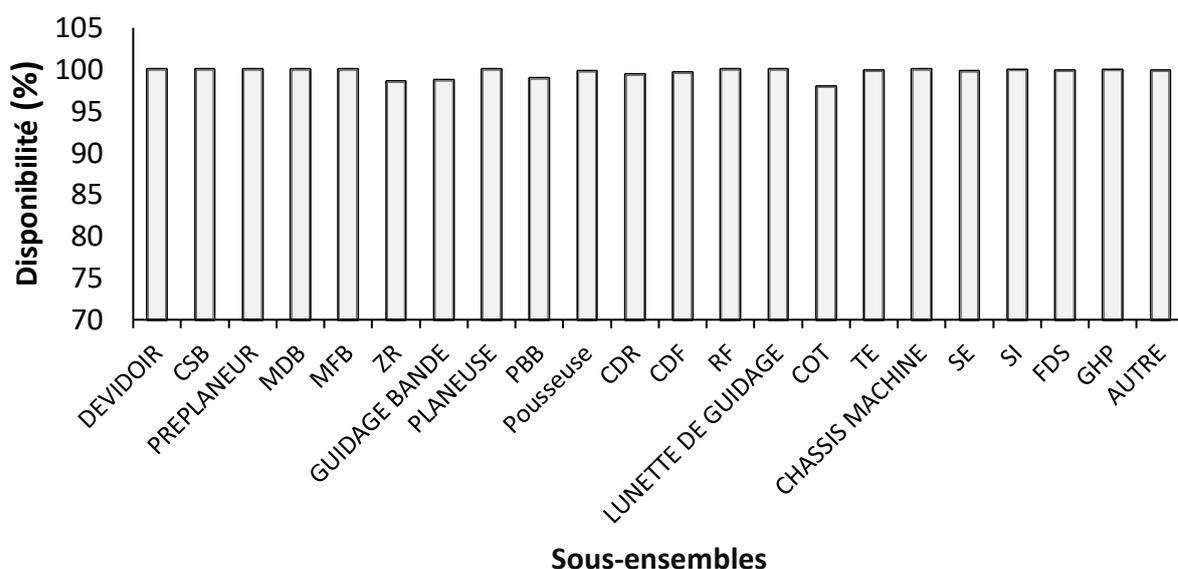


Figure 38 : Histogramme de disponibilité MAS A

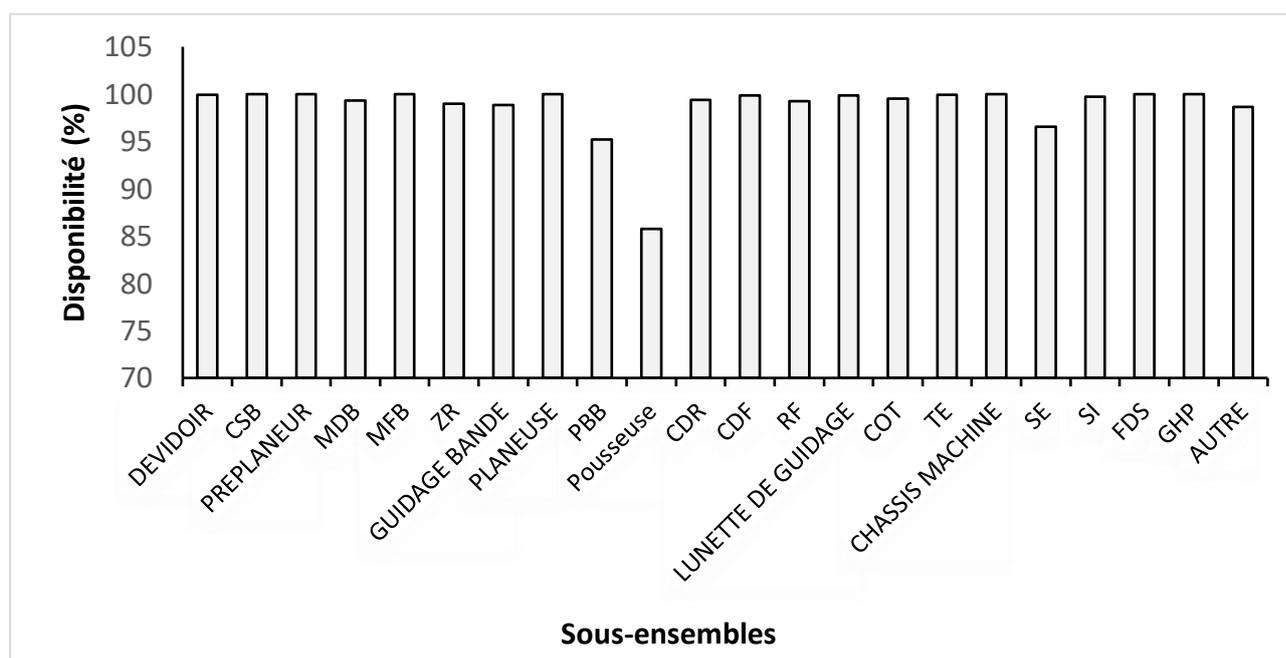


Figure 39 : Histogramme de disponibilité MAS B

Le graphique de la figure 39, présente la courbe de disponibilité en pourcentage en fonction de sous-ensembles, les éléments tels que la pousseuse a une disponibilité de 85.77%, préparation bord de bande et soudage extérieure ont une disponibilité inférieure à 97%.

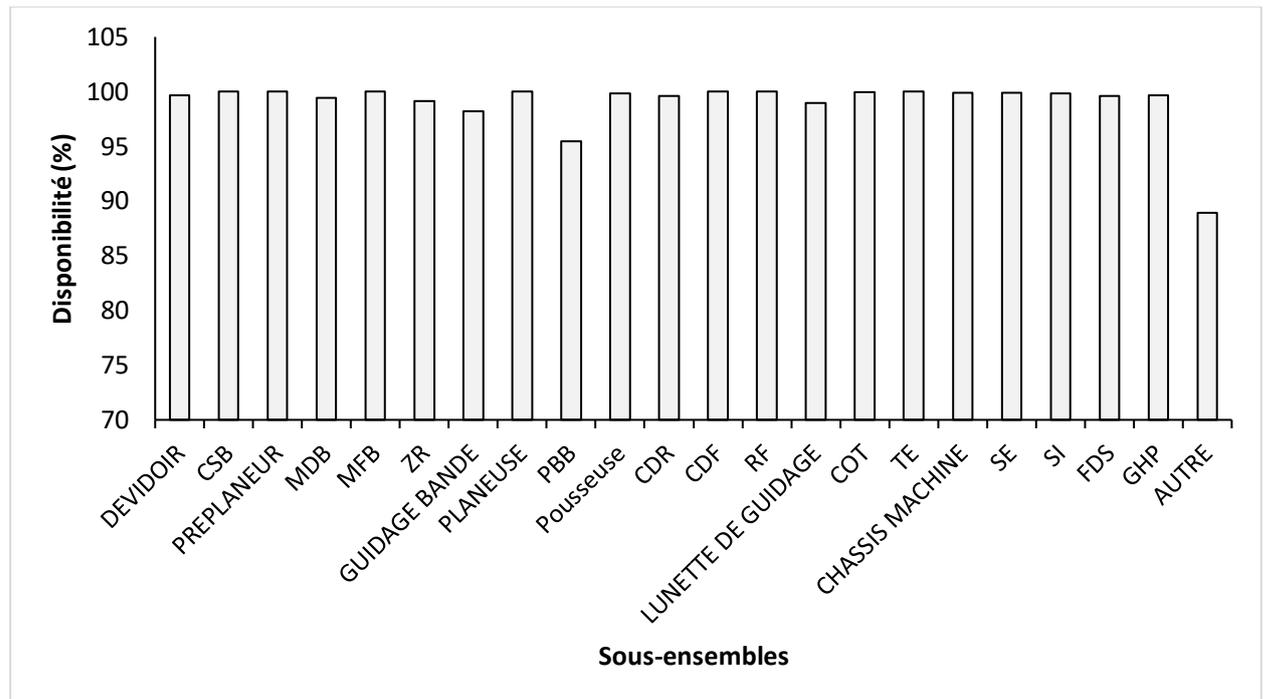


Figure 40 : Histogramme de disponibilité MAS C.

La figure 40 présente la courbe de disponibilité en pourcentage en fonction des sous-ensembles, la préparation bord de bande a une disponibilité inférieure à 96%, lunette de guidage et guidage bande ont une disponibilité inférieure à 99%.

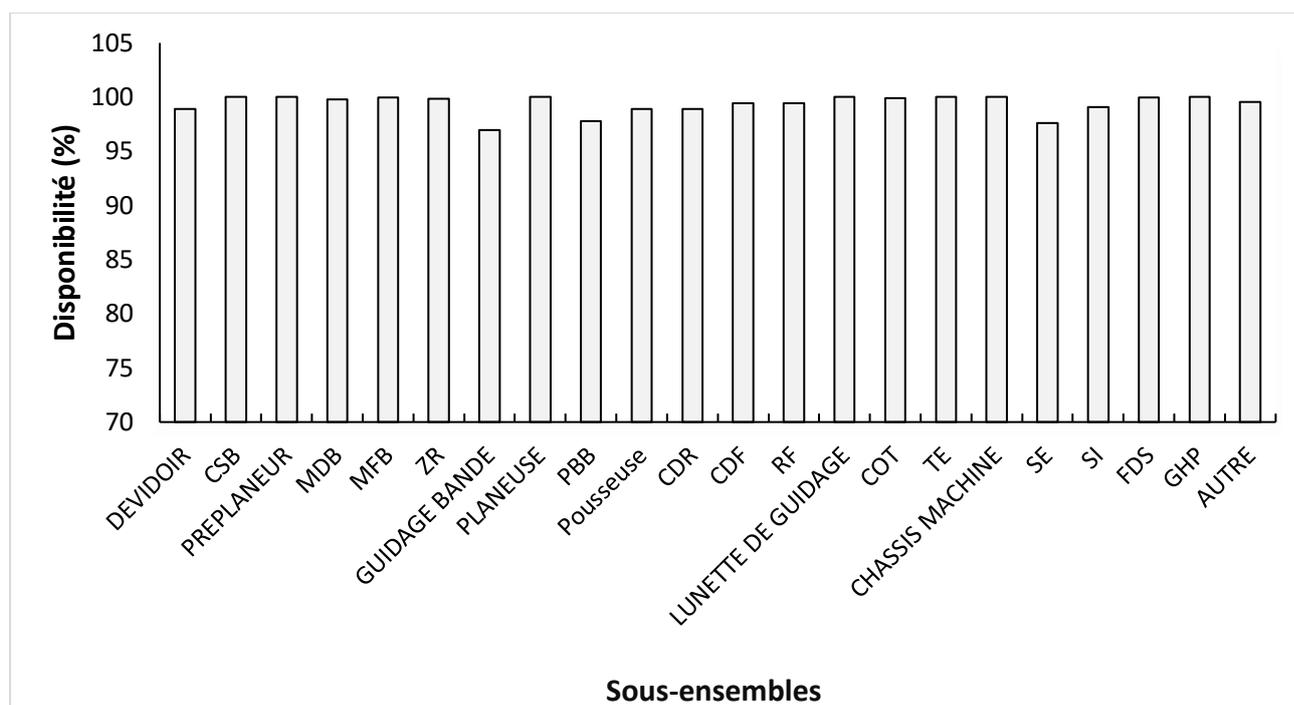


Figure 41 : Histogramme de disponibilité MAS D.

La figure ci-dessus représente la courbe de disponibilité en pourcentage en fonction des sous-ensembles, les éléments tels que guidage bande a une disponibilité faible de 96.97%, guidage bande, soudage extérieur et préparation bord de bande ont une disponibilité inférieure à 98%.

IV.4 Calcul de la disponibilité des machines à souder :

La machine à souder est modélisée sous forme d'un système en série (Figure 41)

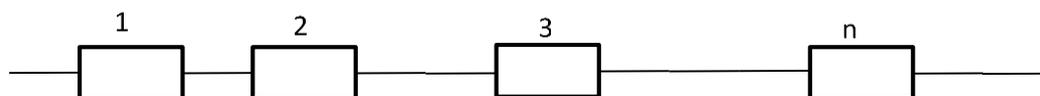


Figure 42 : Diagramme de composition d'un système série.

Donc nous intéresserons qu'à l'équation générale de la disponibilité asymptotique du système série obtenue à partir d'une modélisation par les chaînes de MARKOV [10] :

$$D_{\infty} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{D_i} \right]^{-(n-1)}} \dots\dots\dots(13)$$

Dans ce cas, le nombre de sous-ensemble n est égale à 22

Nous avons également considéré une approximation du calcul de la disponibilité [10]:

$$D_i = D_1 \times D_2 \times D_3 \dots D_n \dots\dots\dots(14)$$

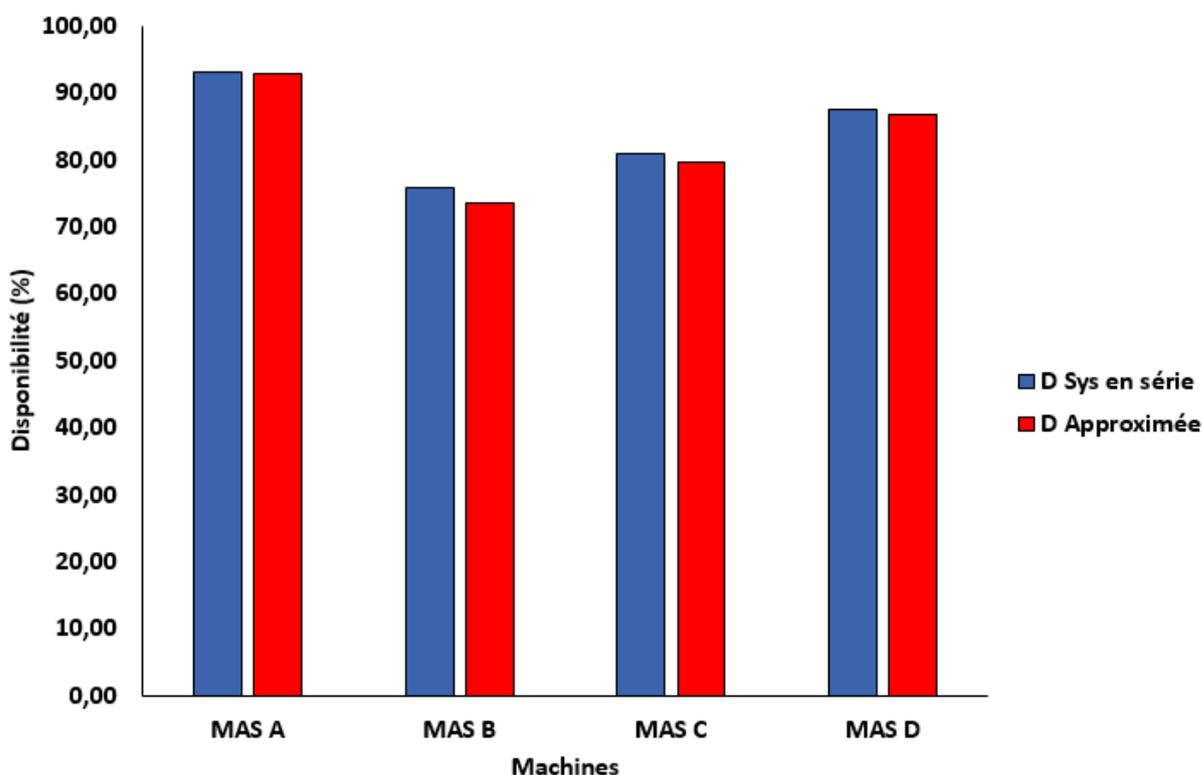


Figure 43 : Disponibilité des machines à souder.

La figure 42 illustre la disponibilité des quatre machines à souder. On constate que les MAS B et C ont une disponibilité plus faible, comparées à celle des MAS A et B. L’objectif serait d’améliorer ces valeurs sans trop affecter les coûts des opérations de la maintenance.

A cet effet, on considèrera uniquement les sous-ensembles indiqués dans le tableau 03 :

Tableau 03 : sous-ensembles considérés.

MAS A	MAS B	MAS C	MAS D
<ul style="list-style-type: none"> - Zone de rabotage. - Le guidage de bande. - La préparation du bord de bande. - Le chariot d'oxycoupage de tube. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pousseuse. - Préparation bord de bande. - Soudage extérieur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Préparation bord de bande. - Lunette de guidage. - Guidage bande. - Autre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Guidage bande. - Préparation bord de bande. - Soudage extérieur.

L'optimisation de la maintenance considérée dans cette étude, passe par une amélioration de la disponibilité des machines dont la disponibilité est relativement plus faible, en l'occurrence la MAS B et la MAS C. Dans ce cas, certaines propositions peuvent être faites :

Mettre en place l'Auto-maintenance :

Envisager l'auto-maintenance pour certaines interventions pour réduit de manière préventive les pannes qui présentent des signes facilement identifiables généralement sans recourir à des moyens de détection. Ces interventions, peuvent être les opérations appartenant au niveau 1 de la maintenance, à savoir, réglages simple prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, eu échange d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc [12].

☑ Adopter une procédure de dépannage :

C'est une opération corrective qui peut s'exécuter sur le sous-ensemble présentant une panne dans le but de le remettre en état de fonctionnement. Il est à souligner que cette action peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coût et de qualité, dans ce cas, elle sera suivie de la réparation. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées et peuvent être nombreuses mais n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation. Le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute inspection ou intervention à l'arrêt [12].

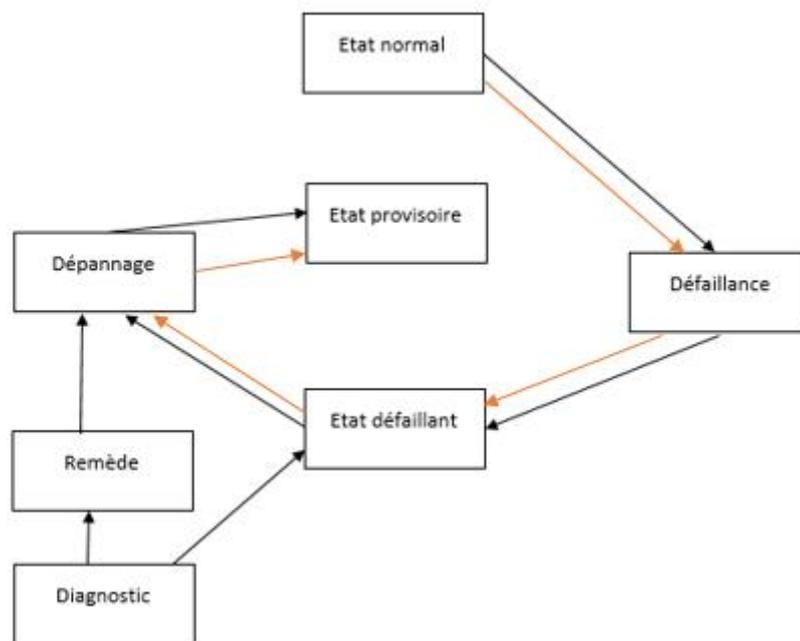


Figure 44 : Diagramme phénomène état action [9].

Conclusion générale :

Le travail de ce mémoire présente une méthodologie visant à améliorer la disponibilité des machines à souder au sein de l'entreprise ALFAPIPE à Annaba. L'objectif est d'optimiser la maintenance relativement au rapport disponibilité/ coût de la maintenance. Nous avons adopté le principe de l'optimisation basée sur la disponibilité, avec un objectif de réduction des temps de maintenance (MTTR).

L'analyse de l'historique des interventions a permis d'identifier les machines B et C présentant un niveau de disponibilité relativement faible, soit respectivement 75% et 80%. Pour remédier à cette situation, nous avons effectué des propositions qui visent les MTTR afin de les réduire et par conséquent améliorer la disponibilité de ces machines.

En mettant en œuvre des mesures appropriées pour réduire les temps de maintenance, nous visons à augmenter la disponibilité globale des machines à souder. Ces efforts contribueront à optimiser les opérations de production et à minimiser les temps d'arrêt non planifiés.

Il est important de souligner que l'amélioration de la disponibilité des machines à souder aura un impact direct sur la production. Nous recommandons fortement de mettre en place l'auto-maintenance à travers des opérations que les opérateurs peuvent effectuer, ou suivre une formation à cet effet pour qu'ils puissent les exécuter à leur niveau.

Aussi, il serait intéressant de mettre en place des procédures dépannage des sous-ensembles par rapport à des pannes spécifiques identifiées dans l'historiques des interventions.

Bibliographie

- [1] : M.Feraga «Etude des singularités géométriques des pipelines, cas du cordon de soudure et de la corrosion» Mémoire de master en Construction mécanique. Université Badji Mokhtar–Annaba 2018
- [2] : <http://www.sonatrach.com>, site officiel.
- [3] : C.Kahoul «Evaluation de la disponibilité par les chaînes de Markov des machines à souder de l'entreprise ALFAPIPE-Annaba» Mémoire de master en Génie industriel. École Supérieur De Technologies Industrielles - ANNABA - 2020
- [4] : F.Nouadria «Etude des effets de la réparation de la soudure sur les propriétés mécaniques des pipelines» Mémoire de master en Génie mécanique. Université Badji Mokhtar–Annaba 2015-2016
- [5] : ALFAPIPE, " Documentation technique, " Alfapipe, Annaba, 2020.
- [6] :ALFAPIPE, " Documentation technique, " Alfapipe, Annaba, 2023.
- [7] : Mourad Nahal « Etudemécano-fiabiliste des pipelines destines aux hydrocarbures », Thèse de doctorat en génie mécanique. Université Badji Mokhtar–Annaba 2016.
- [8] : F. Monchy, J-P. Vernir, maintenance : méthodes et organisations, édition, Paris : Dunod, 2010.
- [9] : P. LYONNET : Optimisation d'une politique de maintenance, édition, Paris : Technique et & documentation –Lavoisier, 1993.
- [10] : P. Lyonnet : La maintenance : Mathématiques et méthodes, édition, Paris : Technique et & documentation –Lavoisier, 1992.
- [11] : ALFAPIPE, " Bilan d'activité maintenance 2017 " Alfapipe, Annaba.
- [12] : S.Bensaada, D.Feliachi : La Maintenance Industrielle, édition
OPU : 07-2002