



Département : Maintenance en instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Génie Industriel

Thème

Elaboration d'un Plan de Maintenance Préventive

Présenté par :

- Hamadene Soufiane **et** - Maatoug Fayssal

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme Ben Djeloul	MAA	Université d'Oran 2	Président
Mme Otsmani	MCA	Université d'Oran 2	Examineur
Mme Ben Aicha	MCB	Université d'Oran 2	Encadreur

Année 2019/2020

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : gestion de la maintenance.....	3
Introduction	3
1.1. Maintenance.....	3
1.1.1. Définition de la maintenance.....	3
1.1.2. Les objectifs de la maintenance.....	4
1.1.2.1. Les objectifs de coût :	4
1.1.2.2. Les objectifs opérationnels	4
1.2 Les différents types maintenance.....	5
1.2.1. Maintenance corrective	5
1.2.1.1. Maintenance curative	8
1.2.1.2. Maintenance palliative	8
1.2.2. Maintenance préventive	8
1.2.2.1. Maintenance systématique	8
1.2.2.2. Maintenance conditionnelle	9
1.2.2.3. Maintenance prévisionnelle	9
1.2.2.4. But de la maintenance préventive	9
1.2.2.5. Les activités de la maintenance préventive.....	11
1.2.2.6. Les prérequis d'un plan de maintenance préventive	12
Chapitre 2: analyse préalable nécessaire à la mise en place d'un plan de maintenance préventive.....	15
Introduction	15
2.1. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	16
2.1.1. Définition AMDEC (AFNOR x 60-510)	16
2.1.1.1. But de l'AMDEC	17
2.1.1.2. Types AMDEC	17
2.1.2. Décomposition fonctionnelle.....	17
2.1.3. Modes de défaillances	18
2.1.4. Causes de défaillance	19
2.1.5. Effet de la défaillance.....	20
2.1.6. Mode de détection	20

2.1.7.1. La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 5 étapes:	21
2.1.7.2. Cotation de la criticité	22
2.2. Diagramme de PARETO	26
2.2.1. Introduction	26
2.2.2. Classification	27
2.2.3. Construction du diagramme	27
Chapitre 3 : étude critique des machines de production	29
Introduction	29
3.1. Problématique et cahier de charge	29
3.2. Démarche et méthodologie	29
3.3. Classification des équipements	30
3.3.1. Analyse selon la fréquence des pannes.....	30
3.3.2. Analyse selon le temps d'intervention.....	33
3.3.3. Analyse selon la moyenne des temps de réparation (MTTR).....	35
3.3.4. Analyse selon note totale de combinaison des critères.....	37
3.4. Fonctionnement des riveteuses semi-automatiques	42
Chapitre 4 : analyse critique de la maintenance de la RVA-02 par AMDEC.....	45
Introduction	45
4.1. Analyse des types de pannes de la riveteuse RVA-02.....	45
4.1.1. Analyse selon le critère fréquence des types de panne.....	46
4.1.2. Analyse selon le critère temps d'arrêt.....	47
4.2. Décomposition fonctionnellement	48
4.3. Diagramme causes/effet	50
4.4. Analyse AMDEC	52
4.3.1 Sous-système : Système pneumatique.....	52
4.3.2 Sous-système : Système mécanique	54
4.3.3. Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC	56
4.5. Analyse PARETO	57
4.6. Plan de la maintenance préventive pour les RVA-02.....	60
Conclusion générale.....	62

Liste des tableaux

Tableau 2.1: exemple des modes de défaillance.....	18
Tableau 2.2: Grille de la Fréquence	22
Tableau 2.3: Grille de la Gravité	23
Tableau 2. 4: Grille de la non-détection	23
Tableau 2. 5 : La criticité	24
Tableau 2.6: le récapitulatif d'une analyse AMDEC	25
Tableau 3.1: Classification des machines selon la fréquence des pannes.....	31
Tableau 3.2: classification des machines selon le temps d'intervention.....	34

Tableau 3.3: Classification des machines selon la moyenne des temps de réparation	36
Tableau 3.4: Combinaison des critères.....	39
Tableau 3.5: Classification des machines selon note totale de combinaison des critères.	40
Tableau 4.1: Classification des types de panne selon le critère fréquence	45
Tableau 4.2: Classification de type de défaillance selon le critère temps d'arrêt.....	47
Tableau 4.3: Décomposition fonctionnelle de la machine RVA-02	49
Tableau 4.4:AMDEC Système pneumatique.....	53
Tableau 4.5: AMDEC système mécanique.....	55
Tableau 4.6: classification des éléments par rapport leur criticité.....	57
Tableau 4.7: classification des éléments par rapport leur criticité.....	59
Tableau 4.8:Plan de la maintenance préventive pour les RVA-02.....	61

Liste des figures

Figure 1.1: Schématisation des objectifs de la maintenance.	6
Figure 1.2: types de maintenance	7
Figure 2.1: étape d'une analyse de type AMDEC	16
Figure 2.2: Cause de défaillance	19
Figure 2.3: Analyse AMDEC, Schéma de principe	20
Figure 2.4: le principe des 80/20.....	26
Figure 2.5: exemple sur diagramme PARETO	28

Figure 3.1: Classification des équipements selon la fréquence des pannes	32
Figure 3.2: Classification des équipements selon le temps d'intervention	34
Figure 3.3: Classification des machines selon la moyenne des temps de réparation	37
Figure 3.4: Classification des machines selon note totale de combinaison des critères	Error! Bookmark not defined.1
Figure 3.5: RVA-02(cap140)	44
Figure 4.1: Classification des types de panne selon le critère fréquence	46
Figure 4.2: Classification de type de défaillance selon le critère temps d'arrêt	47
Figure 4.3: Diagramme cause- effet du système pneumatique.....	Error! Bookmark not defined.0
Figure 4.4: Diagramme cause- effet du système mécanique	51
Figure 4.5: classification des éléments selon leur criticité.....	58
Figure 4.6: classification des éléments par rapport leur criticité.....	59

Liste des abréviations

GMAO : gestion de maintenance assistée par ordinateur

TA : temps d'arrêt

FR : fréquence

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

NT: not totale

C: contrôle

S : changement de la pièce

MTTR : Mean Time To Repair

Remerciements

Nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.

Je tiens avant tout à exprimer nos reconnaissances à Mme Benaïcha pour avoir accepté de nous encadrer dans cette étude. Nous la remercions pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail au sein du jury de soutenance.

Nos remerciements vont également à nos enseignants pour nous avoir transmis leur savoir et leur passion tout au long de ces années.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus à élaborer et réaliser ce mémoire.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis pour leur soutien moral.



Grace à Dieu le tout puissant, nous avons achevé ce modeste travail que nous tenons très chaleureusement à le dédier à :

- ✓ Nos mères chéries et nos pères qui nous ont encouragés et soutenus tout au long de nos études et pour leurs patiences que Dieu les protègent et les gardes pour moi.
- ✓ A nos adorables frères et sœurs.
- ✓ Et à nos très chers amis et camarades pour tous les moments d'échange et de débat ainsi qu'aux personnes qui nous ont toujours aidés

Maatoug Fayssal
Hamadene Soufiane

Introduction Générale

Dans un contexte économique en constante évolution, la concurrence oblige l'industriel à améliorer le rendement de ses installations de production pour répondre aux besoins de ses clients. De par son action directe sur les équipements de production, la maintenance est devenue un levier de performance incontournable qui conditionne les résultats d'une organisation. Même si les coûts des actions de maintenance ne sont pas négligeables, ceux liés aux arrêts de production ont un impact encore plus fort sur la production, les produits ou services proposés par l'entreprise et donc sur les clients. La mise en place d'un plan de maintenance préventive permet d'optimiser les opérations de maintenance et surtout de les effectuer au bon moment, l'objectif final étant d'assurer la qualité du produit et d'améliorer le taux de disponibilité des équipements pour augmenter la productivité.

Pour satisfaire la demande en qualité et en quantité, tout en respectant les délais de livraison et les coûts, l'entreprise doit disposer d'un outil de production fiable, et donc d'une stratégie de maintenance adaptée. A chaque instant de l'exploitation du système, le gestionnaire de maintenance doit faire un choix entre le préventif et le correctif sur le système afin de déterminer la meilleure action à effectuer. Ce choix doit permettre de satisfaire aux mieux les objectifs fixés a priori et permettre ainsi une exploitation optimale du système. Cependant, ces objectifs peuvent être multiples et ne conduisent pas toujours à une unique façon de procéder : une volonté de sécuriser le système exige une fréquence de maintenance préventive élevée alors que d'un point de vue économique, il peut être intéressant de ne pas trop intervenir pour ne pas ralentir la production. Il est donc nécessaire de trouver le bon équilibre entre maintenance préventive et maintenance corrective.

Puisque le stage n'a pas eu lieu, Pour réaliser ce projet de fin d'étude, nous avons exploité des données de retours d'expérience liées aux pannes de plusieurs machines. Après classification de ses équipements selon leurs nombres de pannes constatées. Il ressort clairement que la riveteuse de référence RVA-02 est le système critique qui nécessite une attention particulière.

Le manuscrit est subdivisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous abordons des généralités sur la maintenance
- Le deuxième chapitre est une présentation de l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leur Criticité) et PARETO
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude Critique des machines de production
- Le quatrième chapitre est consacré à une Analyse critique de la maintenance de la RVA-02 par AMDEC

Finalement, nous terminons par une conclusion générale

Introduction

L'objectif de la maintenance est de tout mettre en œuvre pour maintenir le système de production en état de fonctionnement en évitant, autant que possible, les pannes et en agissant rapidement lorsqu'elles surviennent pour minimiser les arrêts et pour augmenter la disponibilité du matériel. La maintenance a beaucoup évolué depuis le début de l'ère industrielle. Cette évolution est liée à l'émergence successive de nouvelles technologies induisant la mise en place de différents types et politiques de maintenance vu la transformation des caractéristiques des équipements.

Ce chapitre vise à présenter les généralités de la maintenance, cela comprend quelques notions de base, les méthodes stratégiques et les objectifs compris dans ce domaine.

- **1.1. Maintenance**

- ❖ **1.1.1. Définition de la maintenance :**

D'après la norme FD X 60-000 (Association Française de Normalisation : (AFNOR), la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Cette définition AFNOR peut être complétée par le document d'introduction à la maintenance qui précise : « Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal ».

Notons que les actions de maintenance ne sont pas seulement techniques : l'action technique est encadrée, pilotée par des actions de gestion (économie et administration) et de management, ce qui implique une large polyvalence.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- * Maintenir : contient la notion de « surveillance » et « prévention » sur bien en fonctionnement normal.
- * Rétablir : contient la notion de « correction » consécutive à une perte de fonction.
- * État spécifié ou service déterminé : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.
- * Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique. [1]

❖ **1.1.2. Les objectifs de la maintenance :**

Les objectifs de la maintenance (figure 1.1) sont nombreux :

✓ **Les objectifs de coût :**

- 1 - Minimiser les dépenses de maintenance.
- 2- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
- 3- Prévoir les dépenses de maintenance en se rapportant au service exigé, au taux d'utilisation et l'âge des installations.
- 4- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépenses imprévues. [2]

✓ **Les objectifs opérationnels :**

- 1- Maintenir le bien durable.
 - Dans un état acceptable.

- Dans de meilleures conditions
- 2- Assurer la disponibilité maximale des installations à un coût raisonnable.
 - 3- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
 - 4 - Maximiser la durée de vie du bien.
 - 5 -Remplacer le bien à des périodes prédéterminées.
 - 6 - Assurer les performances de haute qualité.
 - 7 - Assurer un fonctionnement sûr et efficace.
 - 8- Obtenir un rendement maximum pendant les prochaines années.
 - 9- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue. [2]

▪ 1.2 Les différents types de maintenance :

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et la caractéristique des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les Conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production. Il existe différents types de maintenance (figure 1.2).

❖ 1.2.1. Maintenance corrective :

La maintenance corrective (ou accidentelle) a pour objectif de rétablir le système après une défaillance (perte de fonction) de manière à ce qu'il soit capable de fournir à nouveau ses fonctions. On peut distinguer deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative. [3]

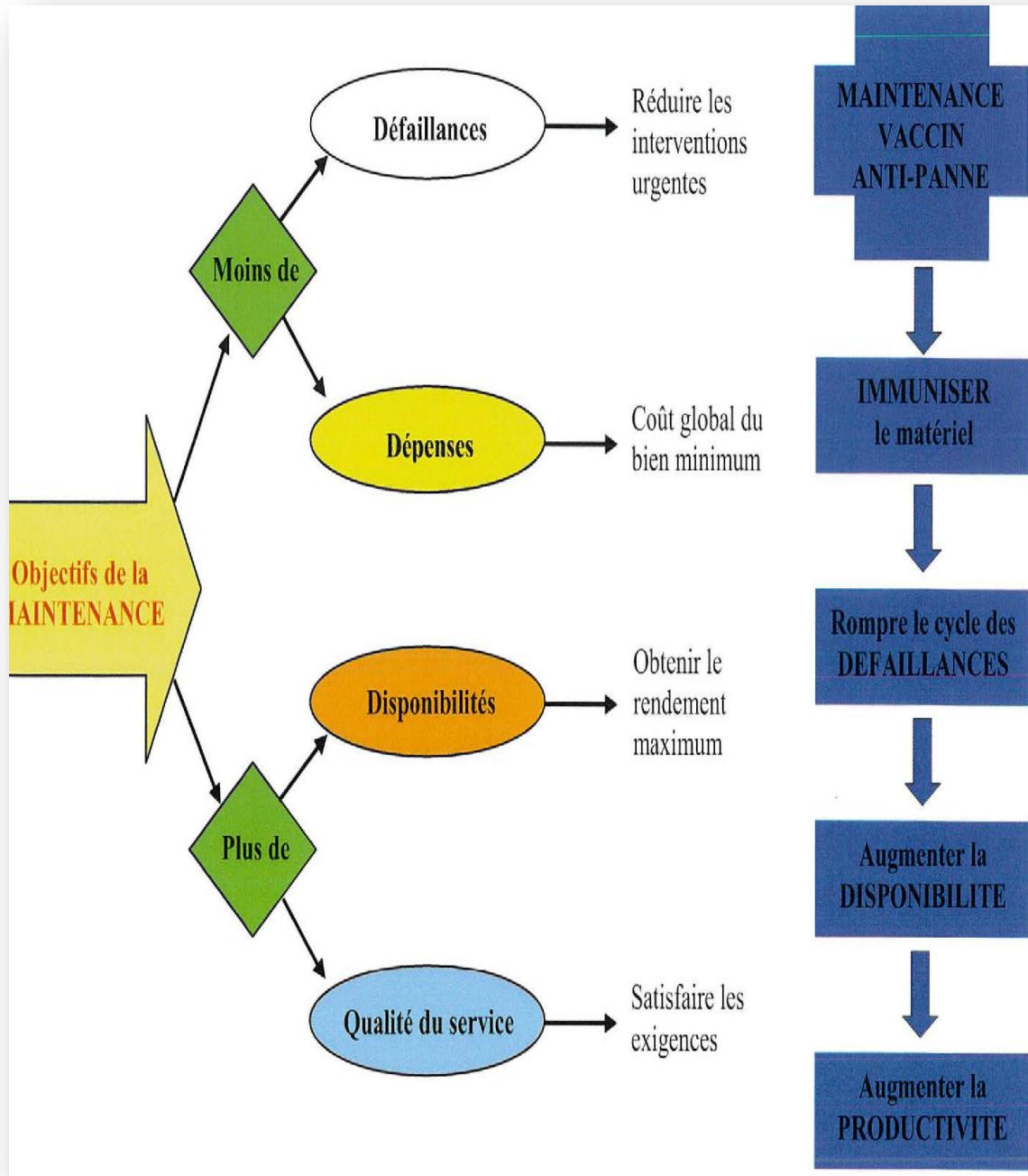


Figure 1.1 : Schématisation des objectifs de la maintenance. [12]

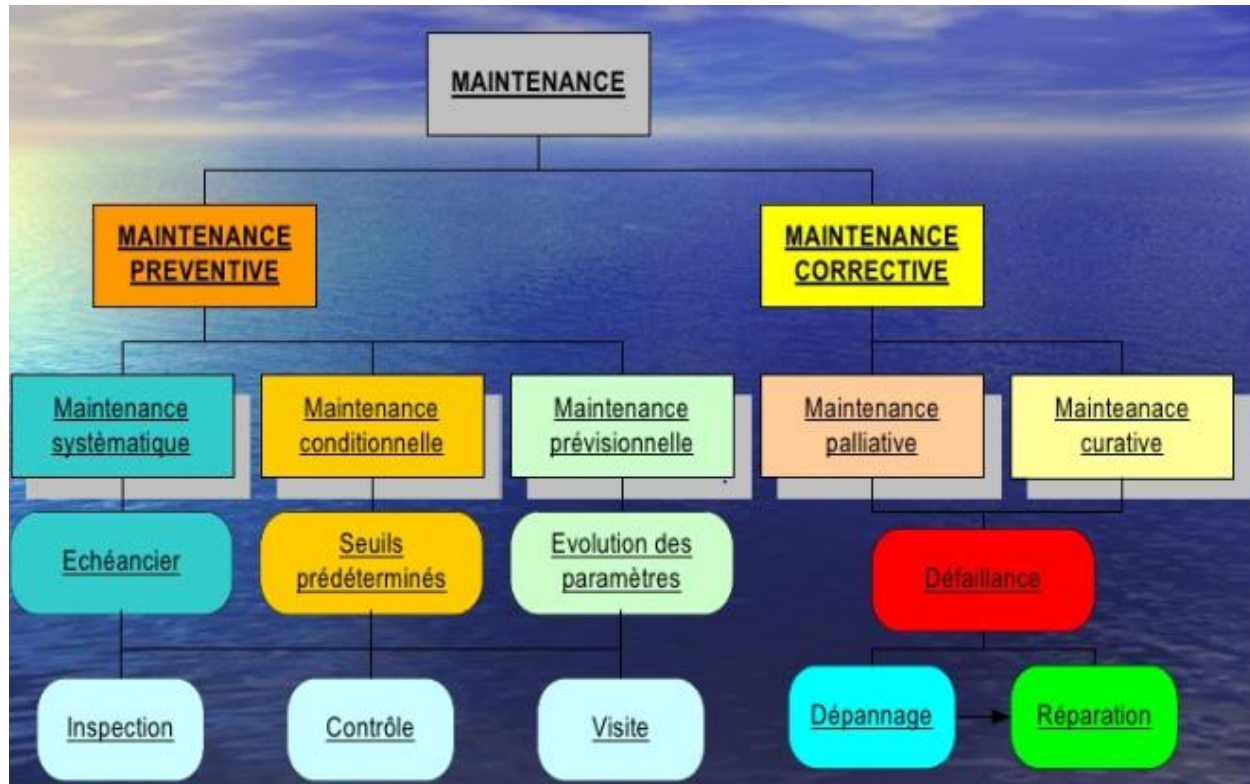


Figure 1.2 : types de maintenance [11]

➤ 1.2.1.1. Maintenance curative :

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable. Les équipements réparés doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage. Elle provoque donc une indisponibilité du système. [3]

➤ **1.2.1.2. Maintenance palliative :**

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonction requise Les opérations de dépannage sont souvent de courte durée et peuvent être nombreuses. Parce qu'elles ont lieu souvent, elles sont également très coûteuses. [3]

❖ **1.2.2. Maintenance préventive :**

L'AFNOR définit la maintenance préventive comme « maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ». [4]
La maintenance préventive peut être systématique, conditionnelle, ou prévisionnelle.

❖ **1.2.2.1. Maintenance systématique :**

L'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé à priori. Aucune intervention n'a lieu avant l'échéance prédéterminée. [5]

L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites. [1]

➤ **1.2.2.2. Maintenance conditionnelle :**

C'est une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (Auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure,...)
Cette méthode se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons

décider d'une intervention lorsque un certain mais les contrôle demeurent systématique. [6]

➤ **1.2.2.3. Maintenance prévisionnelle :**

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte un âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection. Cependant, la maintenance systématique est coûteuse car l'usure des pièces dépend beaucoup des conditions de fonctionnement. Elle risque donc d'intervenir trop tôt ou trop tard [7]

➤ **1.2.2.4. But de la maintenance préventive :**

- Améliorer la fiabilité du matériel :

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances. [8]

- Garantir la qualité des produits :

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés .le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement .la qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts. [8]

- Améliorer l'ordonnancement des travaux :

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production .Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu' il a reçu un bon de travail pour l' intervention .une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production . [8]

- Assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning .elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires. [8]

- Améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive est planifiable .Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks .On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu. [8]

- Améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension .Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraine l'immobilisation de la machine pendant longtemps .La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

-La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes

-la fiabilité : amélioration et connaissance du matérielle.

-la production : moins de panne en production. [8]

➤ **1.2.2.5. Les activités de la maintenance préventive :**

- Inspection :
Action de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. [9]
- Contrôle :
-consiste à mesurer, examiner, passer au calibre.
-vérification de la conformité de caractéristiques du bien. [9]
- Vérification :
Action permettant de constater que les écarts entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure et les valeurs de référence connues sont inférieures aux erreurs maximales tolérées. [9]
- Visite :
Action de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différentes pièces du bien. [9]
- Rénovation :
Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et des sous-ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes.
La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict sa définition. [9]
- Reconstruction :
-Remise en l'état par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement des pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes.
- La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modification. [9]

- Modernisation :
Remplacement d'équipements, accessoires et appareils, ou éventuellement de logiciels apportant une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. [9]
- Echange standard :
Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis-en état conformément aux spécifications du constructeur. [9]
- Modification :
Opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement. [9]

➤ **1.2.2.6. Les prérequis d'un plan de maintenance préventive :**

La maintenance préventive s'attache à anticiper les dysfonctionnements et engager un plan d'action avant qu'ils ne surviennent .mais un plan de maintenance préventive ne s'improvise pas: le respect de plusieurs principes est indispensable à son efficacité. [10]

- D'abord, préciser le ou les périmètres d'intervention, en particulier par distinguer les systèmes et les sous-systèmes concernés.
pour cela, trois approches sont à privilégier .pour commencer ,s'intéresser aux dispositions réglementaires qui précisent les contrôle périodiques qu'il y a lieu de mener sur certains matériels ou infrastructures .on en déduit une liste de cibles obligatoirement concernées .ensuite,il faut étudier ce que préconise le constructeur des matériels en matière de maintenance, surtout si le non-respect des opérations de maintenance conditionne l'application de la garantie du constructeur. Enfin, de manière plus concrète, on peut étudier le comportement passé des matériels, à la fois sur le plan technique mais également par des retours d'expérience de leurs utilisateurs. Ces derniers, en contact quotidien avec les matériels, sont en effet très

utiles pour repérer les comportements anormaux annonciateurs de dysfonctionnements plus sérieux. [10]

L'une des approches les plus courantes est l'AMDEC, ou analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités. Cette méthode sert à déterminer les points faibles d'un équipement. On peut également recourir à une approche de type MBF (maintenance basée sur la fiabilité) qui permet de construire un plan de maintenance à parti des conséquences des défaillances potentielles. [10]

- Lorsque le périmètre est bien défini, la seconde phase va consister à sélectionner les différents types de maintenance qui vont s'appliquer. On distingue généralement trois différents types de maintenance : systématique, conditionnelle et prévisionnelle. La première équivaut à déterminer un plan de maintenance régulier, avec un remplacement de pièces selon un échéancier basé sur leur durée de vie prévisible. La seconde repose sur la surveillance des équipements et observation de certains paramètres qui s'ils atteignent une certaine valeur, déclenche une opération. La troisième que l'on peut également appeler « maintenance prédictive » est définie par l'AFNOR comme « exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation d'un bien » pour chaque équipement, on peut ainsi définir les opérations de maintenance qui s'appliquent, en particulier les type d'actions (remplacement systématique ou suivi conditionnel), les différents paramètres de suivi, la périodicité de remplacement ou de surveillance, les valeurs de référence et les seuils d'alarme, les type d'intervenants (simple technicien ou expert), les moyens matériels à mettre en œuvre ou encore les procédures de remplacement et de surveillance. [10]
- Il reste à assurer les conditions d'efficacité du plan de maintenance préventive. Pour cela trois grandes conditions doivent être présentes. D'abord, les éléments techniques et de surveillance. On imagine mal en effet, mener à bien des opérations de maintenance préventive si l'on ne dispose d'aucun dossier technique du constructeur, de peu de moyens de surveillance (par exemple des analyseurs de vibrations, des capteurs, des caméras, des dispositifs de mesure....)

De même, il importe que la communication entre différentes parties prenantes soit suffisamment fluide, notamment entre le technicien et les experts chargés des opérations de maintenance, le management d'entreprise, les équipes du constructeur et, éventuellement, les sociétés de services et d'intégration.

Enfin, un contexte organisationnel favorable est fondamental. Chaque plan de maintenance doit toujours être à jour, et l'organisation de l'entreprise, comprenant des procédures précises et un degré de formalisme suffisant, doit en faciliter l'exécution. Pour ce faire, l'adhésion de l'ensemble des équipes à l'outil de GMAO utilisé est cruciale. Se doter d'un outil intuitif et aussi simple d'utilisation que les applications de la vie courante peuvent considérablement aider à emporter cette adhésion et à favoriser la pleine implication des équipes. [10]

- Quelques bonnes pratiques de la maintenance préventive :
 - ❖ définir les opérations de maintenance systématique : périodicité à appliquer, moyens matériels et humaines à mettre en œuvre, processus opératoire à privilégier, chronologie à respecter, mesures de préventifs utiles
 - ❖ définir les opérations de maintenance conditionnelle et prévisionnelle : paramètres les plus pertinents, seuils d'alarme les plus significatifs, points de collecte les plus efficace, mode d'acquisition des données le mieux adapté, périodicité à retenir, circuit de collecte le plus efficient
 - ❖ élaborer un dossier de maintenance préventive regroupant l'ensemble des informations des plans d'actions et des interventions effectuées.
 - ❖ Intégrer le plan maintenance préventive dans un outil de GMAO (gestion de maintenance assistée par ordinateur)
 - ❖ Déterminer la charge de travail optimale. [10]

Introduction

Le souci permanent des responsables de maintenance est de fournir, à leurs clients internes, des heures de bon fonctionnement de l'outil de production. Passé le constat de l'écart de performance (non-disponibilité, non-qualité), le responsable de maintenance doit envisager des actions visant à éradiquer les dysfonctionnements. L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leur Criticité) est un outil méthodologique permettant l'analyse systématique des dysfonctionnements potentiels d'un produit, d'un procédé ou d'une installation. Cette démarche offre un cadre de travail rigoureux en groupe associant les compétences et les expériences de l'ensemble des acteurs concernés par l'amélioration de performance de l'entreprise. L'AMDEC permet de mobiliser les ressources de l'entreprise autour d'une préoccupation commune à tous : l'amélioration de la disponibilité de l'outil de production. La méthode AMDEC a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil ; domaine aéronautique, spatial ; grands travaux), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production. L'utilisation de l'AMDEC peut paraître fastidieuse ; cependant, les gains qu'elle, permet de réaliser sont très souvent bien plus importants que les efforts de mise en œuvre qu'elle suggère. La mise en œuvre de l'AMDEC offre une garantie supplémentaire pour l'entreprise industrielle, de l'amélioration de ses performances. Son utilisation

très tôt en phase de conception (du produit, du procédé ou de l'outil de production) révèle la volonté de l'entreprise d'anticiper les problèmes potentiels plutôt que d'en subir les conséquences à terme.

- **2.1. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)**

- ❖ **2.1.1. Définition AMDEC(AFNOR x 60-510) :**

Selon la définition AFNOR,(Association Française de Normalisation), AMDEC (l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.

Il s'agit d'une analyse critique qui se déroule en six étapes (figure 2.1). Cette analyse a pour objectif d'identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis à en rechercher les origines et leurs conséquences.

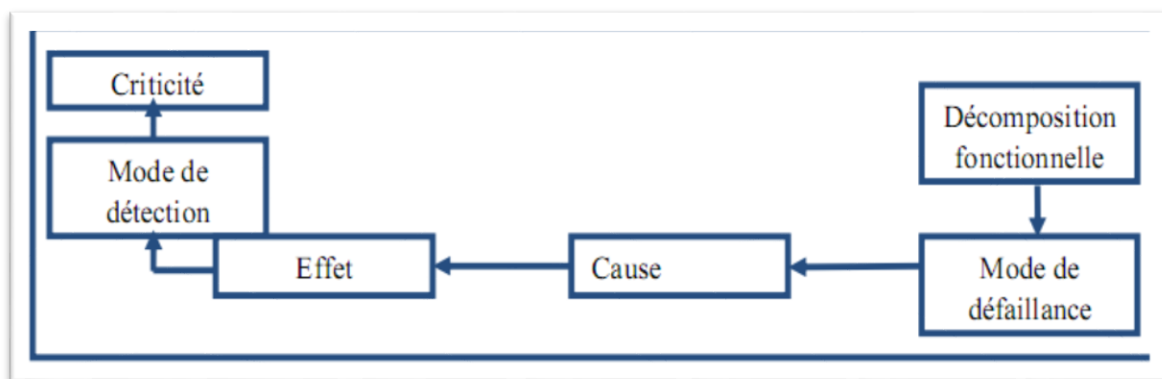


Figure 2.1 : Les étapes de la méthodologie AMDEC [25]

➤ 2.1.1.1. But de l'AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous secteurs d'activité de l'organisation, pour obtenir dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif, les résultats suivants. [20]

- La satisfaction du client,
- La réduction des coûts
- L'optimisation des contrôles
- Définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances
- Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance.

➤ 2.1.1.2. Types AMDEC

Il existe trois principaux types d'AMDEC :

- **AMDEC produit** : elle sert à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception. [21]
- **AMDEC processus** : s'applique à des processus de fabrication.. elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielle d'un produit engendrées par son processus. [14]
- **AMDEC moyen de production** : analyse de la conception et/ou de l'exploitation d'un moyen ou équipement de production pour améliorer sa disponibilité et sa sécurité (réalisé lors de l'industrialisation) [26]

❖ 2.1.2. Décomposition fonctionnelle

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer. C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître la fonction de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. [25]

❖ 2.1.3. Modes de défaillances

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire l'altération ou l'cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. [18]

- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- Perte de fonction : la fonction cesse de se réaliser
- Fonctionnement dégradé la fonction ne se réalise pas parfaitement (altération des performances).
- Fonctionnement intempestif : la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée

Le tableau (2.1) illustre par des exemples les différents modes de défaillances que ce soit pour des composants électriques, hydrauliques ou mécaniques.

	ELECTRIQUE	HYDRAULIQUE	MECANIQUE
PAS DE FONCTION	circuit ouvert, court circuit, pas de réponse à la sollicitation, connexions / fils desserrés	Fuite, circuit bouché	absence de jeu
PERTE DE FONCTION	coupure ou court circuit, composant défectueux	obstruction ou coupure circuit, composant défectueux	Rupture, blocage / grippage
FONCTION DEGRADEE	Dérive des caractéristiques, perturbations, parasites	mauvaise étanchéité, usure perturbations, coup de bélier	mauvaise portée, désolidarisation, jeu
FONCTION INTEMPESTIVE	déclenchement intempestif	coup de bélier	

Tableau 2.1 : Exemple des modes de défaillance. [17]

❖ 2.1.4. Causes de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance. On peut donc distinguer les différentes causes sur (figure 2.2). [19]

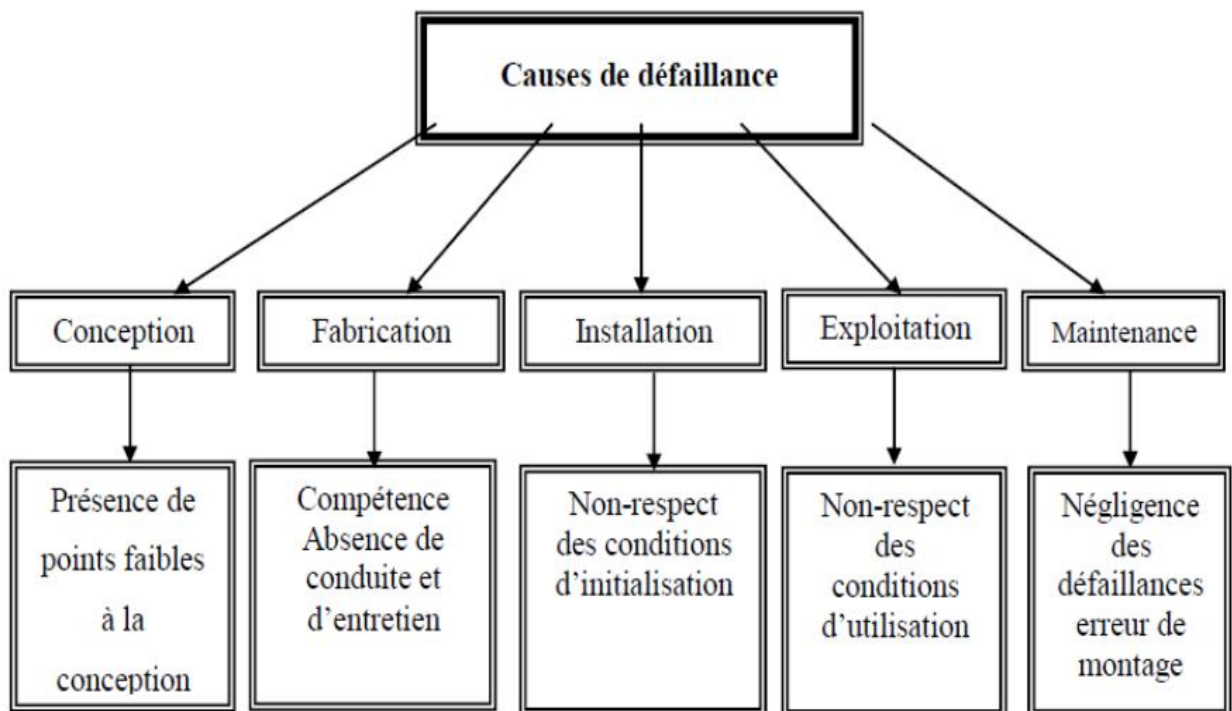


Figure 2.2 : Cause de défaillance [15]

❖ **2.1.5. Effet de la défaillance**

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple (mode-cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l'utilisateur [19].

❖ **2.1.6. Mode de détection**

Le mode détection est la manière par laquelle un utilisateur est susceptible de détecter la présence d'une défaillance

Exemple : détection visuelle, élévation de température, odeurs, bruits [22]

❖ **2.1.7. Réalisation d'une AMDEC**

➤ **2.1.7.1. La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 5 étapes:**



Figure 2.3 : Analyse AMDEC, Schéma de principe [16]

Etape 1

- Initialisation de l'étude ?
- Quel système étudier ?
- Quels objectifs atteindre ?
- Constituer le groupe de travail établir le planning des réunions,
- Définir les supports de travail (grilles tableau de saisie),

Etape 2

- Décomposition fonctionnelle de la démarche,
- Découpage arborescent du système,

Etape 3

- Analyse AMDEC du système.
- Réalisation d'une étude rationnelle des modes de défaillance potentiels, des causes et des effets.

Etape 4

- Valorisation des défaillances potentielles et Etude de la criticité,
- Etude de la criticité en tenant compte de la gravité, de la fréquence et de la capacité de détection
- Proposition d'action corrective (réduction des effets par la maintenance préventive, détection préventive, maintenance améliorative, calcul de la nouvelle criticité après action).

Etape 5

- Hiérarchisation des défaillances (liste des pannes résumées, défaillances des causes communes, classement par catégories, symptômes observable...),

- Liste des points critiques et plan de maintenance éventuelle. [13]

➤ **2.1.7.2. Cotation de la criticité**

- Méthode Gravité, Fréquence et Détection (GFD) de cotation de la criticité :

✓ La fréquence

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire.

Fréquence F : Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance.	
1	Exceptionnelle : la possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante.
2	Rare : une défaillance occasionnelle s'est déjà produite ou pourrait se produire.
3	Certaine : il ya eu traditionnellement des défaillances dans le passé.
4	Très fréquente: il est presque certain que la défaillance se produira souvent.

Tableau 2.2 :Grille de la Fréquence [14]

✓ La gravité

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité).

Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet.

Gravité G : impact des défaillances sur le produit ou L'outil de production	
1	Sans dommage : défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production, et aucune dégradation notable du matériel.

2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de production, et nécessitant une petite intervention.
3	Important : défaillance provoquant un arrêt significatif, et nécessitant une intervention importante.
4	Catastrophique : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes grave.

Tableau 2.3 : Grille de la Gravité [14]

✓ La non-détection

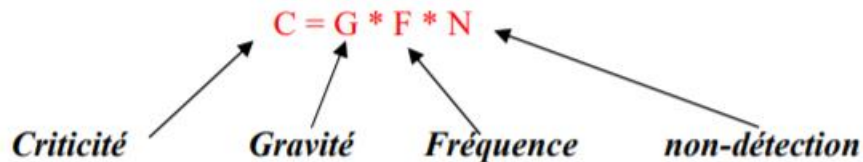
Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème.

Non détection D : probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance	
1	Signes avant-coureurs : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance
2	Peu de signe : la défaillance est décelable avec une certaine recherche.
3	Aucun signe : la recherche de la défaillance n'est pas facile.
4	Expertise nécessaire : la défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie.

Tableau 2.4 : Grille de la non-détection [14]

✓ La criticité

Il suffit de multiplier les trois cotations précédemment attribuées pour obtenir la détermination de priorité.



Cette étape reste la partie majeure du travail d'AMDEC. Les cotations relevées peuvent aller de 1 à 64. Les chiffres obtenus en soit ne sont pas importants, ils permettent de regrouper les défaillances en catégorie en fonction de leur degré d'acceptabilité. La seule information pertinente est l'ordre donné pour aider à déterminer les priorités d'action. Le tableau ci-dessous représente l'échelle de criticité. [14]

Criticité ©	Remarque
$C < 16$	Ne pas tenir compte.
$16 \leq C < 32$	Mise sous préventive à fréquence faible.
$32 \leq C < 36$	Mise sous préventive à fréquence élevée.
$36 \leq C < 48$	Recherche d'amélioration.
$48 \leq C < 64$	Reprendre la conception.

Tableau 2.5 :La criticité [14]

Le tableau suivant représente le récapitulatif d'une analyse AMDEC

ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE			
Système : Riveteuse automatique. Sous-système : Système électrique.				Phase de fonctionnement : Machine normale		Date de l'analyse : 28/05/2013				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Moteur	Entrainer la poulie	Pas de rotation	Manque d'alimentation	L'arrêt de la machine	Visuel	2	2	1	4	-Vérification du système d'alimentation
			Bobine grée			1	1	4	4	-Montage du moteur en réserve -envoyer le moteur grée en bobinage
		Rotation inverse	Erreur de câblage	L'arrêt de la machine		1	1	3	3	-Inversion des câbles
		Faible rotation	Ecaillage des roulements	Cycle ralenti		1	1	4	4	-Démontage du moteur -A cheter des roulements en stock

Tableau 2.6 : le récapitulatif d'une analyse AMDEC [14]

▪ 2.2. Diagramme de PARETO

❖ 2.2.1. Introduction

L'outil « Pareto » a pour but de sélectionner, dans une population, les sujets les plus représentatifs en regard d'un critère mesurable. Généralement cette sélection sera effectuée pour simplifier l'étude d'un problème en ne retenant que les éléments les plus significatifs. Afin d'améliorer la disponibilité technique, il est naturel de se focaliser sur les pannes de la machine les plus pénalisantes en terme d'arrêt. Ceci réduira considérablement le champ d'investigation tout en garantissant l'atteinte des performances. Pour cela on va mener une analyse PARETO. L'analyse de Pareto ou méthode des 20/80, ou méthode ABC permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent. En effet, on construit un tableau classifiant les pannes selon un critère bien choisi. [28]



Figure 2.4: le principe des 80/20 [24]

❖ **2.2.2. Classification**

A partir de l'analyse PARETO on détermine les classes des pannes comme suit :

- Classe A: 20% des causes responsables de 80% de l'effet.
- Classe B: 30% des causes responsables de 15% de l'effet.
- Classe C: 50% des causes responsables de 5% de l'effet.[26]

❖ **2.2.3. Construction du diagramme :**

A partir des données recueillies, on définit les catégories, puis :

- On répartit les données dans les catégories
- Les catégories sont classées dans l'ordre décroissant, (tri dans Excel par exemple)
- Faire le total des données
- Calculer les pourcentages pour chaque catégorie
- Calculer le pourcentage cumulé
- Déterminer une échelle adaptée pour tracer le graphique
- Placer les colonnes (les barres) sur le graphique, en commençant par la plus grande à gauche
- Lorsque les barres y sont toutes, tracer la courbe des pourcentages cumulés. [27]

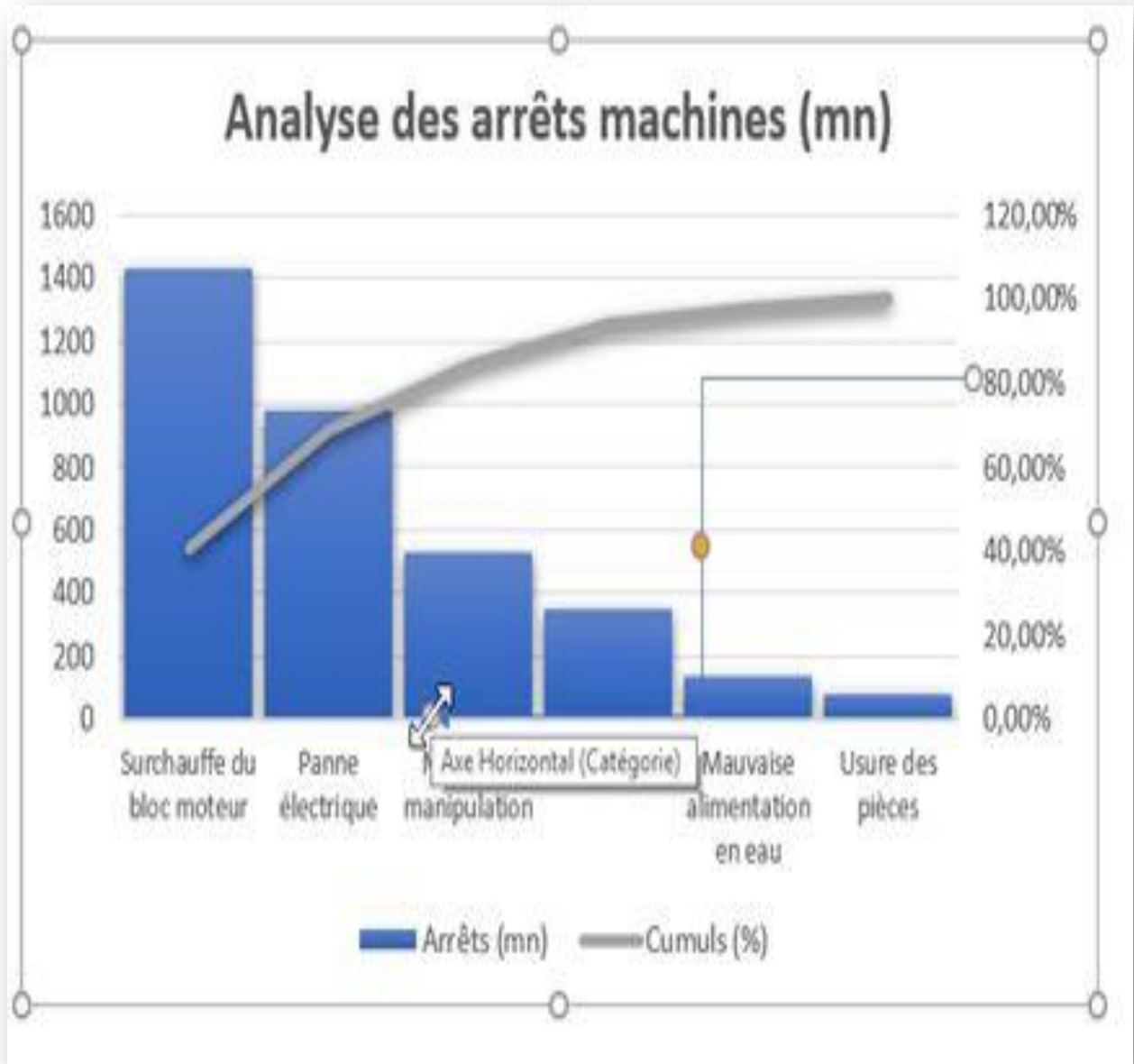


Figure 2.5 : Illustration du diagramme de Pareto [23]

Introduction

Puisque le stage n'a pas eu lieu, nous avons exploité des données de retours d'expérience liées aux pannes de plusieurs machines de différents mémoires.

Pour déterminer les goulots d'étranglement de la disponibilité de ces machines nous avons choisis une méthode simple de visualisation, qui est la méthode de Pareto. Cette dernière, nous permettra de classer ses machines selon

- La fréquence des pannes,
- Le temps d'arrêt et des interventions sur les machines
- la moyenne des temps de réparation,
- La note totale de combinaison des critères

▪ 3.1. Analyse des données de retours d'expériences

L'historique de pannes constitue le socle de notre étude, des données de bases que nous tenterons d'exploiter de telle sorte, à en tirer le plus d'informations de qualité possible.

▪ 3.2. Démarche et méthodologie

Une étude pertinente est effectuée afin de déterminer les équipements les plus assujettis aux arrêts enregistrés mais également de dégager les types de pannes significatifs, source des problèmes. Pour y parvenir, nous avons utilisé le Diagramme Pareto

▪ 3.3. Classification des équipements

L'étude commence ici par un classement des machines par ordre de priorité dans le contexte de suivi de la maintenance. Pour y parvenir, divers critères ont été adoptés, tels que :

- La fréquence des pannes
- Le temps d'arrêt et des interventions sur les machines
- la moyenne des temps de réparation.
- note totale de combinaison des critères

❖ 3.3.1. Analyse selon la fréquence des pannes

Le classement des machines est basé sur la fréquence d'apparition des pannes ainsi que leurs cumuls et leurs pourcentages. Ceci, nous permettra, d'obtenir une idée sur la fiabilité des équipements. (Tableau 3.1). Ces données seront par la suite représentées par le diagramme de Pareto (Figure 3.1).

code de la machine	Fréquence (Fr)/an	Cumul(Fr/an)	%Fr. Cumul
RVA-02	47	47	16,21%
RVA-01	39	86	29,66%
SBB-01	29	115	39,66%
RVA-03	25	140	48,28%

MEM-01	23	163	56 ,21%
DET-05	20	183	63 ,10%
MEM-02	20	203	70 ,00%
PH-01	15	218	75 ,17%
PRM-09	11	229	78 ,97%
RVA-04	11	240	82 ,76%
DET-01	10	250	86 ,21%
PRM-01	10	260	89 ,66%
PRM-02	10	270	93 ,10%
PRM-10	8	278	95 ,86%
PRH-05	7	285	98 ,28%
PRH-09	5	290	100,00%

Tableau 3.1 : Classification des machines selon la fréquence des pannes

Une fois le tableau achevé, on réalise un histogramme dont chacune des barres sera représentative d'une machine qu'on classera de manière décroissante. On y insère également la courbe des pourcentages cumulés. On peut observer (Figure3.1) que

•La Riveteuses Semi-automatiques référence RVA-02, RVA-01et RVA-03,

- La Satinage Bec Bouilloire SBB-01,
- La Machine d’emballage MEM-01 et MEM-02,
- La Détourage DET-O5,
- La Presse Hydraulique PRH-01 et Presse mécanique PRM-09.

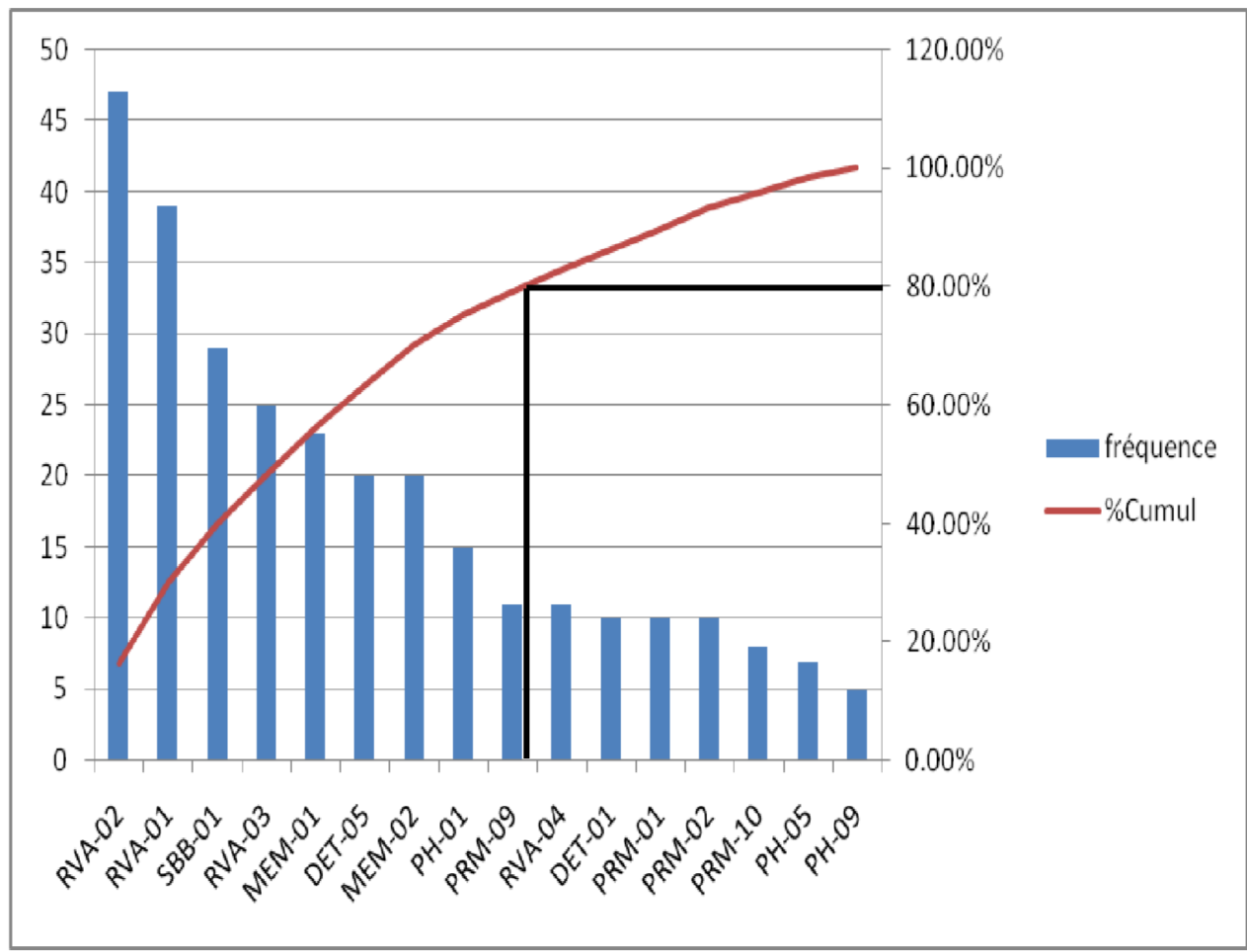


Figure 3.1: Classification des équipements selon la fréquence des pannes

Elles représentent 80 % des arrêts enregistrés. Du point de vue de la maintenance, ces pannes révélées par la loi de Pareto sont jugées graves pour la production, et compte tenu de leur caractère récurrent nous estimons ces défaillances critiques pour disponibilité, et feront l'objet d'une attention particulière.

❖ 3.3.2. Analyse selon le temps d'intervention (TI)

Le tableau ci-dessous contient le temps d'intervention en heures des différentes machines ainsi que leurs cumuls et leurs pourcentages.

Code de la machine	Temps d'intervention (TI) en (h)	Cumul (TI) en (h)	% Cumul(TI)
PRH-05	88,01	88,01	19 ,20%
DET-05	59,75	147,76	32 ,24%
PRM-09	54,58	202,34	44 ,14%
RVA-02	52,89	255,23	55 ,68%
PRH-01	38,08	293,31	63 ,99%
RVA-01	31,10	324,41	70 ,77%
PRM-01	25,82	350,23	76 ,41%
SBB-01	21,69	371,92	81 ,14%
PRM-10	17,75	389,67	85 ,01%
RVA-03	15,80	405,47	88 ,46%
PRM-02	15,43	420,9	91 ,83%

MEM-02	14,90	435,8	95,08%
RVA-04	12,24	448,04%	97,75%
DET-01	7,00	455,04	99,27%
PRH-09	2,66	455,7%	99,85%
MEM-01	0,67	458,38	100%

Tableau 3. 2 : classification des machines selon le temps d'intervention

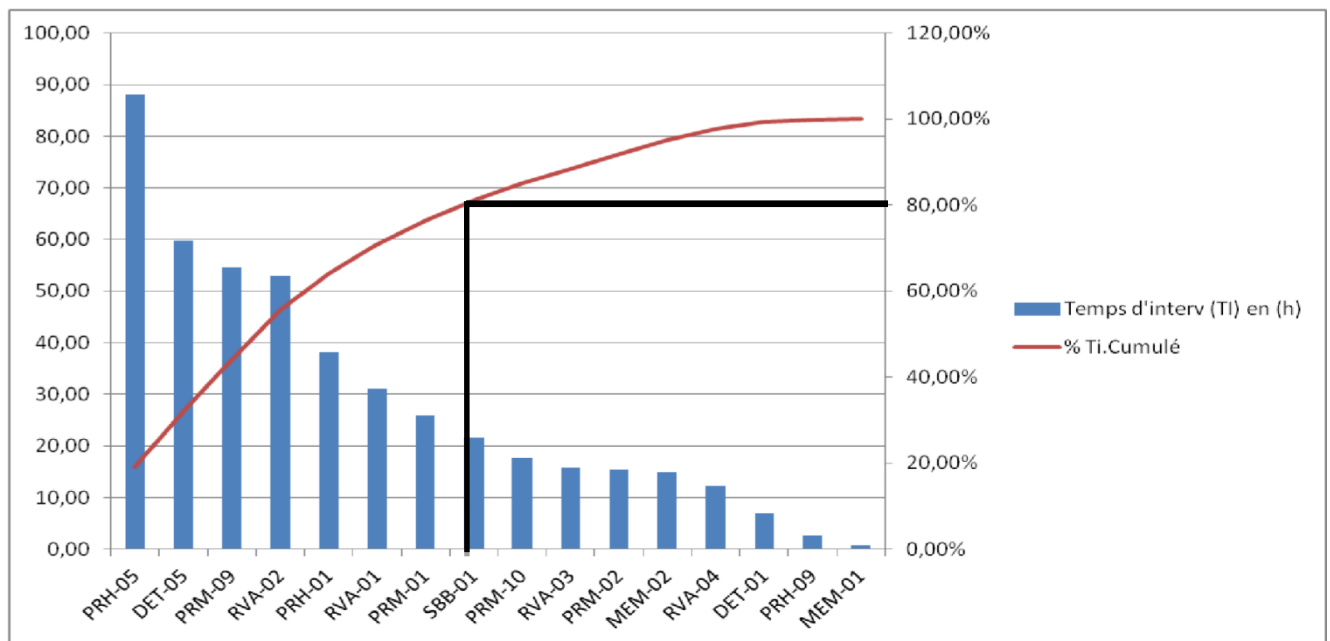


Figure 3.2 : Classification des équipements selon le temps d'intervention

Le diagramme de Paretonous révèle que (Figure 3.2)

- La Presse hydraulique PRH-05,
- La Détourage DET-05,

- La Presse mécanique PRM-09,
- La Riveteuse RVA-02, RVA-01
- La Presse hydraulique PRH-01,
- La Presse mécanique PRM-01.

Elles représentent 80% de temps d'intervention enregistrés. L'action faite sur ses équipements permettra d'améliorer leurs maintenabilités.

❖ 3.3.3. Analyse selon la moyenne des temps de réparation MTTR (Mean Time To Repair)

Le tableau (Tableau 3.3) suivant comprend la moyenne des temps de réparation (MTTR), des différentes machines.

Elle est calculée en divisant le temps d'arrêt total (temps d'intervention) de l'équipement par le nombre d'arrêt (fréquence des pannes).

code de la machine	MTTR (h)	cumul (MTTR) en (h)	% MTTR (cumul)
<i>PRH-05</i>	12,57	12,57	35,12%
<i>PRM-09</i>	4,96	17,53	48,98%
<i>DET-05</i>	2,98	20,51	57,30%
<i>PRM-01</i>	2,58	23,09	64,51%
<i>PRH-01</i>	2,53	25,62	71,58%
<i>PRM-10</i>	2,21	27,83	77,76%

<i>PRM-02</i>	1,54	29,37	82 ,06%
<i>RVA-04</i>	1,14	30,51	85 ,24%
<i>RVA-02</i>	1,12	31,63	88,37%
<i>RVA-01</i>	0,79	32,42	90 ,58%
<i>MEM-02</i>	0,74	33,16	92 ,65%
<i>SBB-01</i>	0,74	33,9	94,72%
<i>DET-01</i>	0,7	34,6	96 ,67%
<i>RVA-03</i>	0,63	35,23	98,43%
<i>PRH-09</i>	0,53	35,76	99 ,91%
<i>MEM-01</i>	0,029	35,789	100,00%

Tableau 3.3 : Classification des machines selon la moyenne des temps de réparation (MTTR)

La réalisation du diagramme de Pareto (Figure 3.3). Nous révèle que

- La PRH-05 et PRH-01,
- La PRM-09 et PRM-01 et PRM-10,
- La DET-05.

Elles représentent 80% de moyenne des temps de réparation enregistrés. L'action faite sur ses équipements permettra d'améliorer leur efficacité.

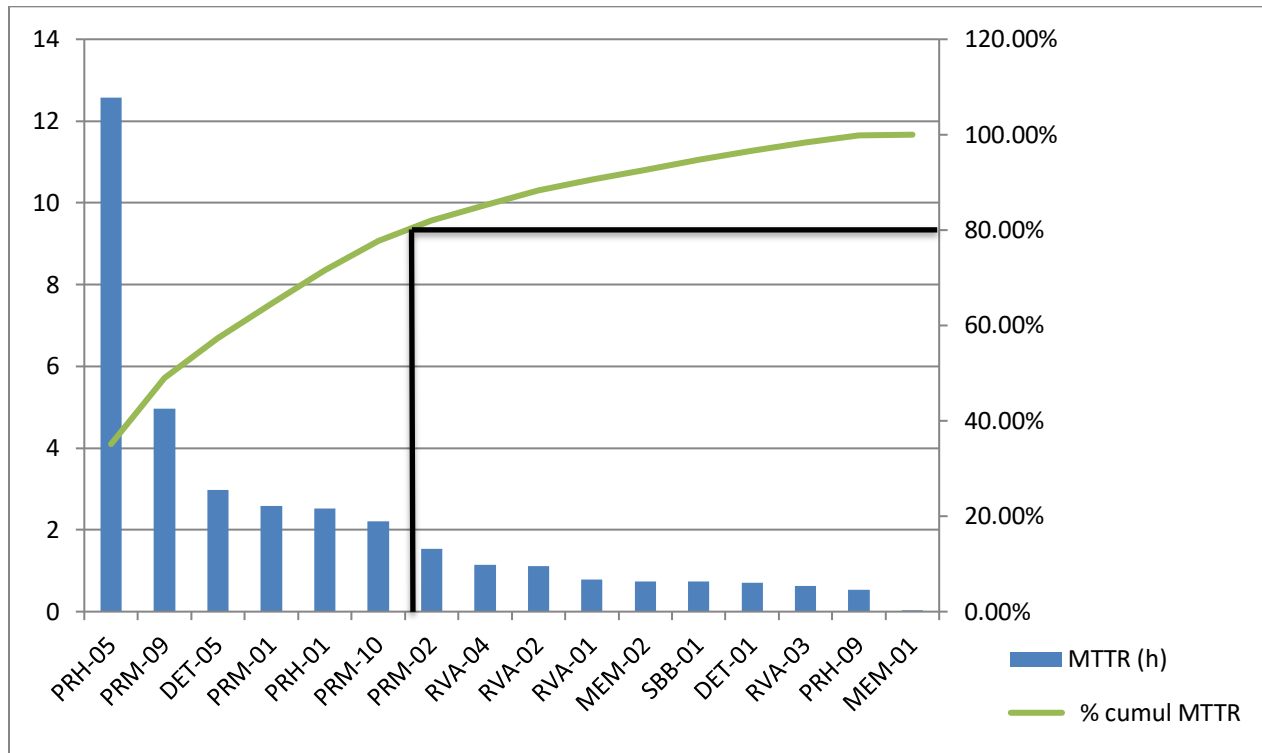


Figure 3.3 : Classification des machines selon la moyenne des temps de réparation (MTTR)

❖ 3.3.4. Analyse selon note totale de combinaison des critères

Pour pouvoir évaluer les différentes machines à ranger sur la base des critères retenus (La fréquence des pannes, Le temps d'arrêt et des interventions sur les machines, la moyenne des temps de réparation), il faut associer à chaque machine un barème de notation de façon à en faire une dimension mesurable, selon la **méthode du vote pondéré multicritère** et l'analyse des tableaux précédent.

Par exemple en stipulant que la machine au 1^{er} rang aura la note 16, celle au 2^{ème} rang la note 15, ..., et celle du dernier rang la note 1.

On attribue ensuite à chaque critère un coefficient (un poids) que nous avons classé par ordre d'importance décroissant :

- ✓ Coefficient 3 pour la fréquence des pannes
- ✓ Coefficient 2 pour le temps d'intervention
- ✓ Coefficient 1 pour la moyenne des temps de réparation

Pour le calcul de la note totale (NT). On multiplie chaque note par le coefficient respectif et on additionne

$$NT = \sum C_i \times N_i$$

Où

(C_i : coefficient de pondération et N_i : note de classement de la machine)

Les ressources nécessaires pour chaque niveau sont illustrées dans le tableau suivant (Tableau 3.4).

Coefficient	3	2	1	Points			Note totale
	Note de classement de:			Fréquence	TI	MTTR	
Code machine	Fréquence	TI	MTTR				Fréquence
<i>RVA-02</i>	16	13	8	48	26	8	82
<i>DET-05</i>	11	15	14	33	30	14	77
<i>RVA-01</i>	15	11	9	45	22	9	76
<i>PRM-09</i>	8	14	15	24	28	15	67
<i>SBB-01</i>	14	9	5	42	18	5	65

<i>PRH-01</i>	9	12	12	27	24	12	63
<i>RVA-03</i>	13	7	3	39	14	3	56
<i>PRH-05</i>	2	16	16	6	32	16	54
<i>PRM-01</i>	5	10	13	15	20	13	48
<i>MEM -02</i>	10	5	6	30	10	6	46
<i>MEM-01</i>	12	1	1	36	2	1	39
<i>RVA-04</i>	7	4	9	21	8	9	38
<i>PRH-10</i>	3	8	11	9	16	11	36
<i>PRM-02</i>	4	6	10	12	12	10	34
<i>DET-01</i>	6	3	4	18	6	4	28
<i>PRH-09</i>	1	2	2	3	4	2	9

Tableau 3.4: Combinaison des critères

Code de la machine	Note totale	CumulNote totale	% cumul
<i>RVA-02</i>	82	82	10,02%
<i>DET-05</i>	77	159	19,43%
<i>RVA-01</i>	76	235	28,72%
<i>PRM-09</i>	67	302	36,91%

<i>SBB-01</i>	65	367	44,86%
<i>PRH-01</i>	63	430	52,56%
<i>RVA-03</i>	56	486	59,41%
<i>PRH-05</i>	54	540	66,01%
<i>PRM-01</i>	48	588	71,88%
<i>MEM-02</i>	46	634	77,50%
<i>MEM-01</i>	39	673	82,27%
<i>RVA-04</i>	38	711	86,91%
<i>PRH-10</i>	36	747	91,32’%
<i>PRM-02</i>	34	781	95,47%
<i>DET-01</i>	28	809	98,89%
<i>PRH-09</i>	9	818	100,00%

Tableau 3.5 : Classification des machines selon la note totale de combinaison des critères

Le diagramme de Pareto (Figure 3.4), nous permet de focaliser notre étude sur :

- Les riveteuses RVA-02, RVA-01 et RVA-03
- La machine de détournage DET-05
- La presse mécanique PRM-09, PRM-01
- La machine de sertissage bec bouilloire SBB-01
- La presse hydraulique PRH-01, PRH-05
- La Machine d’emballage MEM-02

Elles représentent 80% de la note totale de combinaison des critères enregistrés. De plus, nous constatons que la machine RVA-02 est l'élément le plus défaillant.

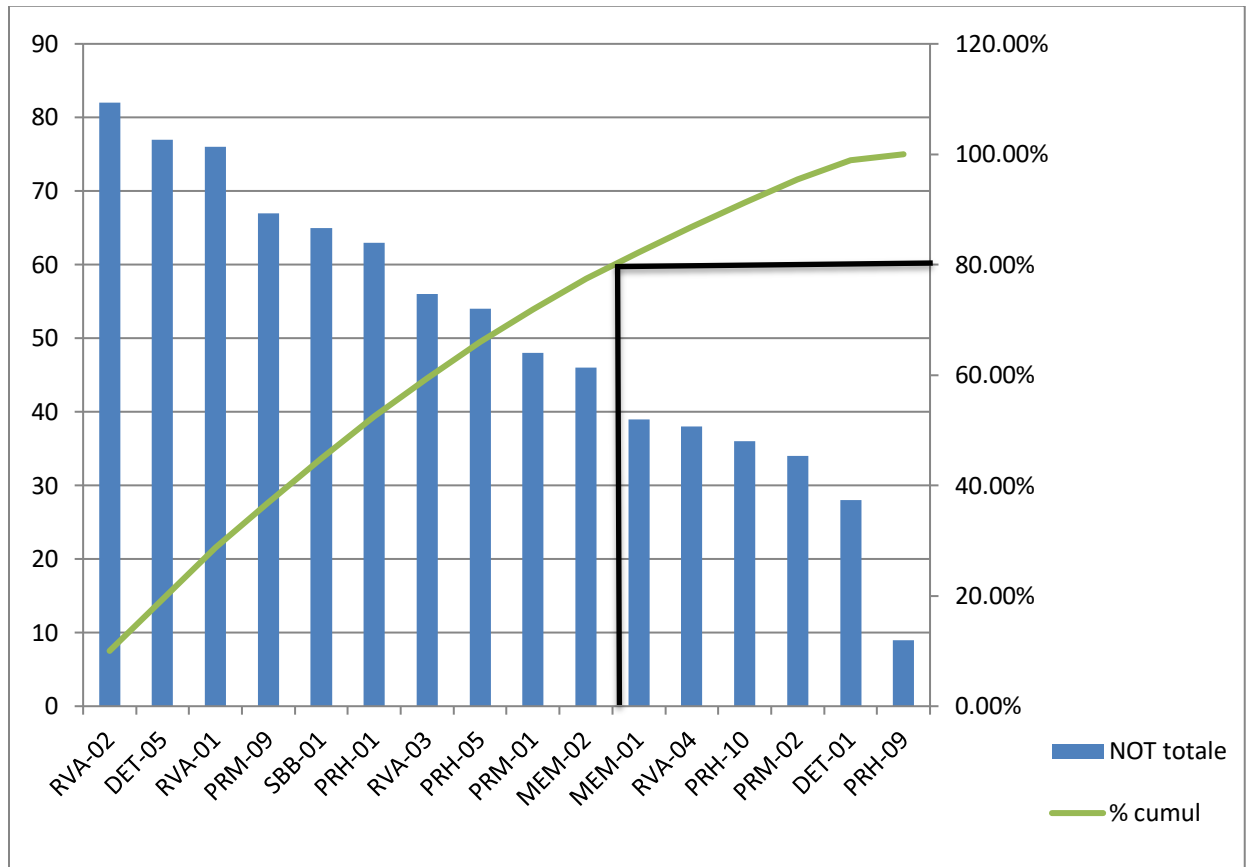


Figure 3.4 Classification des machines selon note totale de combinaison des critères

Conclusion analytique :

Après avoir effectué une analyse pertinente des différents tableaux et diagrammes de Pareto. Nous concluons, que la machine RVA-02 doit faire l'objet d'une attention particulière

3.4.Fonctionnement des riveteuses semi-automatiques

La pédale contient un capteur de fin de course pneumatique qui laisse passer l'air quand on pousse la pédale et le bloque quand on lâche la pédale.

L'utilisateur pousse la pédale avec sa jambe, l'air comprimé sort du raccord pneumatique gauche vers le vérin qui actionne le levier commande clavette d'embrayage vers le haut, il permet ainsi la liaison encastrement entre le moyeu d'embrayage et la roue par l'intermédiaire de la clavette.

La roue est liée avec un pignon dans un système d'engrenage, le pignon est entraîné par un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'un système polie-courroie.

La polie motrice est entraînée par un moteur électrique triphasé (380 V, étoile, 1500 tr/min).

D'où la rotation du moyeu d'embrayage qui permet la rotation de trois cames :

Les cames transforment le mouvement de rotation en un mouvement de translation.

- La première came est liée au bras du poinçon riveteur.
- La deuxième came actionne la barre pousse-rivet vers le presse-flan.
- La troisième came est liée au bras du marteau supérieur.

Le presse-flan se constitue de deux parties qui sont :

- Le poinçon riveteur poussé par le bras lié à la première came.
- Le marteau supérieur poussé par le bras lié à la troisième came.

Le poinçon translate vers le bas pour que le rivet puisse percer la pièce. Puis, le marteau inférieur de la bigorne pousse le rivet vers le haut. Ainsi, le marteau supérieur descend pour presser le rivet, l'éjection du déchet de perçage se fait par l'admission d'air au presse-flan par la soupape pneumatique.

La pousse rivet passe par un système de centrage des rivets qui est lié à l'alimentateur vibratoire du rivet par une glissière.

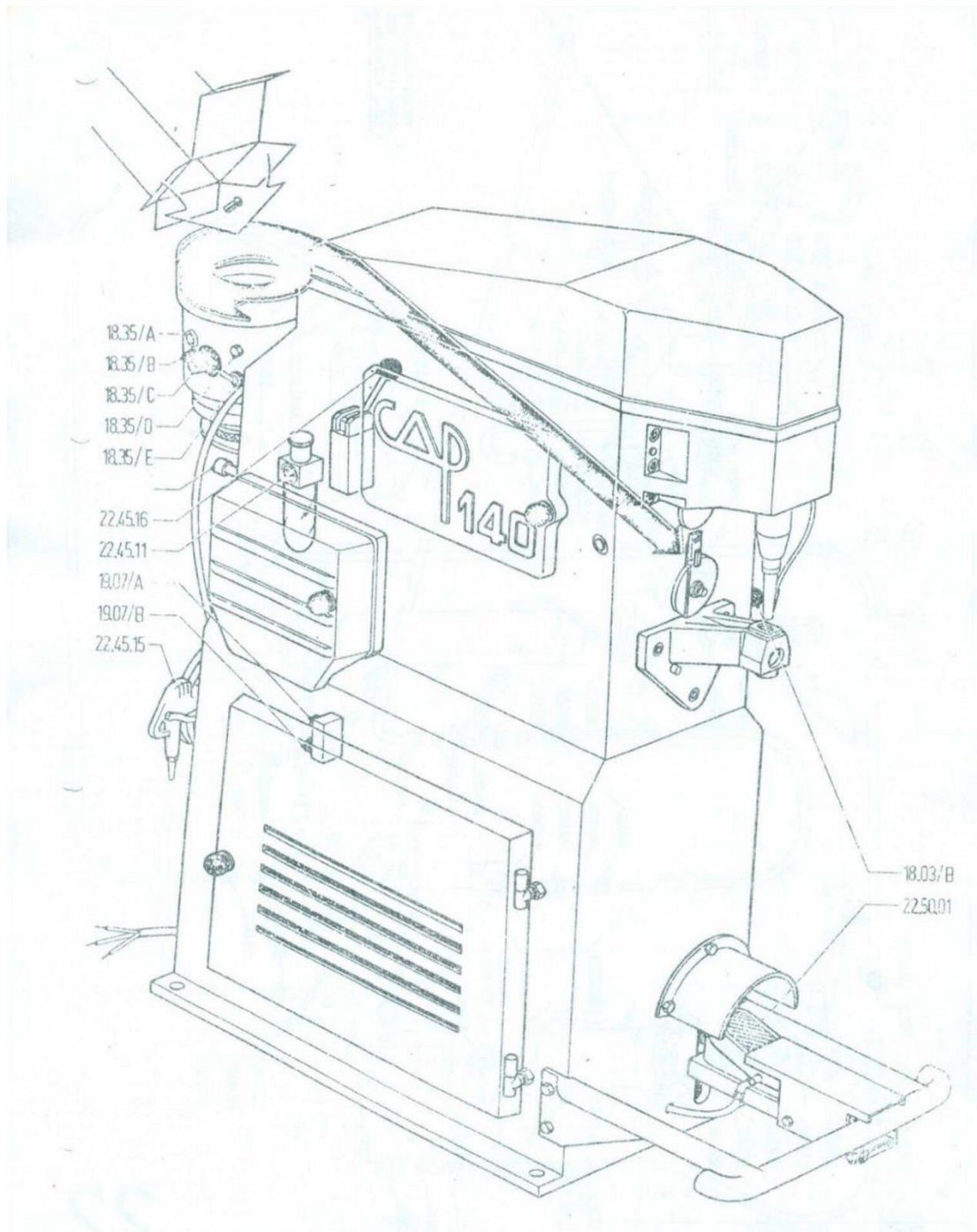


Figure 3.5 : RVA-02 (cap 140)

Introduction

Dans ce chapitre nous appliquons les étapes de l'AMDEC citée dans le chapitre précédent dont l'objectif est d'arriver clairement à identifier les points sensibles de la RVA-02 et y affecter des actions de maintenance ou des contrôles plus rigoureux.

4.1. Analyse des types de pannes de la riveteuse RVA-02

Les tableaux ci-dessous contiennent le nombre d'heures d'arrêts et la fréquence d'arrêt de la RVA-02 en fonction de la nature de panne subie durant une période déterminée. Ces données nous permettront ensuite de représenter les diagrammes de Pareto pour chaque critère.

RVA-02			
Type de pannes	FR de panne	Cumul (FR)	%Cumul (FR)
mécanique	25	25	55,56%
pneumatique	12	37	78,72%
électrique	5	42	89,36%
Autres	3	45	95,74%
hydraulique	2	47	100%

Tableau 4.1 : Classification des types de pannes selon le nombre de fréquences

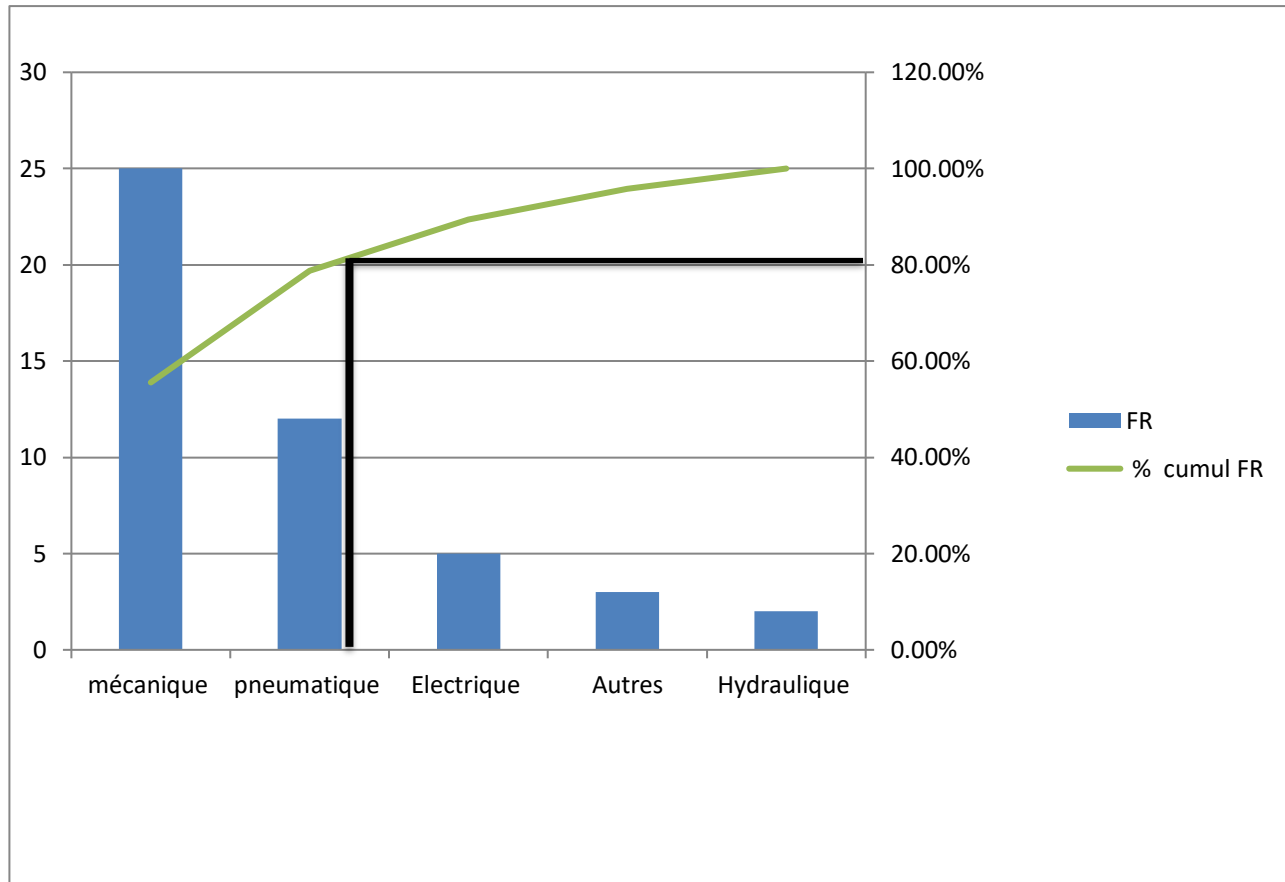


Figure 4.1: Classification des types de panne selon le critère fréquence

RVA-02			
Type de pannes	Temps d'arrêt(TA)	Cumul (TA)	% Cumul (TA)
mécanique	40,65	40,65	50,21%
pneumatique	22,25	62,9%	77,69%
électrique	8,67	71,59%	88,43%
Autres	4,97	76,54%	94,54%

hydraulique	4,42	80,96%	100%
-------------	------	--------	------

Tableau 4.2 : Classification des types de pannes selon le temps d'arrêt de la RVA-02

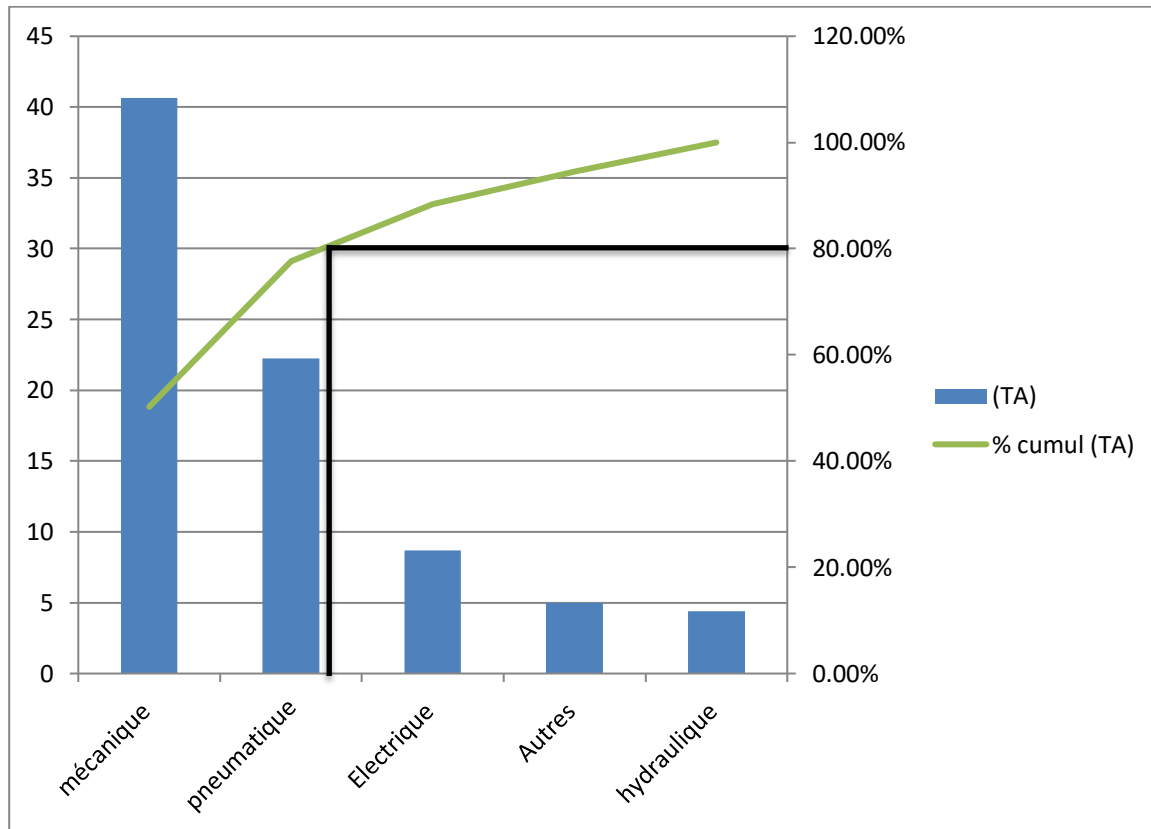


Figure 4.2 : Classification des types de pannes selon le critère temps d'arrêt

Les diagrammes de Pareto nous révèlent qu'environ quatre-vingt pour cent des indisponibilités de cet équipement sont causées par des pannes mécaniques et pneumatiques.

Du point de vue de la maintenance, ces pannes révélées par la loi de Pareto sont jugées graves pour la production, et compte tenu de leur caractère récurrent nous

estimons ces défaillances critiques pour la disponibilité de l'équipement. Donc, une analyse approfondie est nécessaire sur ce dernier pour en connaître l'origine de ces pannes et y apporter les solutions requises.

4.2. Décomposition fonctionnelle

Système : riveteuse automatique (RVA-02)	
Élément	Fonction
Vérin	pousser le levier commande clavette d'embrayage
Vibreux pneumatique	Mettre l'alimentateur pour rivets en vibration
Distributeurs électropneumatiques	Distribution d'air dans les tubes selon la fonction voulu
Tubes	Faire passer l'air
Soupape pneumatique	Admission d'air au presse-flan pour l'éjection du déchet de perçage
Injecteur d'air au niveau de la glissière	Pousser les rivets dans la conduite de la glissière
pédale	Pousse l'air vers le vérin et fait descendre le marteau supérieur

Systeme de centrage de rivet	Centrer de rivet
Barre pousse- rivets	Pousser du rivet vers le presse-flan
Alimentateur vibratoire pour rivet	Mettre les rivets dans la glissière
Moyeu d'embrayage	Faire tourner l'axe de l'engrenage
Glissière	Ligne de conduite des rivets
poulies	Transmettre le mouvement de la courroie aux arbres
Courroie	Transmettre le mouvement de la polie motrice et la polie réceptrice
Le presse-flan	Presser le rivet sur la pièce

Tableau 4.3: Décomposition fonctionnelle de la machine RVA-02

▪ **4.3. Diagramme causes/effet**

C'est un outil permettant de visualiser de façon ordonnée les causes conduisant à un effet constatant que l'on cherche à analyser.

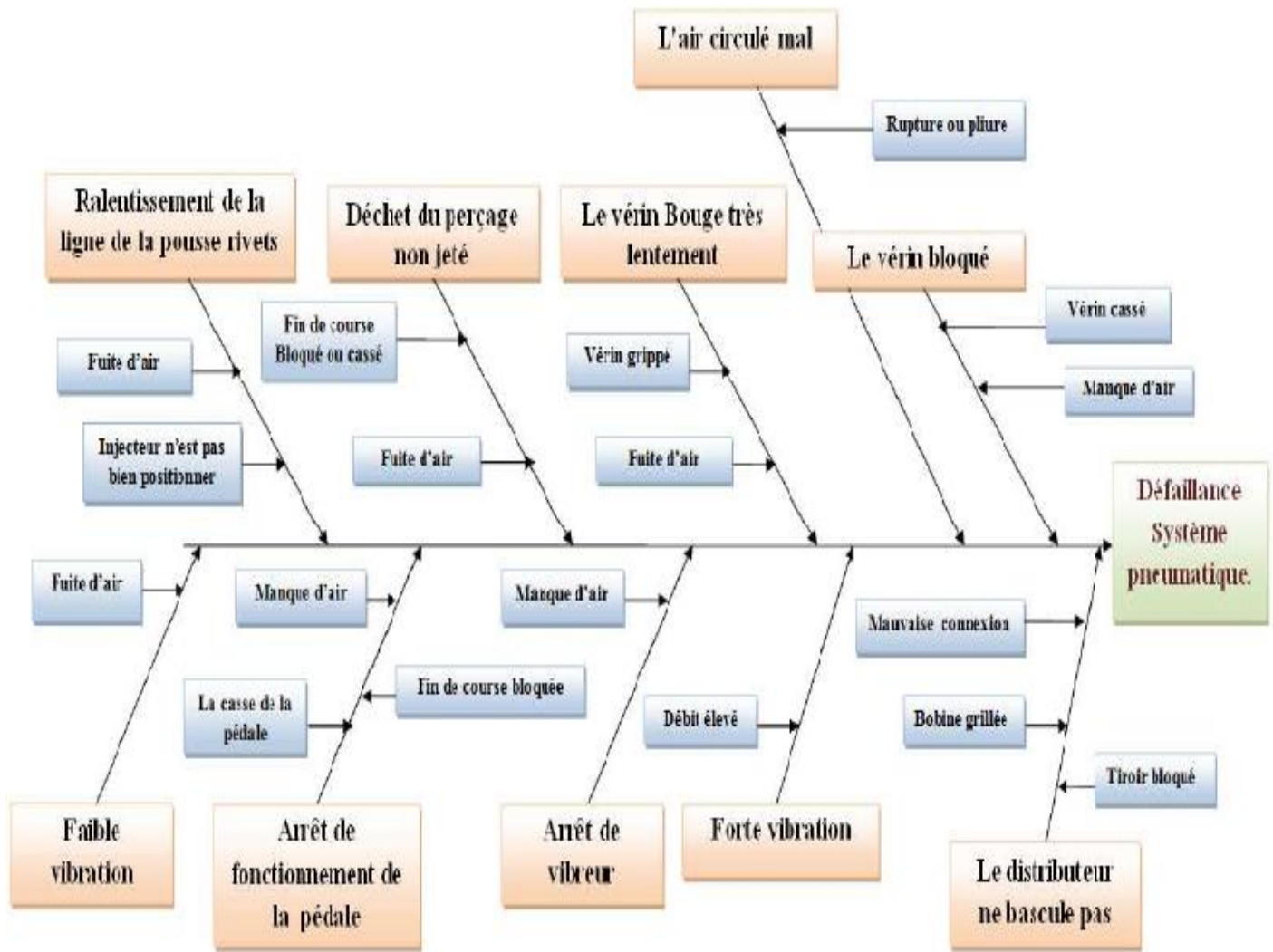


Figure 4.3: Diagramme cause- effet du système pneumatique

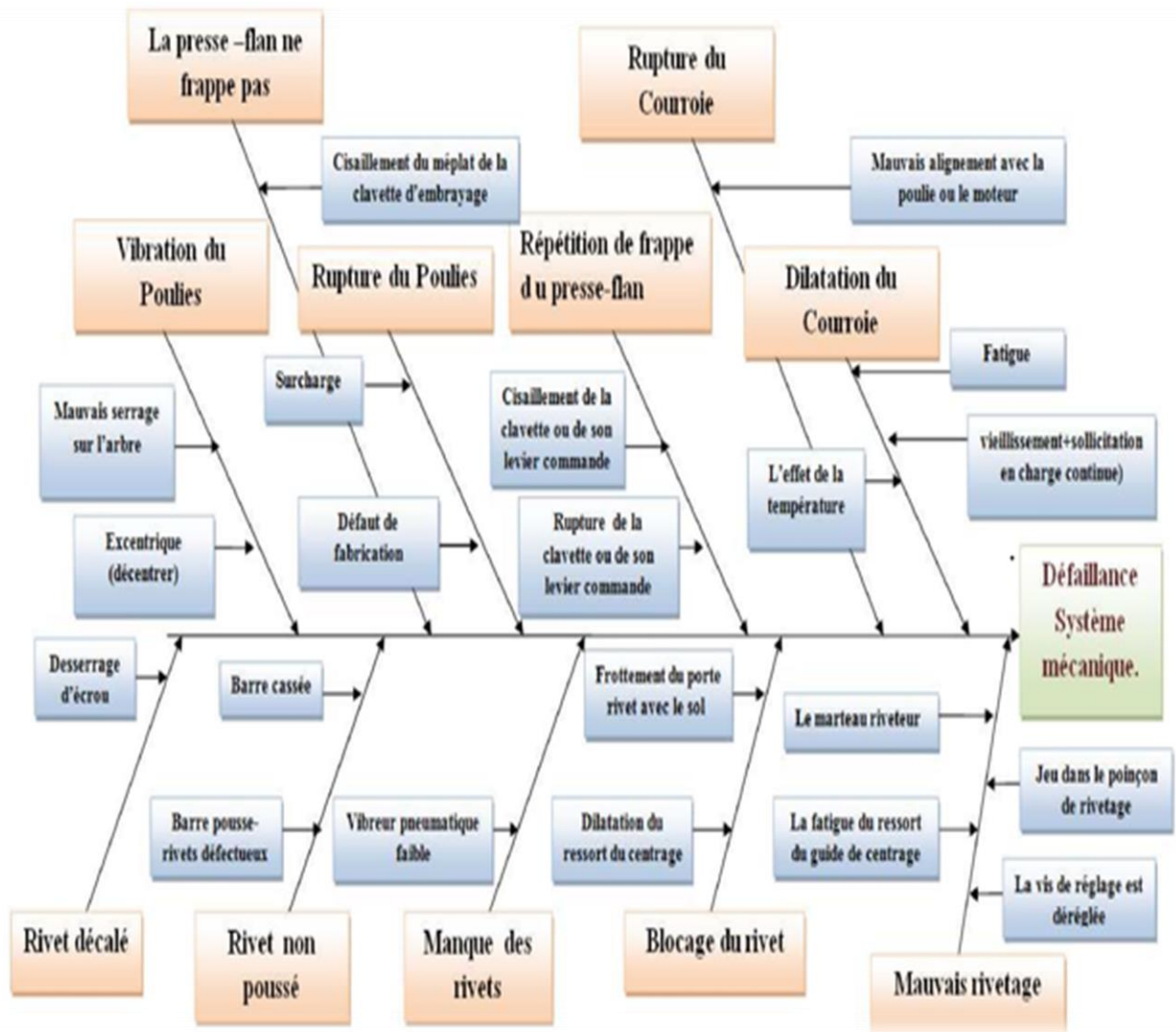


Figure 4.4 : Diagramme cause- effet du système mécanique

Après le recensement et l'identification de toutes les causes qui provoquent les pannes de la RVA-02, nous passons au calcul de la criticité des défaillances fonctionnelles:

$$\text{Indice de criticité (C)} = \text{Indice de Gravité (G)} \times \text{Indice de fréquence d'Occurrence (O)} \\ \times \text{Indice de non Détection (D)},$$

Prenant en compte la fréquence et la gravité de défaillance, comme indices de calcul. Nous obtenons les tableaux suivant :

▪ 4.4. Analyse AMDEC

4.3.1 Sous-système : Système pneumatique

Système : Riveteuse automatique. Sous-système : Système pneumatique.				Phase de fonctionnement : Machine normale		Date de l'analyse : 8/9/2020		AMDEC MACHINE		
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Vérins	Pousser le levier commande clavette d'embrayage	Le vérin ne bouge pas	Vérin cassé	L'arrêt du presse-flan	Visuel	1	3	3	9	-Changement du vérin
			Manque d'air			2	3	4	24	-Vérification des conduites d'air -l'utilisation d'un capteur de pression
		Bouge très lentement	Vérin grippé	Cycle ralenti		1	1	4	4	-Maintenance corrective -l'ouverture du vérin
			Fuite d'air			2	3	4	24	-Vérification des conduites d'air -l'utilisation d'un capteur de pression
Distributeurs électropneumatiques	Distribution d'air dans les tubes selon la fonction voulu	Le distributeur ne bascule pas quand il est commandé	Bobine grillée	Cycle bloqué	Visuel	2	1	4	8	-Changement de bobine
			Mauvaise connexion			1	1	2	2	-Inversations des tubes
			Tiroir bloqué			2	1	4	8	Ouverture du distributeur -Changement du distributeur
Tubes	Faire passer l'air	L'air passe mal	Rupture ou pliure	Cycle ralenti	Visuel	3	2	4	24	-l'utilisation d'un capteur de pression
Soupape pneumatique (fin de course)	Admission d'air au presse-flan pour l'éjection du déchet de perçage	Le déchet du perçage reste à l'intérieur du presse-flan	Bloqué ou cassé	Arrêt de la machine	Visuel	2	2	3	12	-Achat de fin de course en stock
			Fuite d'air	Cycle ralenti	Visuel	2	1	3	6	-Chercher la fuite d'air

Système : Riveteuse automatique. Sous-système : Système pneumatique.				Phase de fonctionnement : Machine normale	Date de l'analyse : 8/9/2020	AMDEC MACHINE				
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Vibreux pneumatique	Mettre l'Alimentateur pour rivets en vibration	Faible vibration	Fuite d'air	Pièces non rivé	Visuel	2	2	2	8	-Vérification des conduites d'air -l'utilisation d'un capteur de pression
		Arrêt de vibreur	Manque d'air			1	1	2	2	
		Forte vibration	Débit élevé	Bruit	auditif	2	2	2	8	-Détecter par t'utilisateur
Injecteur d'air au niveau de la Glissière	Pousser les rivets dans la conduite de la glissière	Ralentissement de la ligne de la pousse du rivet	Fuite d'air	Cycle ralenti	Visuel	1	1	4	4	-Maintenance corrective -L'ouverture de machine
			Injecteur n'est pas bien positionner			1	1	3	3	
Pédale	Pousse l'air vers le vérin et fait descendre le marteau supérieur	Arrêt de fonctionnement de la pédale	La casse de la pédale	Blocage du presse-flan	Visuel	1	3	1	3	-Changement de la pédale
			Manque d'air			2	2	3	12	-Vérification des raccords d'entrée et de sortie d'air
			Fin de course bloquée			2	2	3	12	-Changement de fin de course

Tableau 4.4 : AMDEC Système pneumatique

❖ 4.3.2 Sous-système : Système mécanique

ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE				
Système : Riveteuse automatique. Sous-système : Système mécanique.				Phase de fonctionnement : Machine normale		Date de l'analyse : 8/9/2020					
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	
						F	G	N	C		
Système de centrage de rivet	Centrer le rivet	Blocage du rivet	Dilatation du ressort du centrage	Décentrage du rivet	Visuel	1	2	3	6	-remplacer le ressort	
			Frottement du porte rivet avec le sol			3	2	2	12	Maintenance préventive systématique	
		Rivet décalé	Desserrage d'écrou	Détruire la pièce		2	3	3	18	Surveillance particulière -utiliser un capteur de vibration sur le system	
Barre pousse-rivets	Pousser du rivet vers le presse-flan	Non poussage du rivet	Barre défectueux	Blocage du système de centrage	Visuel	3	2	3	18	-Surveillance particulière -Fabrication de la barre pousse en stock	
			Barre cassé			2	4	3	24		
Alimentateur vibratoire pour rivets	Mettre les rivets dans la glissière	Manque des rivets	Vibreux pneumatique faible	Arrêt de la production	Visuel	2	4	2	16	-Changement du ressort de vibration périodiquement	
Glissière	Ligne de conduite des rivets	Bruit	Desserrage d'écrou de fixation de la glissière	Blocage du système de centrage	Auditif	3	3	2	18	-Surveillance particulière -Installation d'un capteur de vibration sur le system	
		Rivets non centré			Visuel						
Moyeu d'embrayage	Faire tourner l'axe de l'engrenage	Répétition de frappe Du presse-flan	Cisaillement de la clavette ou de son levier commande	Pièces défectueuses	Visuel	3	3	4	36	-Changement de la pièce -Fabrication de la pièce en stock	
			Rupture de la clavette ou de son levier commande			3	3	4	36		- Maintenance préventive systématique
		La presse -flan ne frappe pas	Cisaillement du méplat de la clavette d'embrayage	Arrêt de la machine		Visuel	1	3	3	9	-Maintenance corrective -Fabrication de la clavette en stock

Système : Riveteuse automatique. Sous-système : Système mécanique.				Phase de fonctionnement : Machine normale		Date de l'analyse : 8/9/2020				AMDEC MACHINE
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Poulies	Transmettre le mouvement de la courroie aux arbres	Vibration	Excentrique (décentrer)	Perte de performance	Visuel	1	2	2	4	-Maintenance corrective -fabrication d'une polie en stock
			Mauvais serrage sur l'arbre			1	3	2	6	
		Rupture	Défaut de fabrication	Arrêt de la machine	Visuel	1	3	2	6	
			surcharge			1	1	1	1	
Courroie	Transmettre le mouvement de la polie motrice et la polie réceptrice	Rupture	Mauvais alignement avec la poulie ou le moteur	Arrêt de la machine	Visuel	2	3	2	12	-Maintenance préventive systématique -Respecter la durée de vie du courroi et les conditions d'utilisation
		Dilatation	L'effet de la température	Vibration	Visuel	1	2	2	4	
			Fatigue (vieillessement+sollicitation en charge continue)	Arrêt de la machine	Visuel	2	2	2	8	
Le presse-flan	Presser le rivet sur la pièce	Mauvais rivetage	La vis de réglage du marteau riveteur supérieur ou du poinçon de rivetage est déréglée	Pièces défectueuses	Visuel	2	3	3	18	-Surveillance particulière -Utiliser l'utilisateur comme un détecteur de problème
			Jeu dans le poinçon de rivetage			3	3	2	18	
			Le marteau riveteur inférieur ne monte pas	Rivet n'est pas bien positionner		2	3	2	12	-Graissage de la conduite -Dressage du marteau
			La fatigue du ressort de rappel du guide de centrage	Pièce non rivé		2	2	2	8	-Remplacement du ressort

Tableau 4.5: AMDEC du système mécanique

❖ 4.3.3. Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'analyse dysfonctionnelle. Cette approche est basée sur l'analyse AMDEC. La mise en œuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des défaillances. En effet elle permet:

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise,
- d'identifier les fonctions critiques pour le système,
- de définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

La criticité des conséquences de différentes fonctions critiques pour le système, a été appréciée selon des échelles de probabilité et de gravité. Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être reportée.

L'exemple traité dans le cadre de ce travail a été développé suivant une méthode logique et structurée. Elle a permis de mieux maîtriser le système étudié tout en identifiant les maillons faibles.

Synthèse ou évaluation de la criticité :

Après avoir étudié les résultats des tableaux AMDEC il ressort ce qui suit:

- ❖ $1 \leq C < 12$: Aucune modification; maintenance corrective, Contrôle
- ❖ $12 \leq C < 20$: Maintenance préventive systématique, pièces de rechange associées.
- ❖ $20 \leq C < 27$: Maintenance préventive conditionnelle, Utilisation des capteurs
- ❖ $27 \leq C < 37$: Changement urgent des pièces.

▪ 4.5. Analyse Pareto

On applique la règle des 80/20 (Pareto) pour déterminer le seuil de la criticité au-delà duquel on agira.

• Sous-système: système pneumatique

Élément	criticité	Cumul des criticités	% cumul
vérins	24	24	26.09
tubes	24	48	52.17
soupape pneumatique	12	60	65.22
pédale	12	72	78.26
vibreur pneumatique	8	80	86.96
distributeurs électropneumatiques	8	88	95.65
injecteur d'air au niveau de la glissière	4	92	100

Tableau 4.6 : classification des éléments du sous-système pneumatique par rapport à leur Criticité

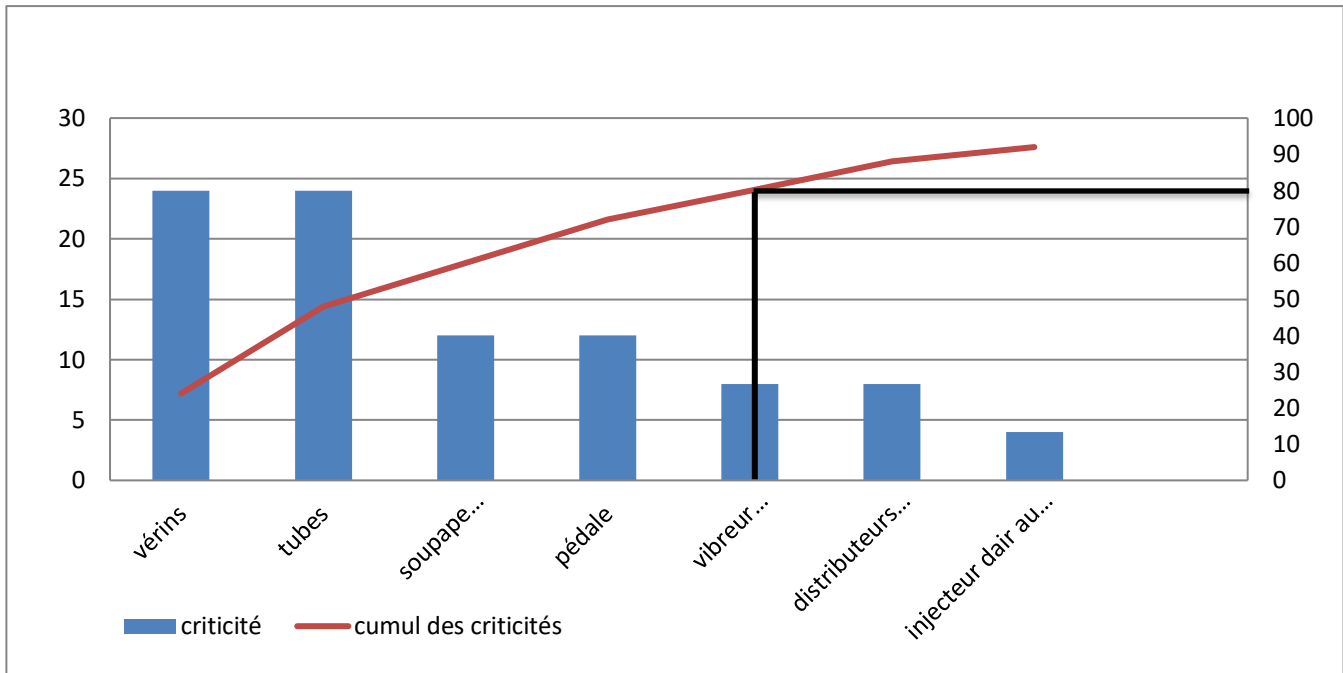


Figure 4.5 : Diagramme de Pareto des éléments du sous-système pneumatique de la RVA-02 selon leur criticité

- Sous-système : système mécanique

élément	criticité	cumul	%cumul
Moyeu d'embrayage	36	36	24.32
Barre pousse-rivets	24	60	40.54
Système de centrage de rivet	18	78	52.70
glissière	18	96	64.86
Le presse-flan	18	114	77.03

Alimentateur vibratoire pour rivets	16	130	87.84
courroie	12	142	95.95
poulies	6	148	100

Tableau 4.7 : classification des éléments du sous-système mécanique par rapport à leur Criticité

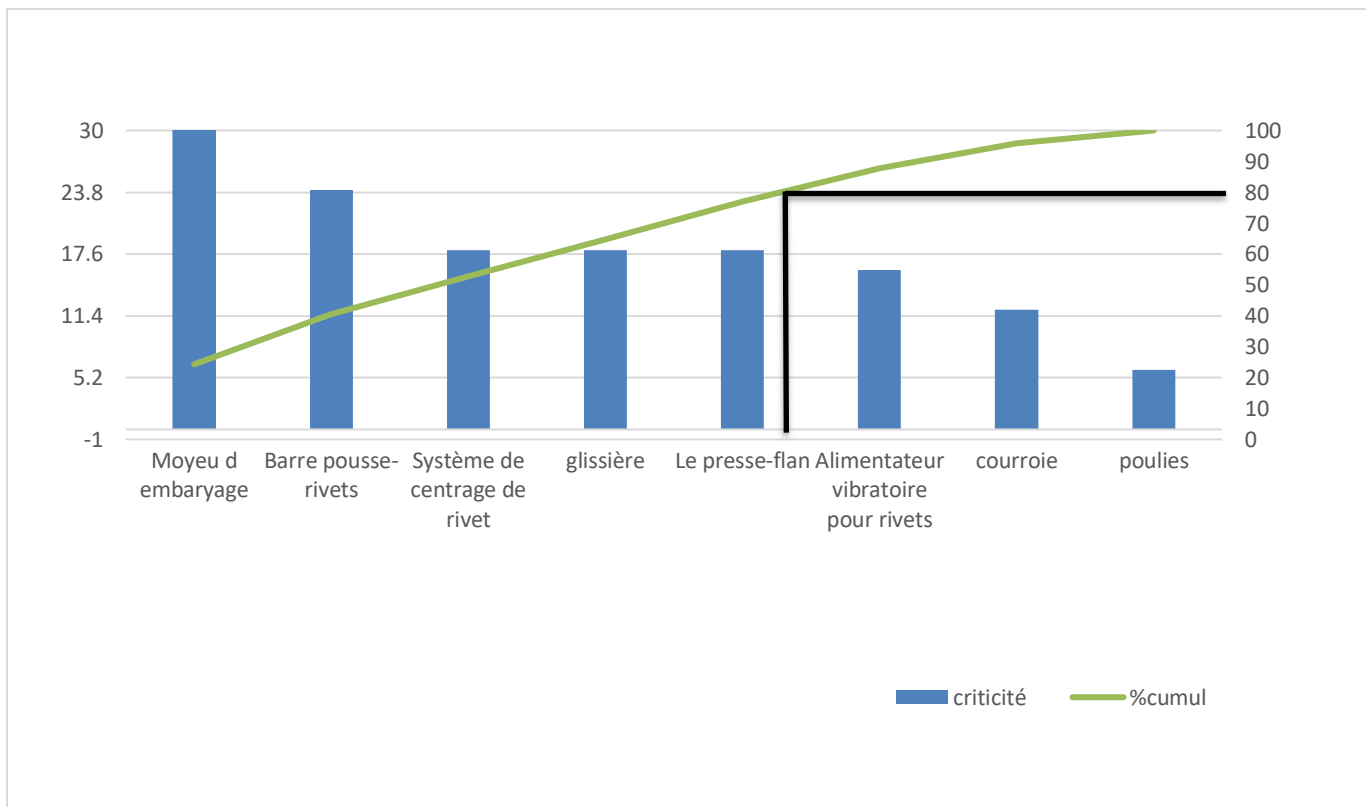


Figure 4.6 : classification des éléments du sous-système mécanique par rapport à leur Criticité

▪ La criticité des conséquences de différentes fonctions critiques pour le système, a été appréciée selon des échelles de probabilité et de gravité. Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée.

- On a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité. Les éléments dont la criticité est supérieure ou égale à 16 sont regroupés dans l'évaluation de la criticité. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des recommandations appropriées

▪ 4.6. Plan de la maintenance préventive pour les RVA-02

Elaborer un plan de maintenance préventive, c'est lister et décrire toutes les opérations qui devront être effectuées sur chacun des éléments d'un équipement. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant chacun de ces organes et en tenant compte de son utilisation, de sa technologie, de son risque de défaillance et de son impact sur la production et sur la sécurité (humaine, produit fini et matérielle). L'affectation des opérations de visite ou de contrôle a donc pour objet la détection des dysfonctionnements pouvant intervenir sur chacun des organes d'un équipement, et les effets que ces dysfonctionnements pourraient induire. Suite au travail d'analyse effectué en amont, la démarche utilisée pour définir les actions de maintenance à entreprendre sur la RVA-02 est décrite ci-dessous dans le Tableau 4.9

Taches	Plan de la maintenance préventive		
	Hebdomadaire	mensuel	annuel
Moyeu d'embrayage		3C	3S
Tube		2C	2S
Barre pousse-rivets		2C	2S
Système de centrage de rivet		1C	
Soupape pneumatique			3C
Glissière		1C	
Le presse-flan		1C	
Courroie			3C/1S
Les fins de course			3C
Vérin			2C
pédale			3C
Distributeurs électropneumatique			3C
Moteur			1C

C : Contrôle S: Changement de la pièce

Tableau 4.8: Plan de la maintenance préventive pour la RVA-02

Conclusion générale

Une politique de gestion de la maintenance a des répercussions directes sur l'exploitation d'un système, la production et les charges financières. A chaque instant de l'exploitation du système le décideur responsable de la maintenance doit faire un choix face aux interventions possibles sur le système afin de déterminer l'action à effectuer. Ce choix doit permettre de satisfaire au mieux les objectifs fixés a priori permettant une exploitation optimale du système.

Cette méthode vise à organiser la maintenance des équipements autour d'objectifs de fiabilité sous contrainte de coût.

Ce projet nous a permis, d'une part d'approfondir nos connaissances sur les méthodes de maintenance et d'autre part de renforcer notre esprit sur l'organisation et la gestion technique des entreprises mais aussi de profiter des connaissances acquises à notre institut. Cependant quelques difficultés ont été rencontrées dans la recherche des fiches de suivi des équipements, dans la collecte des données et dans la cotation des défaillances.

En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de la fiabilité et la période optimale de maintenance préventive par la méthode de Weibull évolué qui permet d'orienter directement le choix du type de maintenance en fonction des données. On prévoit la mise en œuvre d'un logiciel de traitement des données on temps réel et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérée par modélisation et par simulation numérique.

Bibliographie :

- [1] H.BENAICHA- analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle- thèse de doctorat des sciences et de la technologie USTO ORAN
- [2] MAHFOUD BRAHIM – analyse de la fonction maintenance à l’unité TSS-SIDER ANNABA – mémoire présente en vue de l’obtention du diplôme MASTER-domaine : sciences et technologie- filière: génie mécanique- année : 2016/2017
- [3] pauline Ribot- vers l’intégration diagnostic / pronostic pour la maintenance des systèmes complexes automatique / robotique. Université PAUL SABATIER-Toulouse III, 2009, français.
- [6] la maintenance conditionnelle –TPM attitude – tmattitude.fr
- [5] DEVARUN GHOSH, SANDIP ROY- maintenance optimization using probabilistic cost benefit analysis- journal of loss prevention in the process industries 2009 ; 22(4): 403-407.
- [8] GEAN HENG- pratique de la maintenance préventive - 4^e éditions – <https://www.dunod.com>
- [4] CHRISTIAN HOHMANN- la maintenance préventive – christian.hohmann.fr – 12 sept 2017
- [9] N.TARI – maintenance et sureté de fonctionne- université ORAN 2 MOHAMED BENAHMED- institut de maintenance et de sécurité industrielle – département maintenance en instrumentation – 2019-2020
- [10] Lénaïc SOURGET – préparer vos plans de maintenance en 5 étapes- www.mobility.com.
- [7] DELOUX E , CASTANIER B,, and BERENGUER C– optimisation de la politique de maintenance pour un système a dégradation graduelle stressé - 7^{ème} congrès international pluridisciplinaire qualité de sureté de fonctionnement – 20 , 21et 22 mars 2007- volume 1, page 142-149- TANGER(MAROC)- 2007.
- [11] OUAR FAROUK, BOUROUBA GHANEM- la maintenance– <https://fr.slideshare.net> – université ibn KHALDOUN TIARET
- [12] Jérémy LIAURENS – mis en place d’un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique – www.Semanticscholar.org.

- [13] MAREY. A, et all, Impact d'une démarche qualité en sécurité transfusionnelle sur la prescription, l'optimisation des circuits, la traçabilité, Expérience du CHRU de Lille, Unité et Comité de Sécurité Transfusionnelle et d'Hémovigilance.
- [14] KELEDA.J- 1994- 1 AMDEC – école des études commerciales : centre d'étude en qualité totale.
- [15] TALEB MOUNIA- surveillance, détection et diagnostic des défaillances dans une cimenterie en utilisant l'analyse fonctionnelle – THESE présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur en sciences – université 20 aout 1955 SKIKDA.
- [16] FRANÇOIS. J, INFOQUALITE, Lettre d'information du management par la qualité N°6 du 1er Juillet 2002.
- [17] les défaillances. DOCX (w2007) – stratégie de maintenance – <http://cahierdemeca.FREE.FR>.
- [18] ALANI .T, introduction au diagnostic des défaillances, laboratoire A2SI-ESIEE-PARIS, soutenu LE 01/10/2006.t.alani@esiee.fr.
- [19] RIDOUX. M, ag4220 AMDEC – Moyen, base documentaire : méthodes de production dans le thème : Conception et Production et dans l'univers Génie industriel, date de publication : 10/07/1999.
- [20] Gérard LANDY-AMDEC Guide pratique-<https://fr.clameo.COM> – page 43-44- AFNOR, 2007.
- [21] AMDEC : mode d'emploi...- <http://qualiblog.fr>.
- [22] Jérémy LIAURENS- mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique – <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01059490>- sciences pharmaceutique .2011.
- [23] comment construire un diagramme de PARTO sur EXCEL – www.excelformation.fr.

[24] diagramme de PARETO- commentprogresser.com.

[25] TAHIR DJALAL- analyse de modes défaillance et de leurs effets sur la production (AMDEC) cas d'une station d'épuration les eaux USEE – mémoire de projet de fin d'études- université MOHAMED BOUDIAF – Msila-promotion : 2015 /2016.

[26] AMDEC-jackadit.com-différents types d AMDEC.

[27] HRISTIAN HOHMANN - le diagramme de PARETO- [http : //chohmann.free.fr](http://chohmann.free.fr).

[28]Cherfi .Z. La qualité : démarches méthodes et outils. Edition Hermes, 2002