



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة – عنابة
ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE – ANNABA

Département Génie Industriel

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Management Industriel

Présenté par

ZINEB ALLIOUCHE

AMEL BOUNOUARA

OPTIMISATION DE LA STRATEGIE DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE D'UNE CHAINE DE PRODUCTION

Encadré par

Dr. Adel DJELLAL

ENSTI Annaba

Membres du jury :

Pr. Messaoud DJEGHABA	Président	ENSTI-Annaba
Dr. Nouredine KHELIFA	Examineur	ENSTI-Annaba
Dr. Faouzi BOUCHARB	Examineur	ENSTI-Annaba

Année 2025

Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force, la patience et la santé nécessaires pour accomplir ce travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, monsieur **Adel.Djellal**, pour ses conseils précieux, son suivi constant et sa disponibilité. Son accompagnement a été essentiel tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie également madame **Smili.Karima** et monsieur **Djemana.Mohamed** pour leur aide, leur soutien et leurs remarques pertinentes qui m'ont beaucoup aidée pendant cette période.*

Je remercie l'ensemble des enseignants du département de Génie Industriel GI de l'École Nationale Supérieure de Technologie Industrielle ENSTI, pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont transmis tout au long de mon parcours.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance envers l'entreprise SOMIPHOSE, qui m'a accueillie durant mon stage et m'a permis d'appliquer mes connaissances dans un cadre professionnel concret et enrichissant.

Enfin, je dédie ce travail à ma famille, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes sincères remerciements

Dédicace

À ma chère mère,

qui a assumé les rôles de mère et de père avec un amour et des sacrifices inestimables. Tu as été mon soutien et mon pilier à chaque instant.

Je te dédie ce travail en reconnaissance de ta bonté et de ton immense amour.

À ma seule sœur, Meriem,

ma complice, mon soutien et mon amie fidèle.

Merci d'être toujours à mes côtés.

Ce travail t'est dédié avec tout mon amour.

À ma meilleure amie, Kamar,

ta présence lumineuse, ton écoute, ton soutien indéfectible et ton amitié sincère ont été des piliers tout au long de ce parcours.

La plus belle chose qui me soit arrivée dans la vie, c'est toi.

Merci d'avoir cru en moi, même dans les moments les plus difficiles. Ce travail t'est dédié avec toute mon affection, ma gratitude et mon amour sincère.

À Nala et Socar,

mes compagnons fidèles et sources de joie quotidienne.

Merci de me faire passer mes journées par votre présence.

À ma binôme, Amel

avec qui j'ai partagé chaque étape de ce travail dans un esprit de complicité, d'entraide et de persévérance.

Merci d'avoir transformé ce projet en une belle aventure humaine.

Un bon binôme est une vraie richesse, et tu en es la preuve.

À ma famille,

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence à chaque étape.

Ce travail vous est dédié avec tout mon cœur.

ALLIOUCHE ZINEB

Dédicace

*À mon père, Nouredine,
Mon rocher, mon premier héros ta sagesse m'a construit, ta
patience m'a guidé.
Merci d'être le pilier qui ne tremble jamais.*

*À ma mère, Malika,
Mon amour, ma guerrière ton rire est ma mélodie ton courage,
ma force.
Tu es le soleil qui éclaire même mes nuits.*

*À mes sœurs, Safa et Farah,
Safa, mon modèle et ma douce guerrière,
ta détermination m'enseigne la persévérance ta force tranquille
défie l'impossible.
Farah, mon étoile brillante,
ma pureté et ma joie ton audace m'inspire, ta sagesse devance ton
âge*

*À mon frère, Boubaker,
mon frère de sang, mon frère de combat. Merci d'être mon
partenaire dans cette aventure.*

*À mon ange, Djawed, mon petit frère, ma pureté.
Ton innocence est mon rappel ton amour, mon trésor. Tu es la
douceur qui adoucit mes jours.*

*À ma famille élargie,
Tantes, oncles, cousins...
Vous êtes les branches de mon arbre, chacun de vous a tissé mon
histoire.*

Merci pour cette toile d'amour inconditionnel.

*À Zineb, mon partenaire de travail,
Mon complice dans les défis,
Merci pour, ta patience quand je doutais, ta créativité qui
m'inspirait,*

*À mes amis,
Sabrine, Amel, Loubna, Douaa, Rayane, Ouarda et Mouna
Ma famille du cœur. Vous avez séché mes larmes, Célébré mes
victoires.*

Merci d'être là, sans masque, sans filtre.

BOUNOUARA AMEL

المخلص

، المتخصصة في معالجة الفوسفات، أعطى الّ متكررة في القسم الرطب، مما يؤثر سلباً على SOMIPHOSÉ تواجه شركة لتحديد المكونات الحرجة ووضع AMDEC و FMD الأداء العام. ولمعالجة هذه المشكلة، اعتمدت الدراسة على طريقتي برنامج صيانة وقائية موجه. يهدف هذا البرنامج إلى تقليل التوقفات غير المخططة، وضمان استمرارية تشغيل المعدات، وتحسين موثوقية النظام على المدى الطويل. كما تم اقتراح توصيات عملية لتحسين استراتيجية الصيانة داخل الشركة

الكلمات المفتاحية: الصيانة الوقائية، وأجهزة الاستشعار، والتحسين، والاستراتيجية

Résumé

La société SOMIPHOSÉ, spécialisée dans le traitement du phosphate, fait face à des défaillances fréquentes dans sa section humide, impactant négativement la performance globale. Pour y remédier, cette étude a appliqué les méthodes FMD et AMDEC afin d'identifier les composants critiques et d'élaborer un programme de maintenance préventive ciblé. L'objectif est de réduire les arrêts non planifiés, garantir la disponibilité des équipements et améliorer durablement la fiabilité du système. Des recommandations concrètes ont été proposées pour optimiser la stratégie de maintenance de l'entreprise.

Mots-Clés : maintenance préventive, captures, optimization, strategies.

Abstract

SOMIPHOSÉ, a company specialized in phosphate processing, faces frequent failures in its wet section, negatively impacting overall performance. To address this issue, the study applied FMD and FMEA methods to identify critical components and develop a targeted preventive maintenance program. The aim is to reduce unplanned downtime, ensure continuous equipment availability, and sustainably improve system reliability. Practical recommendations were proposed to enhance the company's maintenance strategy.

Keywords: preventive maintenance, sensors, optimization, strategy.

Sommaire

Introduction Générale	1
I. Chapitre I : état de l’art.....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Synthèse bibliographique.....	3
I.3 Conclusion	5
II. Chapitre II : Recherche bibliographique	6
II.1 Introduction	7
II.2 Définition de la maintenance	7
II.2.1 Types de maintenances	7
II.3 Le diagnostic	7
II.3.1 Les méthodes de diagnostic.....	7
II.3.2 Méthode ABC (Pareto).....	8
II.3.3 Méthode FMD.....	8
a. Fiabilit	8
b. Maintenabilité.....	9
c. Disponibilité.....	9
II.3.4 Méthode AMDEC	9
II.4 Conclusion	9
III. Chapitre 03 : étude de cas et solution proposé	10
III.1 Introduction	11
III.2 Présentation de La chaine de traitement	11
III.2.1 Préparation mécanique	11
III.2.2 Méthode humide.....	12
III.3 Fiche historique des pannes.....	13
III.4 Étude de la FMD.....	14
III.4.1 Description de la méthode.....	14
III.4.2 La fiabilité	14
III.4.2.1 Description.....	14
III.4.3 La disponibilité	15
III.4.3.1 Description.....	15
III.4.4 La maintenabilité	16
III.4.4.1 Description.....	16
III.4.5 Synthèse sur FMD	18
III.5 Application de la méthode AMDEC.....	18

III.5.1	Décomposition du système.....	18
III.5.2	Hiérarchisation des modes de défaillance selon leur criticité.....	27
III.5.3	Interprétation des résultats.....	27
III.6	Proposition d'un plan préventif	28
III.7	Solution proposer.....	29
III.7.1	Motoréducteur	29
III.7.1.1	La jauge de contrainte	29
III.7.1.2	Intégration d'une jauge de contrainte dans le motoréducteur	29
III.7.2	Courroies	29
III.7.2.1	Tendeur de courroie	29
III.7.2.2	Intégration d'un tendeur de courroie.....	30
III.7.3	Diaphragme de pompe 130.....	30
III.7.3.1	Débitmètre	30
III.7.3.2	Intégration d'un tendeur de courroie.....	31
III.8	Conclusion	31
IV.	Conclusion générale	32

Liste des figures

FIGURE II.1: CLASSIFICATION DES METHODES DE DIAGNOSTIC.....	8
FIGURE II.2:DIAGRAMME DE PARETO OU COURBE ABC	8
FIGURE II.3: FEUILLE D'AMDEC	9
FIGURE III.1 : SCHEMA DU SYSTEME DE VOIE HUMIDE.....	11
FIGURE III.2 : BROYEUR.....	12
FIGURE III.3 : CONCASSEUR.....	12
FIGURE III.4 : CRIBLE.....	12
FIGURE III.5 : ATTRITEUR	12
FIGURE III.6 : FILTRE A BANDE.....	12
FIGURE III.7 : SECHAGE B1	13
FIGURE III.8 : SECHAGE.....	13
FIGURE III.9 : HISTOGRAMME DE FIABILITE.....	15
FIGURE III.10 : HISTOGRAMME DE DISPONIBILITE.....	16
FIGURE III.11 : HISTOGRAMME DE LA MAINTENABILITE	17
FIGURE III.12 : DECOMPOSITION DE SYSTEME	18
FIGURE III.13 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA JAUGE.....	29
FIGURE III.14 : JAUGE DE CONTRAINTE	29
FIGURE III.15 : TENDEUR AUTOMATIQUE.....	30
FIGURE III.16 : DEBITMETRE.....	30

Liste des tableaux

TABLE III-1 : FICHE HISTORIQUE DES PANNES DE L'ANNEE 2021	13
TABLE III-2 : LA FIABILITE.....	14
TABLE III-3 : LA DISPONIBILITE	16
TABLE III-4 : LA MAINTENABILITE.....	17
TABLE III-5 : ATTRITEUR	19
TABLE III-6 : BROYEUR N°2	20
TABLE III-7 : POMPE RECUP D'EAU	21
TABLE III-8 : POMPE 166	22
TABLE III-9 : POMPE 130	23
TABLE III-10 : FAB	24
TABLE III-11 : FOUR.....	25
TABLE III-12 :POMPE 201	26
TABLE III-13 : NIVEAU DE CRITICITE.....	27
TABLE III-14 : PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE.....	29



Introduction Générale

Dans l'industrie moderne, la complexité et la performance des machines ne cessent d'augmenter, rendant la gestion de la maintenance plus stratégique que jamais. Pour répondre aux exigences en matière de sécurité, de réduction des coûts et de disponibilité des équipements, il est crucial de mettre en place une maintenance bien structurée. Celle-ci doit assurer un fonctionnement optimal des systèmes tout en maîtrisant les risques et les dépenses.

Même si les machines utilisées dans le processus de production chez SOMIPHOSE sont solides et adaptées aux conditions industrielles difficiles, elles ne sont pas à l'abri des pannes ni de l'usure. Ces défaillances techniques peuvent avoir un impact important sur la productivité de l'unité, voire entraîner un arrêt total de la chaîne de production dans certains cas.

Le complexe SOMIPHOSE comprend plusieurs unités équipées de systèmes modernes, notamment dans la voie humide, qui joue un rôle essentiel dans le processus de production. Ces équipements, exposés aux défaillances, entraînent souvent des arrêts imprévus nécessitant une maintenance corrective. La voie humide, plus sujette aux pannes que la voie sèche, représente ainsi le maillon le plus critique de la chaîne de production.

Malgré la mise en place d'une stratégie de maintenance au sein de l'entreprise SOMIPHOSE, la chaîne de production continue de rencontrer des pannes fréquentes, en particulier au niveau de la voie humide, ce qui impacte négativement le rendement global. Face à cette situation, notre travail s'articule autour de l'optimisation de cette stratégie de maintenance, dans le but de réduire les défaillances, d'améliorer la disponibilité des équipements et d'assurer une meilleure continuité de la production.

Cette étude prend départ à partir de l'analyse des pannes enregistrées au sein de la chaîne de production, en s'appuyant sur des méthodes de diagnostic comme la FMD et l'AMDEC. Ces outils nous permettent d'identifier avec précision les éléments les plus critiques du système, c'est-à-dire ceux qui impactent le plus la performance globale. À partir de ces résultats, nous visons à optimiser la stratégie de maintenance existante, en l'adaptant aux défaillances réelles rencontrées sur le terrain.

L'étude a abouti à la proposition d'un plan de maintenance préventive et de solutions ciblées pour optimiser la stratégie de maintenance, en vue de limiter les pannes et d'améliorer la performance de la production.

Notre mémoire se divise en trois chapitres :

- Chapitre 1 : état de l'art
- Chapitre 2 : recherche bibliographique
- Chapitre 3 : étude de cas et solution proposé

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion dans laquelle nous résumons les résultats de notre recherche.



Chapitre I : état de l'art



I.1 Introduction

Ces dernières années, l'essor rapide de la mécanisation et de l'automatisation des processus industriels a profondément modifié les modes de production au sein des entreprises. Si ces avancées technologiques ont permis d'accroître fortement la productivité et la précision des opérations, elles ont également entraîné une augmentation importante des exigences en matière de maintenance. En effet, dans de nombreuses industries, la part de la maintenance dans le coût total de production a nettement progressé, faisant de cette fonction un levier stratégique essentiel.

Par ailleurs, la vision classique de la maintenance, longtemps perçue comme une fonction secondaire et un simple centre de coûts, a profondément évolué. Elle est aujourd'hui considérée comme une activité stratégique à forte valeur ajoutée, ayant un impact direct sur la performance globale de l'entreprise. En effet, la maintenance joue un rôle crucial dans l'assurance de la disponibilité et de la fiabilité des équipements, la diminution des arrêts imprévus, la prolongation de la durée de vie des installations, ainsi que dans l'amélioration de la qualité des produits et de la sécurité des opérateurs.

Dans ce contexte, il est essentiel d'accorder une attention particulière à la structuration de la fonction maintenance au sein de l'entreprise. La réalisation régulière d'un diagnostic de cette fonction permet non seulement d'en mesurer l'efficacité, mais aussi de repérer les axes d'amélioration, d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles et d'harmoniser les pratiques avec les standards les plus avancés. Cette démarche peut conduire à l'adoption de stratégies de maintenance plus performantes, telles que la maintenance prévisionnelle, la maintenance conditionnelle, ou encore l'intégration des technologies issues de l'industrie 4.0.

Dans ce chapitre, nous avons veillé à démontrer la pertinence de notre étude en nous fondant sur une analyse approfondie des travaux de recherche existants dans le domaine. En nous appuyant sur les apports de divers chercheurs ayant abordé la fonction maintenance sous des perspectives techniques, organisationnelles et économiques, nous avons mis en lumière l'intérêt et le potentiel de notre approche. Cette base théorique solide confère une légitimité à notre démarche et souligne l'importance grandissante d'une gestion efficace de la maintenance dans un contexte industriel marqué par une compétitivité et des exigences accrues.

I.2 Synthèse bibliographique

Cette revue bibliographique met en lumière plusieurs méthodes de maintenance préventive et d'optimisation, notamment l'AMDEC, l'OMF ainsi que les algorithmes intelligents tels que GA, PSO et ACO. Ces différentes approches ont pour objectif d'accroître la fiabilité des systèmes, de diminuer la fréquence des pannes et d'optimiser la gestion des équipements industriels.

Ribot, P. (2009) [1] L'intégration de cette étude dans les systèmes aéronautiques s'inscrit dans le cadre du projet ARCHISTIC, mené en partenariat avec Airbus et l'ENIT. Cette thèse propose un cadre global de surveillance destiné à soutenir la prise de décision en cas de défaillance du système. Une fonction de prédiction générique et adaptative est élaborée à partir d'un modèle de Weibull, permettant d'estimer de manière probabiliste la durée de vie résiduelle du système. Des critères de performance sont définis pour évaluer l'architecture de supervision proposée, en se basant sur les capacités de diagnostic et de prédiction. Par ailleurs, une méthode de rétroconception est préconisée afin d'assurer l'efficacité du diagnostic, en veillant à ce que le système soit facilement analysable.

ABDERRAHMANE, S., & CHERCHAB, B. (2021) [2] Au cours de cette étude, les chercheurs ont amélioré la maintenance préventive du système de télécommande du réseau électrique HTB de SONELGAZ Transport d'électricité à Ghardaïa. Leur démarche repose sur l'analyse des périodes de défaillance du système. Pour cela, ils ont évalué les temps d'arrêt à

l'aide de trois méthodes efficaces et complémentaires : la méthode ABC (ou Pareto), l'analyse FMD, et la méthode AMDEC. L'objectif principal est de réduire les périodes d'indisponibilité et d'optimiser la disponibilité du système de télécommande.

Moncef, BOUCHEMAL (2022) [3] Ce mémoire porte principalement sur l'application de la méthode OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité), dans le but d'améliorer la fiabilité et la sûreté de fonctionnement du système de pompage au sein du complexe industriel RA2K. Dans un premier temps, une classification initiale des installations industrielles a été réalisée selon leur criticité, conduisant à la sélection de deux pompes parmi les cinq existantes. Ensuite, un second tri a été effectué à l'aide de diagrammes de Pareto, dans une optique d'optimisation de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité. Par ailleurs, l'amélioration de la fiabilité opérationnelle a été approfondie grâce à deux approches d'analyse des risques : l'AMDEC et la méthode HAZOP. Ce travail a permis de repérer les composants critiques et de définir des stratégies de maintenance adaptées. Il est envisageable d'élargir cette démarche à d'autres installations jugées stratégiques au sein de l'entreprise.

Gauthier, R. (1995) [4] Dans cet article, les auteurs ont mené une analyse approfondie du processus de développement de nouveaux produits, considéré comme un système complexe mobilisant diverses techniques, outils et méthodes d'aide à la décision. Face à des problématiques récurrentes telles que les dépassements de budget, les retards ou les défauts de qualité, ils ont élaboré un modèle structuré visant à identifier, analyser et maîtriser ces dysfonctionnements. Ce modèle a été validé à travers plusieurs études de cas industrielles, confirmant sa pertinence et sa faisabilité.

L'étude souligne le rôle stratégique de la gestion de l'information tout au long du cycle de vie du produit. Elle a abouti à la conception d'un nouveau cadre de gestion des risques projet, fondé sur une méthode unifiée de traitement de l'information. Ce cadre repose notamment sur deux outils innovants : A.P.R. Projet et A.M.D.E.C. Projet, développés à partir des principes fondamentaux de la Sûreté de Fonctionnement. Ce travail ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour renforcer les pratiques de gestion des risques durant la phase de conception, avec un potentiel d'extension à d'autres installations stratégiques de l'entreprise.

Fitri, L. Alhilman. Et al (2019) [5] Cet article présente une étude mettant en avant l'importance de la gestion de la maintenance pour assurer la rentabilité industrielle, notamment en réduisant les coûts liés aux pannes. L'objectif de la recherche était d'optimiser la maintenance préventive afin d'accroître la fiabilité des équipements tout en limitant les dépenses. Face aux limites de la politique de maintenance en vigueur (entretien bimensuel), les auteurs ont proposé un algorithme génétique robuste, fondé sur trois fonctions d'évaluation, pour améliorer la planification et l'efficacité des interventions.

Pereira.C, et al (2017) [6] Dans cet article, une méthode basée sur l'algorithme d'optimisation par essais particuliers (PSO) est proposée pour planifier la maintenance préventive non périodique. Cette approche s'est révélée efficace pour optimiser la disponibilité du système, en prenant en compte des facteurs concrets tels que les probabilités de réparation, les coûts associés, ainsi que les interventions de maintenance partiellement réalisées.

Berrahal.O,Djemana.M et al [7] Cette étude propose une analyse approfondie de l'impact transformateur de la maintenance préventive sur les systèmes industriels, en mettant l'accent sur des aspects clés tels que la fiabilité, la sécurité et la rentabilité. En appliquant des stratégies préventives rigoureusement conçues, la maintenance préventive (MP) contribue de manière significative à la réduction des taux de défaillance, essentiels au maintien de la stabilité opérationnelle. La recherche enrichit le domaine en comparant trois techniques avancées d'optimisation : le recuit simulé (SA), les algorithmes génétiques (GA) et l'optimisation par colonies de fourmis (ACO), dans le but d'identifier les approches les plus efficaces pour optimiser les opérations de MP. Les résultats révèlent que les algorithmes génétiques permettent

la plus forte réduction des défaillances, tandis que l'ACO se distingue par sa capacité à minimiser les coûts.

I.3 Conclusion

Ce chapitre a présenté une vue d'ensemble sur l'état d'avancement des recherches dans le domaine du diagnostic et de la maintenance préventive. Il nous a permis de comprendre les approches utilisées par les chercheurs et les outils mis en œuvre pour améliorer la fiabilité des systèmes. Cette synthèse constitue une base de réflexion pour notre propre étude.



Chapitre II : Recherche bibliographique



II.1 Introduction

Aujourd'hui, la fonction maintenance a considérablement évolué pour devenir un pilier essentiel au sein de l'entreprise. Elle regroupe l'ensemble des actions de dépannage, de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification, qu'il s'agisse d'équipements matériels ou immatériels. Pour garantir une exécution optimale des activités de maintenance en termes de sécurité, de coût et de qualité, il est fondamental de bien comprendre les objectifs associés à cette fonction, notamment en ce qui concerne le choix des méthodes à adopter.

Ainsi, pour sélectionner la stratégie de maintenance la plus adaptée à l'optimisation d'une ligne de production, il est indispensable de disposer d'informations précises et pertinentes sur la maintenance.

Ce chapitre commencera par une présentation de la notion de maintenance et de ses principales catégories, avant de définir le diagnostic et les différentes techniques qui y sont liées. Il se terminera par une explication détaillée de la chaîne de production.

II.2 Définition de la maintenance

L'entretien des installations de production est crucial pour la productivité des sociétés tout autant que pour la qualité de leurs produits. C'est un défi industriel qui nécessite de remettre en question les structures existantes et de promouvoir des méthodes adaptées aux nouvelles caractéristiques des matériaux.

D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : « Ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

II.2.1 Types de maintenances

Deux termes clés se distinguent dans la définition de la maintenance : maintenir et rétablir.

- Maintenance corrective
- Maintenance Préventive

II.3 Le diagnostic

Dans le domaine industriel, le diagnostic désigne l'ensemble des démarches visant à évaluer un système ou un processus en identifiant les causes probables de ses défaillances. Cette évaluation repose sur un raisonnement méthodique, s'appuyant sur les données collectées lors d'inspections, de contrôles ou d'essais de fonctionnement.[8]

II.3.1 Les méthodes de diagnostic

La figure (II.1) présente une classification des principales méthodes de diagnostic utilisées dans les systèmes industriels pour détecter et analyser les défaillances. Ces méthodes se répartissent en trois grandes catégories : internes, externes, et inductives/déductives. Les méthodes internes reposent sur la modélisation physique du système et incluent des techniques telles que la redondance analytique, l'identification des paramètres et l'estimation de l'état. Les méthodes externes, utilisées en l'absence de modèle, s'appuient sur l'analyse des signatures et la reconnaissance de formes. Enfin, les méthodes inductives et déductives s'appuient sur une modélisation fonctionnelle et se déclinent en approches quantitatives (comme la méthode ABC ou l'abaque de Noiret) et qualitatives (telles que l'AMDE, l'AMDEC ou l'analyse 5M/ADD)..[9]

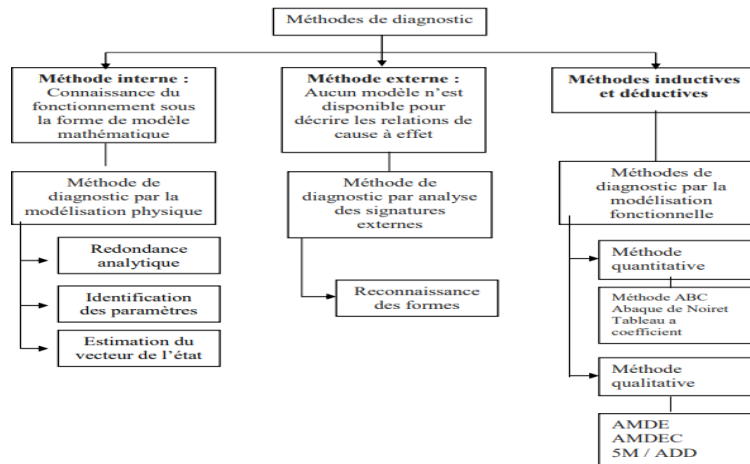


Figure II.1: Classification des méthodes de diagnostic

II.3.2 Méthode ABC (Pareto)

La méthode ABC constitue un outil efficace pour mettre en évidence les éléments les plus critiques d'un problème, facilitant ainsi la prise de décision et la hiérarchisation des priorités. Elle consiste à classer les événements, tels que les pannes, en fonction de leur impact décroissant (durée d'interruption, coût financier, fréquence, etc.), chaque événement étant associé à un équipement spécifique. Un graphique est ensuite élaboré pour illustrer la relation entre les pourcentages cumulés de coûts et ceux des pannes cumulées. Ce diagramme met en évidence trois zones distinctes, correspondant aux niveaux d'importance des éléments analysés.

- **Zone A** : 20 % des pannes génèrent 80 % des coûts → priorité absolue en maintenance.
- **Zone B** : 30 % des pannes représentent 15 % des coûts → surveillance modérée.
- **Zone C** : 50 % des pannes n'occasionnent que 5 % des coûts → impact faible, à traiter en dernier.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A [10]

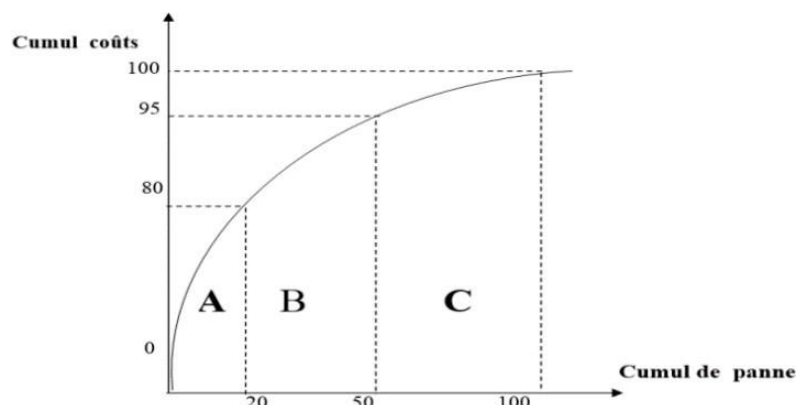


Figure II.2: Diagramme de Pareto ou courbe ABC

II.3.3 Méthode FMD

a. Fiabilité : La fiabilité représente la capacité d'un système à remplir sa fonction sans défaillance pendant une période donnée et dans des conditions définies. Elle se mesure par la probabilité de bon fonctionnement, en tenant compte du temps d'utilisation, des conditions d'exploitation et du rôle exact du dispositif concerné.[11]

- b. Maintenabilité :** La maintenabilité désigne l'aptitude d'un équipement à être réparé ou remis en état de fonctionnement dans un délai donné, en utilisant des méthodes et des ressources définies, et dans des conditions déterminées. Elle reflète également la probabilité de restaurer le système dans les délais fixés.[11]
- c. Disponibilité** Aptitude d'un produit à assurer une fonction requise, dans des conditions définies, à un instant donné ou sur une période déterminée, en supposant que les ressources externes nécessaires sont disponibles.[11]

II.3.4 Méthode AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive visant à détecter et traiter les causes potentielles de défauts avant leur apparition. Elle repose sur un travail collaboratif structuré, tirant profit de l'expertise collective des participants. Son efficacité dépend en grande partie de l'expérience de l'animateur chargé de conduire la démarche.

- ✓ **Note "G" :** Gravité de l'effet du défaut.
- ✓ **Note "F" :** fréquence d'apparition de la cause.
- ✓ **Note "D" :** Détection : probabilité de non détection de la cause.[12]

Date :	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal	SONATRACH				
	Système :		Sous-systèmes :				Etabli par :				
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive	
						F	D	G	C		

Figure II.3: feuille d'AMDEC

II.4 Conclusion

Ce chapitre présente les notions fondamentales de la maintenance ainsi que ses différentes catégories, avant d'aborder le concept de diagnostic et de mettre en évidence certaines des principales méthodes d'analyse des défaillances. Il vise ainsi à faciliter la compréhension du travail développé dans le chapitre 3.



Chapitre 03 : étude de cas et solution proposé



III.1 Introduction

L'entreprise SOMIPHOS, une filiale du groupe MANAL, qui est spécialisée dans l'exploitation et le traitement du phosphate. Elle est située à Djebel Onk, dans la région de Tébéssa. Ce complexe dispose de deux voies de traitement : la voie sèche et la voie humide. Notre choix s'est porté sur la concentration de nos recherches sur la voie humide, étape essentielle du processus d'enrichissement du phosphate., et aussi parce qu'elle contient plusieurs équipements critiques qui tombent souvent en panne. Dans ce chapitre, on a d'abord montré en détail la chaîne de la voie humide de séchage jusqu'à la calcination. Ces sous-systèmes tombent fréquemment en panne à cause des conditions difficiles comme humidité, poussière, vibrations... ce qui favorise l'apparition de pannes fréquentes. Et forcément, ces pannes affectent la fiabilité et la disponibilité du système, et provoquent des arrêts non planifiés. Ensuite, à partir de l'histoire des pannes, on a utilisé la méthode FMD (fiabilité, facilité de maintenance et disponibilité), après une application AMDEC sur les sous-systèmes. Enfin, sur la base de ces études, nous avons proposé un plan de maintenance préventive et accompagné de solutions techniques.

III.2 Présentation de La chaine de traitement

La figure III.1 illustre le processus de traitement (voie humide) du phosphate pour sa transformation en produit marchand

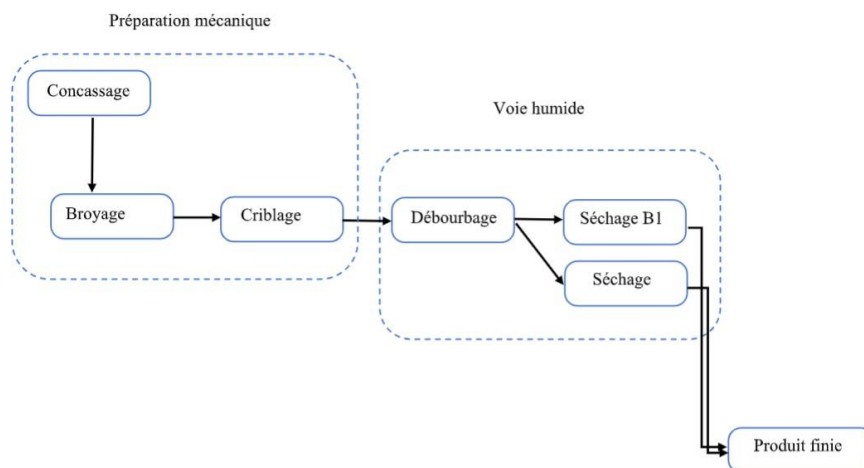


Figure III.1 : Schéma du système de voie humide

III.2.1 Préparation mécanique

Avant d'être soumis à des traitements spécifiques, le matériau brut passe par une première phase de traitement qui prépare le minerai pour les étapes suivantes. Cela se fait en utilisant divers procédés, notamment.

- ✓ **Secteur de Concassage** : L'objectif de ce processus est de réduire la dimension des morceaux de 1000 mm à une taille maximale de 200 mm Elle est effectuée à l'aide d'un concasseur à cône giratoire avec un taux de réduction de cinq, principalement destiné aux produits extraits de la carrière de Djemidjema.
- ✓ **Secteur de Broyage** : Cette procédure vise à diminuer la dimension du produit broyé à une taille de 20mm, ce qui représente un indice de réduction de dix.

- ✓ **Secteur du Criblage :** Cela implique la suppression des produits dépassant 15mm par l'intermédiaire de trois cribles.



Figure III.2 : Broyeur



Figure III.3 : Concasseur

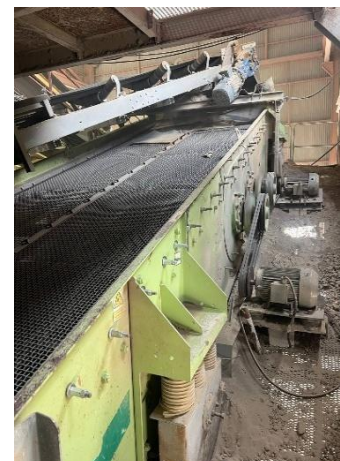


Figure III.4 : Crible

III.2.2 Méthode humide

Le processus d'enrichissement sert à produire un article marchand avec une teneur variant de (73°° à 77°°).

Le processus comprend trois étapes :

- ✓ **Secteur Débourage :** Le résidu du criblage de particules plus petites que 15mm est mélangé à de l'eau dans un rapport solide/liquide équivalent à 2/3 (t/m²), puis alimenté vers les cribles humides avant d'être dirigé vers des hydrocyclones pour séparer les fines (argile) du produit. Finalement, le produit est soumis à des filtres à bande afin d'obtenir une séparation liquide-solide, le produit final ayant une humidité inférieure à 15%.



Figure III.5 : Attriteur



Figure III.6 : Filtre a bande

- ✓ **Secteur de calcination (Séchage B1) :** La fonction de la calcination consiste à décomposer les carbonates et à éliminer les substances organiques ainsi que les matières volatiles contenues dans le phosphate dépoussiéré par le procédé thermo-chimique dans trois fours à lit fluidisé.
- ✓ **Secteur de séchage :** Cet espace est équipé de deux fours rotatifs horizontaux où la température réglée atteint 105°C et l'humidité est diminuée à 1%. Le produit sera acheminé vers les silos de stockage pour sa mise en exportation

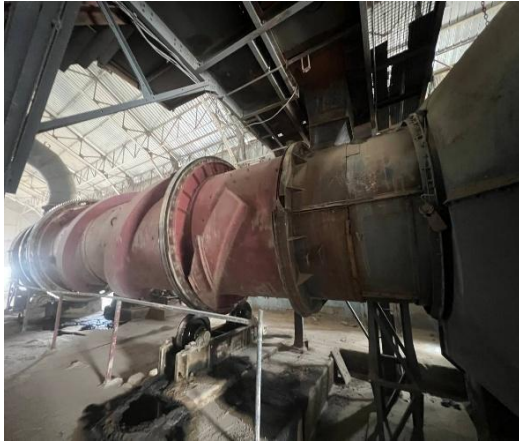


Figure III.7 : séchage B1



Figure III.8 : séchage

III.3 Fiche historique des pannes

Dans le tableau suivant, nous exposons l'historique des pannes concernant les composants de la voie humide pour l'année 2021.

Equipements	Nombre de panne	Nombre d'heure de panne
Vis 781 A	2	18
Broyeur N°3	6	55
T22	5	34
Attriteur	12	460
Pompe 130	16	97
Variateur PPE 130 B	1	4
VP	2	14
Four 1	3	62
Pompe 201	10	198
T13	1	8
TC	5	31
Broyeur N°1	3	32
Four 2	3	21
Compresseur 732	2	72
Broyeur N°2	8	178
Pompe W100	2	14
FAB, B	9	102
Conduite d'eau	1	4
Ppe GS-E11B	2	20
Ppe GS-E11A	2	14
CRIBLE532A/B	2	52
Pompe 133	2	68
Pompe récup d'eau	3	156
Pompe 166	5	138
T11	1	112
CRIBLE N° 1	1	2
ALB N° 1	5	28
ALB N° 2	1	4
ALB N° 3	1	6
Total	116	2004

Table III-1 : Fiche historique des pannes de l'année 2021

III.4 Étude de la FMD

III.4.1 Description de la méthode

Nous utiliserons la technique Pareto (MFD) en nous basant sur le tableau de l'historique des défaillances pour examiner la fiabilité, la facilité d'entretien et la disponibilité des équipements, en repérant les composants les plus essentiels à prioriser afin d'améliorer l'efficacité du système.

Nous présentons ci-après les trois tableaux résumant l'application de la méthode FMD sur les données de la fiche historique des pannes.

III.4.2 La fiabilité

III.4.2.1 Description

L'analyse de fiabilité repose sur l'examen des pannes pour repérer les composants les moins fiables. On effectue un classement des équipements en fonction du nombre décroissant de pannes, puis on calcule leur pourcentage de NP ainsi que les pourcentages cumulés. Les 80% initiaux déterminent les appareils les plus fiables.

Equipements	Nombre d'heure de panne (NHP)	Nombre de panne (NP)	Cumulé NP	% NP	% cumulé
Pompe 130	97	16	16	13,79%	13,79%
Attriteur	460	12	28	10,34%	24,14%
Pompe 201	198	10	38	8,62%	32,76%
FAB, B	102	9	47	7,76%	40,52%
Broyeur N°2	178	8	55	6,90%	47,41%
Broyeur N°3	55	6	61	5,17%	52,59%
T22	34	5	66	4,31%	56,90%
TC	31	5	71	4,31%	61,21%
Pompe 166	138	5	76	4,31%	65,52%
ALB N° 1	28	5	81	4,31%	69,83%
Four 1	62	3	84	2,59%	72,41%
Broyeur N°1	32	3	87	2,59%	75,00%
Four 2	21	3	90	2,59%	77,59%
Pompe récup d'eau	156	3	93	2,59%	80,17%
Vis 781 A	18	2	95	1,72%	81,90%
VP	14	2	97	1,72%	83,62%
Compresseur 732	72	2	99	1,72%	85,34%
Pompe W100	14	2	101	1,72%	87,07%
Ppe GS-E11B	20	2	103	1,72%	88,79%
Ppe GS-E11A	14	2	105	1,72%	90,52%
CRIBLE532A/B	52	2	107	1,72%	92,24%
Pompe 133	68	2	109	1,72%	93,97%
Variateur PPE 130 B	4	1	110	0,86%	94,83%
T13	8	1	111	0,86%	95,69%
Conduite d'eau	4	1	112	0,86%	96,55%
T11	112	1	113	0,86%	97,41%
CRIBLE N° 1	2	1	114	0,86%	98,28%
ALB N° 2	4	1	115	0,86%	99,14%
ALB N° 3	6	1	116	0,86%	100,00%
Total	2004	116		100,00%	

Table III-2 : La fiabilité

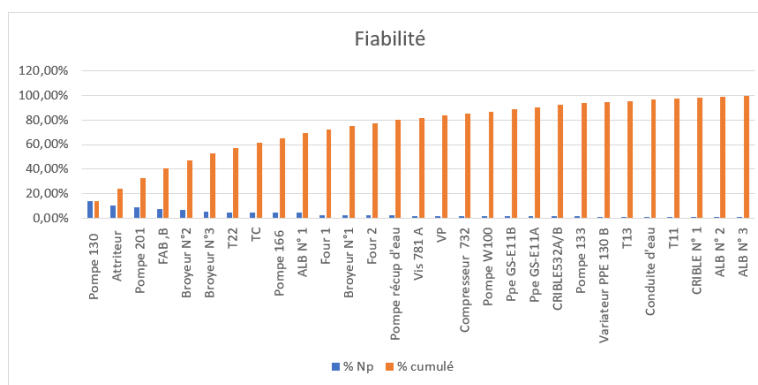


Figure III.9 : Histogramme de fiabilité

Ce diagramme montre que la plupart des défaillances se produisent sur certains équipements spécifiques, à savoir la Pompe 130, l'Attriteur, la Pompe 201, le FAB, le Broyeur N°2, le Broyeur N°3, T22, TC, Pompe 166, ALB N°1, Four 1, Broyeur N°1, Four 2 et la Pompe récup d'eau. Ce sont également les équipements les moins fiables ; il est donc nécessaire de concentrer nos efforts sur eux en priorité. Dans un premier temps, il y a des actions préventives systématiques, puis conditionnelles par la suite.

III.4.3 La disponibilité

III.4.3.1 Description

La méthode de disponibilité détermine les équipements les plus indispensables. Ces équipements sont triés par heures de panne décroissantes, puis on calcule les pourcentages et pourcentages cumulés. Les 80% initiaux déterminent les appareils les plus indispensables.

EQPMT	NP	NHP	% NHP	Cumulé	%Cumulé
Attriteur	12	460	22,95%	460	22,95%
Pompe 201	10	198	9,88%	658	32,83%
Broyeur N°2	8	178	8,88%	836	41,72%
Pompe récup d'eau	3	156	7,78%	992	49,50%
Pompe 166	5	138	6,89%	1130	56,39%
T11	1	112	5,59%	1242	61,98%
FAB ,B	9	102	5,09%	1344	67,07%
Pompe 130	16	97	4,84%	1441	71,91%
Compresseur 732	2	72	3,59%	1513	75,50%
Pompe 133	2	68	3,39%	1581	78,89%
Four 1	3	62	3,09%	1643	81,99%
Broyeur N°3	6	55	2,74%	1698	84,73%
CRIBLE532A/B	2	52	2,59%	1750	87,33%
T22	5	34	1,70%	1784	89,02%
Broyeur N°1	3	32	1,60%	1816	90,62%
TC	5	31	1,55%	1847	92,17%
ALB N° 1	5	28	1,40%	1875	93,56%
Four 2	3	21	1,05%	1896	94,61%
Ppe GS-E11B	2	20	1,00%	1916	95,61%
Vis 781 A	2	18	0,90%	1934	96,51%
VP	2	14	0,70%	1948	97,21%
Pompe W100	2	14	0,70%	1962	97,90%
Ppe GS-E11A	2	14	0,70%	1976	98,60%
T13	1	8	0,40%	1984	99,00%
ALB N° 3	1	6	0,30%	1990	99,30%

Variateur PPE 130 B	1	4	0,20%	1994	99,50%
Conduite d'eau	1	4	0,20%	1998	99,70%
ALB N° 2	1	4	0,20%	2002	99,90%
CRIBLE N° 1	1	2	0,10%	2004	100,00%
Total	116	2004	100,00%		

Table III-3 : La disponibilité

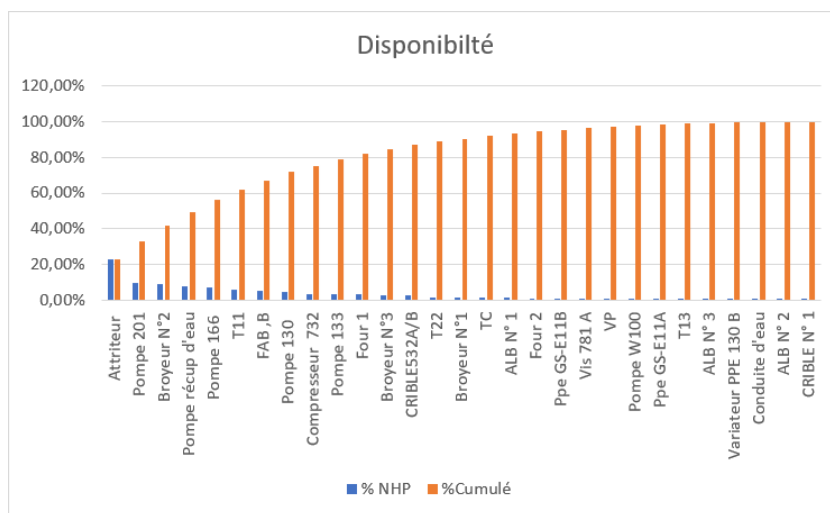


Figure III.10 : Histogramme de disponibilité

L'évaluation de la disponibilité révèle que les éléments affichant les taux de disponibilité les plus faibles sont : Attriteur, Pompe 201, Broyeur numéro 2, Pompe de récupération d'eau. Pompe 166, T11, FAB, B, Pompe 130, Compresseur 732, Pompe 133, Four 1. Ainsi, il offre la possibilité de déterminer la séquence d'intervention des différents types de pannes selon leur gravité. Ces pannes requièrent des mesures correctives et préventives dans le but d'accroître la disponibilité et réduire les temps d'inactivité.

III.4.4 La maintenabilité

III.4.4.1 Description

La méthode de maintenabilité repose sur le moyen de temps de panne $t = \text{NHP} / \text{NP}$ pour identifier les équipements les plus longs à réparer. On effectue un classement des équipements en fonction t décroissant, puis on calcule leur pourcentage de t ainsi que les pourcentages Cumulés. Les 80% initiaux déterminent les appareils qui prendront le plus de temps de réparation.

Equipements	NP	N d'heure de panne	t=NHP/NP	Cumulé t	t%	% cumulé
T11	1	112	112	112	21,56%	21,56%
Pompe récup d'eau	3	156	52	164	10,01%	31,57%
Attriteur	12	460	38,33333333	202,3333333	7,38%	38,95%
Compresseur 732	2	72	36	238,3333333	6,93%	45,88%
Pompe 133	2	68	34	272,3333333	6,55%	52,42%
Pompe 166	5	138	27,6	299,9333333	5,31%	57,74%
CRIBLE532A/B	2	52	26	325,9333333	5,01%	62,74%
Broyeur N°2	8	178	22,25	348,1833333	4,28%	67,03%
Four 1	3	62	20,66666667	368,85	3,98%	71,00%
Pompe 201	10	198	19,8	388,65	3,81%	74,82%
FAB, B	9	102	11,33333333	399,9833333	2,18%	77,00%
Broyeur N°1	3	32	10,66666667	410,65	2,05%	79,05%
Ppe GS-E11B	2	20	10	420,65	1,93%	80,98%
Broyeur N°3	6	55	9,166666667	429,8166667	1,76%	82,74%
Vis 781 A	2	18	9	438,8166667	1,73%	84,47%
T13	1	8	8	446,8166667	1,54%	86,01%
VP	2	14	7	453,8166667	1,35%	87,36%
Four 2	3	21	7	460,8166667	1,35%	88,71%
Pompe W100	2	14	7	467,8166667	1,35%	90,05%
Ppe GS-E11A	2	14	7	474,8166667	1,35%	91,40%
T22	5	34	6,8	481,6166667	1,31%	92,71%
TC	5	31	6,2	487,8166667	1,19%	93,90%
Pompe 130	16	97	6,0625	493,8791667	1,17%	95,07%
ALB N° 3	1	6	6	499,8791667	1,16%	96,23%
ALB N° 1	5	28	5,6	505,4791667	1,08%	97,30%
Variateur PPE 130 B	1	4	4	509,4791667	0,77%	98,07%
Conduite d'eau	1	4	4	513,4791667	0,77%	98,84%
ALB N° 2	1	4	4	517,4791667	0,77%	99,61%
CRIBLE N° 1	1	2	2	519,4791667	0,39%	100,00%
Totale	116	2004	519,4791667		100,00%	

Table III-4 : La maintenabilité

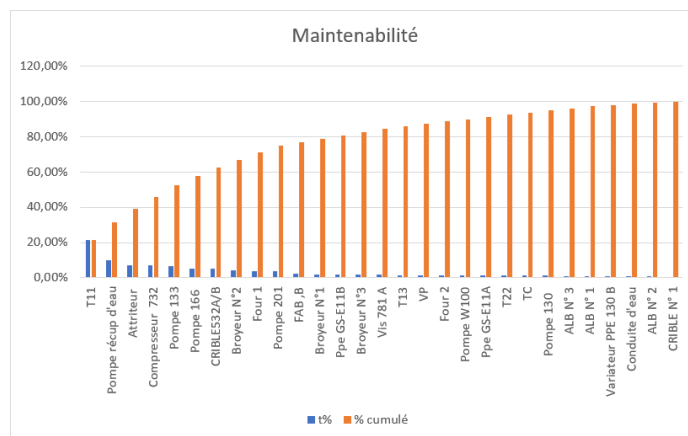


Figure III.11 : Histogramme de la maintenabilité

L'analyse de la maintenabilité montre que les sous-système Attriteur, T11, Pompe de récupération d'eau, Compresseur 732, Pompe 133, Pompe 166, CRIBLE532A/B, Broyeur N°2, Four 1, Pompe 201, FAB, B, Broyeur N°1 et Ppe GS-E11B présentent des temps de réparation élevés. Ils sont donc considérés comme les plus sensibles en termes de maintenabilité.

III.4.5 Synthèse sur FMD :

L'analyse croisée des résultats de fiabilité, maintenabilité et disponibilité met en évidence un ensemble d'équipements critiques qui cumulent un nombre élevé de pannes, de longs temps de réparation et de faibles taux de disponibilité. Ces équipements, identifiés comme les plus pénalisants pour le système, nécessitent une attention particulière à travers des actions de maintenance ciblées, combinant prévention systématique, surveillance conditionnelle et interventions correctives, afin d'assurer une meilleure performance globale et de limiter les arrêts non planifiés.

A partir de l'étude de la méthode PARETO et après l'interprétation des résultats on prendre les sous-systèmes communs aux 80 % les plus critiques entre les trois critère FMD, Attriteur, Pompe 130, broyeur N°2, FAB, Pompe récup d'eau, Four, Pompe 166, Pompe 201, ces sous-ensembles ont été retenus pour une analyse AMDEC

III.5 Application de la méthode AMDEC

III.5.1 Décomposition du système

L'AMDEC est une technique d'analyse créative qui se base principalement sur la déconstruction fonctionnelle d'un système en parties élémentaires, jusqu'à atteindre les composants les plus basiques.

Nous avons segmenté le système en 8 sous-systèmes (SS) :

- ✦ (SS1) : Attriteur
- ✦ (SS2) : broyeur N°2
- ✦ (SS3) : Pompe récup d'eau
- ✦ (SS4) : Pompe 166
- ✦ (SS5) : Pompe 130.
- ✦ (SS6) : FAB
- ✦ (SS7) : Four
- ✦ (SS8) : Pompe 201

Chaque sous-système est décomposé jusqu'aux organes les plus élémentaires. La décomposition du système est représentée ci-dessous.

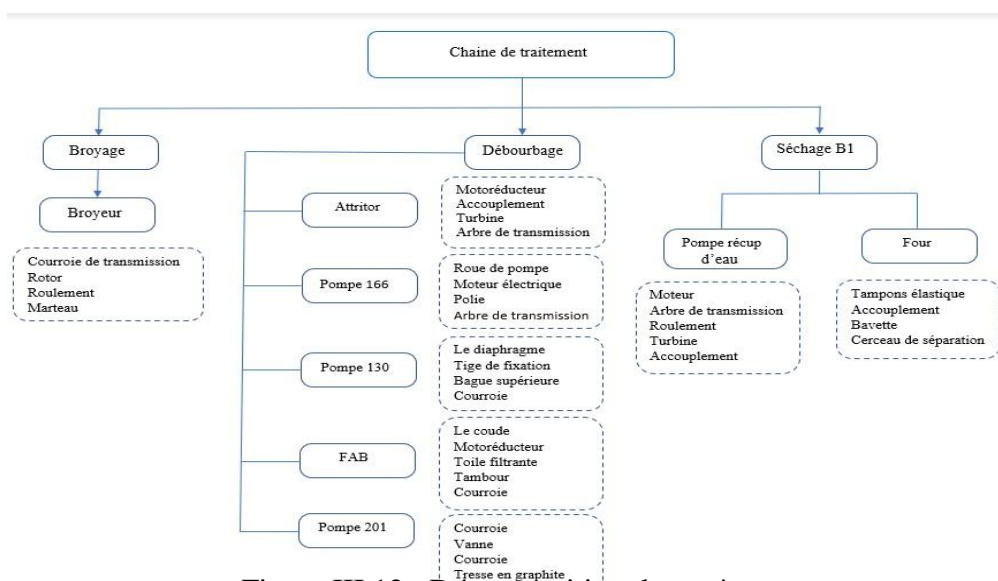


Figure III.12 : Décomposition de système

Date : 27/05/2025	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 1 : Attriteur							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
	Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
F							D	G	C	
Motoréducteur	Transmettre le mouvement rotatif à l'axe de l'attriteur avec un couple adapté	-Arrêt complet	-Surchauffe moteur. -lubrification insuffisante. -défaut électrique.	-Arrêt du processus -perte de production	-Température moteur	2	3	2	12	Installation d'un nouveau Motoréducteur
Accouplement RIGIDE	- Relier deux arbres en rotation - Transmettre le couple	-Jeu excessif - Rupture des éléments élastiques	- Surcharge -Défaut de montage	- Transmission irrégulière	-Analyse vibratoire	3	3	2	18	- Changement d'Accouplement
Turbine	Assurer le mélange intensif des matériaux	-usure des pales	Usure par frottement	-Baisse d'efficacité du mélange. -vibrations anormales	-Analyse vibratoire	1	3	4	12	- Révision de turbine
Arbre de transmission	Transmettre le mouvement de rotation de l'accouplement à l'élément entraîné	- Usure - rupture	- Fatigue mécanique -surcharge	- Arrêt de l'attriteur	-Contrôle visuel	2	2	2	12	- Révision de l'arbre de transmission d'attriteur

Table III-5 : Attriteur

Date : 27/05/2025	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 2 : broyeur N°2							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Courroie de transmission	Transmettre le mouvement du moteur au rotor du broyeur	Rupture de la courroie	Surcharge	- Perte de puissance - Glissement - Arrêt du broyeur	-Inspection visuelle -Bruit anormal	3	2	4	24	Changement courroie pour BROYEUR TRIMAN N°2
Rotor	Assurer la rotation pour le broyage	Usure	Choc mécanique	Réduction de la performance de broyage	Analyse vibratoire	1	3	4	12	Entretien de rotor du Broyeur Triman N°2
Roulement	Permettre la rotation fluide du rotor	Rupture	Surcharge fatigue	Blocage du rotor	Bruit	2	2	3	12	Changement de roulements
Marteau	Broyer le matériau par impact	Usure	Fréquence d'utilisation élevée sans arrêt planifié	Augmentation du temps de cycle	Bruit	1	2	4	8	Révision de marteau

Table III-6 : Broyeur N°2

Date : 27/05/2025	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 3 : Pompe récup d'eau							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Moteur	Entraîner la pompe	Surchauffe Panne électrique	Surcharge défaut d'isolement	-Arrêt pompe -perte de fonctionnement	Test électrique	2	2	4	16	-Vérification câblage -surveillance thermique
Arbre de transmission	Transmettre le mouvement de rotation de l'accouplement à l'élément entraîné	- Usure - rupture	- Fatigue mécanique -surcharge	- Arrêt de l'attriteur	-Contrôle visuel	3	2	2	12	- Révision de l'arbre de transmission d'attriteur
Roulement	Permettre la rotation fluide du rotor	Rupture	Surcharge Fatigue	Blocage du rotor	Bruit	2	2	3	12	Changement de roulements
Turbine	Brasser et pomper le fluide	Usure	Corrosion	Perte de débit	Contrôle de débit	2	3	4	24	Révision de turbin
Accouplement	Transmettre le couple moteur vers pompe	Désalignement	-Vibration, -mauvais montage, -usure	Vibration	Analyse vibratoire	3	3	3	27	Changements de l'accouplements

Table III-7 : Pompe récup d'eau

Date : 27/05/2025	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal	SOMIPHOS			
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 4 : Pompe 166				Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb			
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Roue de pompe	Assure le pompage du liquide	Usure	Abrasivité du liquide	Diminution du débit	Contrôle du débit	2	2	4	16	remplacement périodique
Moteur électrique	Entraîne la pompe	Surchauffe	-Surcharge, -défaut ventilation	Arrêt pompe	Capteur de température	2	2	4	16	-Nettoyage ventilation, -disjoncteur thermique
Poulie	Transmet mouvement du moteur	Désalignement	Mauvais montage	Vibration	Bruit	2	2	4	24	Alignement
Arbre de transmission	Transmettre le mouvement de rotation de l'accouplement à l'élément entraîné	- Usure - rupture	- Fatigue mécanique -surcharge	- Arrêt de l'attriteur	-Contrôle visuel	2	2	4	16	- Révision de l'arbre de transmission d'attriteur

Table III-8 : Pompe 166

Date : 30/05/2019	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide			Sous-systèmes 5 : Pompe 130.						Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
	Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	D	G	C	
Le diaphragme	- sépare la chambre de pompage du fluide	- perforation du diaphragme - Déformation ou gonflement	- Pression excessive -Température excessive	- perte de pression.	- Visuel	3	2	4	24	- changement de diaphragme
Tige de fixation	- Transmettre le mouvement - Assurer la liaison mécanique	- Tige tordue - Jeu excessif	- Chocs mécaniques - Vibration continue	-Désalignement	- Bruit	3	1	4	12	- changement de tige
Bague supérieure	- Assure le guidage axial de la tige - Réduit le jeu radial	- Usure interne - Fissure	- Frottement répété	- Fuite ou perte d'efficacité	-Contrôle	2	2	2	8	- révision de bague
Courroie	- Transmet le mouvement	- Mauvais alignement - Rupture	- Tension incorrecte	- Arrêt de la pompe	- Bruits anormaux	3	2	4	24	-Changement de courroie

Table III-9 : Pompe 130

Date : 30/05/2019	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 6 : FAB.							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Le coude	- Changer la direction du fluide	- Fuite - Désalignement	-Choc mécanique - Mauvais montage	- Perte de pression	- Analyse de débit	2	2	3	12	- changement de coude
Motoréducteur	- Entraîner le tapis filtrant - Fournir un mouvement rotatif réduit	- Surchauffe - Jeu excessif -Blocage mécanique	- Usure des pignons -Manque de lubrification	-Arrêt du tapis filtrant	- Analyse vibratoire	2	3	4	24	- révision de motoréducteur
Toile filtrante	- Séparer les matières solides des liquides	- Déchirure - Encrassement	- Surcharge - Nettoyage insuffisant	- Fuite ou perte d'efficacité	-Contrôle	2	1	4	8	- Perte d'efficacité
Tambour	- Faire avancer la toile filtrante	-Usure de surface - Patinage	-Accumulation de boues - Roulements défectueux	- Dérive de la bande	-Inspection mécanique	2	1	4	8	- révision du tambour
Courroie	- Transmet le mouvement	- Mauvais alignement - Rupture	- Tension incorrecte	- Arrêt de la pompe	- Bruits anormaux	3	2	4	24	-Changement de courroie

Table III-10 : FAB

Date : 30/05/2019	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Système : Voie humide		Sous-systèmes 7 : Four.							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Tampons élastique	- Absorber les vibrations	-Fissure -Écrasement	- Températures excessive -Surcharge mécanique	-Transmission de vibration	- Bruit	2	2	3	12	-Changement tampons élastique
Accouplement	- Relier deux arbres en rotation - Transmettre le couple	-Jeu excessif - Rupture des éléments élastiques	- Surcharge -Défaut de montage	-Transmission irrégulière	-Analyse vibratoire	2	3	2	12	- Changement d'Accouplement
Bavette	- Assurer l'étanchéité entre les éléments	- Détachement - Fissuration	- Frottement répété	-Fuite de chaleur ou de gaz	-Visuel	2	2	3	12	- révision de bague
Cerceau de séparation	- Maintenir la bavette en place	- Déformation -Desserrage	- Dilataction thermique - Chocs mécanique	- Perte d'étanchéité	- Mesure de jeu	2	3	3	18	- Réglage du variateur de vitesse

Table III-11 : Four

Date : 30/05/2019	AMDEC Machine					Phase de fonctionnement : Normal				SOMIPHOS
	Systems : Voie humid		Sous-systèmes 8 : Pompe 201							Etabli par : -Bounouara Amel -Alliouche Zineb
Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective/préventive
						F	D	G	C	
Vanne	- Réguler ou isoler le débit d'alimentation	-Fuite -Blocage	- Corps usé - Siège déformé	- Perte de pression	-visuel	2	1	4	8	-Montage vanne sur la pompe d'alimentation 201
Courroie	- Transmet le mouvement	- Mauvais alignement - Rupture	- Tension incorrecte	- Arrêt de la pompe	- Bruits anormaux	3	2	4	24	-Changement de courroie
Tresse en graphite	- Assurer l'étanchéité autour de l'arbre	-Écrasement -Fuite	- Mauvais serrage - Frottement	- Fuite fluide	-visuel	2	1	3	6	
Presse-étoupe	-Appliquer une pression optimale sur la tresse pour garantir l'étanchéité	-Desserrage - Surcharge	- Vibrations -Réglage excessif	-Fuite	-Contrôle de couple	3	2	3	18	-Changement la tresse graphite

Table III-12 :Pompe 201

III.5.2 Hiérarchisation des modes de défaillance selon leur criticité

Les modes de défaillances sont ordonnés décroissant selon leur criticité, cette classification nous a aidés à identifier les défaillances à traiter en premier lieu.

Groupe	Éléments	Criticité
1	Accouplement (pompe récup d'eau)	27
	Le diaphragme(pompe130)	24
	Turbine (pompe récup d'eau)	24
	Courroie de transmission(broyeur)	24
	Courroie (pompe 130)	24
	Poulie (pompe166)	24
	Motoréducteur (FAB)	24
	Courroie (FAB)	24
	Courroie (Pompe 201)	24
2	Accouplement (Attriteur)	18
	Presse-étoupe (Pompe 201)	18
	Cerceau de séparation (Four)	18
	Moteur (pompe récup d'eau)	16
	Roue de pompe(pompe166)	16
	Moteur électrique(pompe166)	16
	Arbre de transmission(pompe166)	16
3	Motoréducteur (Attriteur)	12
	Arbre de transmission (Attriteur)	12
	Tige de fixation (pompe130)	12
	Rotor(broyeur)	12
	Accouplement(four)	12
	Roulement(broyeur)	12
	Arbre (pompe récup d'eau)	12
	Roulement (pompe récup d'eau)	12
	Le coude	12
	Turbine (Attriteur)	12
	Tampons élastique (Four)	12
	Bavette (Four)	12
4	Marteau (Broyeur)	8
	Bague supérieure(pompe130)	8
	Toile filtrante (FAB)	8
	Tambour (FAB)	8
	Vanne (Pompe201)	8
	Tresse en graphite(pompe201)	6

Table III-13 : Niveau de Criticité

III.5.3 Interprétation des résultats

L'application de la méthode AMDEC, nous a autorisé à organiser et à prioriser les divers éléments de la chaîne de production vois humide en fonction de la criticité de leurs anomalies. Nous avons réussi à segmenter les types de pannes en quatre catégories distinctes :

Groupe 1 :

Cette classe regroupe les modes de défaillances qui présentent un niveau de criticité interdit (24,27) ce sont les problèmes qui impliquent une remise en cause de la conception.

Groupe 2 :

La deuxième classe regroupe les modes de défaillances avec un niveau de criticité élevée (18,16), le remède pour réduire le niveau de criticité s'agit de la révision de la conception des

sous-systèmes et du choix des composants pour une surveillance spécifique, en vue d'une maintenance préventive conditionnelle adaptée.

Groupe 3 :

Les équipements avec une criticité de 12 relèvent d'une criticité moyenne. Ils ne nécessitent pas de modification de conception, mais doivent faire l'objet d'une maintenance préventive systématique et d'un suivi régulier pour garantir leur bon fonctionnement.

Groupe 4 :

La prévention des défaillances pour cette classe d'équipements ayant une faible criticité serait coûteuse et peu rentable. C'est pourquoi il est préférable d'adopter une politique de maintenance curative, en intervenant uniquement en cas de défaillance.

III.6 Proposition d'un plan préventif

En fonction des résultats issus du calcul de l'FMD et en utilisant le classement des résultats de l'analyse AMDEC, nous suggérons un plan de maintenance préventive, précisant périodicité et le niveau de l'intervention.

Equipement	Intervention préventive	Périodicité	Niveau de l'intervention
Accouplement (pompe récup d'eau)	Réglage de l'alignement	15 jours	2
Accouplement (Attriteur)	Vérification alignement + serrage		1
Arbre (pompe récup d'eau)	Placement carter de protection sur l'arbre + graissage		2
Diaphragme	Changement	1 mois	2
Courroie (pompe 130)			2
Courroie (FAB)			2
Courroie (Pompe 201)			2
Presse-étoupe (Pompe 201)			2
Tige de fixation (pompe130)			2
Poulie (pompe166)	Soufflage + alignement	2 mois	1
Motoréducteur (FAB)	Graissage + contrôle jeu	3 mois	1
Arbre de transmission (pompe166)	Placement carter de protection sur l'arbre + graissage		2
Le coude	Contrôle corrosion		2
Tambour (FAB)	Contrôle état surface		2
Accouplement (four)	Vérification alignement + serrage		2
Courroie de transmission(broyeur)	Changement	4 mois	2
Roulement (pompe récup d'eau)			
Tampons élastique (Four)			
Bavette (Four)			
Cerceau de séparation (Four)			
Toile filtrante (FAB)			
Tresse en graphite (pompe201)			
Moteur (pompe récup d'eau)	Graissage et lubrification	1	
Moteur électrique (pompe166)	Nettoyage + équilibrage	1	
Turbine (pompe récup d'eau)			
Roue de pompe (pompe166)	Graissage + vérification jeu	1	
Roulement (broyeur)			
Bague supérieure (pompe130)	Contrôle usure	2	

Vanne (Pompe201)	Graissage		2
Motoréducteur (Attriteur)	Graissage + contrôle jeu	5 mois	1
Arbre de transmission (Attriteur)	Contrôle alignement + jeu		2
Rotor (broyeur)	Équilibrage dynamique	6 mois	1
Turbine (Attriteur)	Équilibrage + contrôle pales		2
Marteau (Broyeur)	Remplacement		2

Table III-14 : Plan de maintenance préventive

III.7 Solution proposer

Après l'étude, nous avons fait et sur la base des résultats que nous avons atteints, nous avons proposé des solutions ciblées pour les éléments du groupe 1, considérés comme les plus critiques, dans le but d'améliorer la fiabilité du système

III.7.1 Motoréducteur :

III.7.1.1 La jauge de contrainte

Les jauges de contraintes ont été développées pour évaluer les déformations des structures afin de déterminer leur état de contraintes. Ce sont de délicats circuits électriques qui, une fois fixés sur les composants à analyser, sont soumis à des déformations, ce qui provoque des changements dans leur résistance électrique. Bien que les résistances électriques puissent être très miniatures, elles demeurent largement employées.[13]

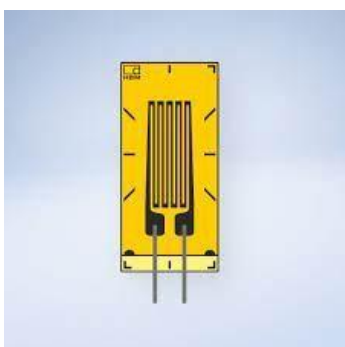


Figure III.14 : jauge de contrainte

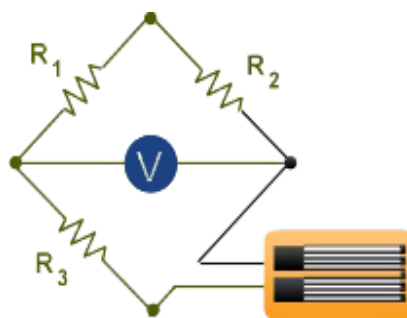


Figure III.13 : principe de fonctionnement de la jauge

III.7.1.2 Intégration d'une jauge de contrainte dans le motoréducteur

Les jauges de contrainte, c'est un truc super pratique qu'on colle sur le motoréducteur du filtre à bande. En gros, ça permet de voir quand le système tire trop. On les met soit sur l'axe qui tourne, soit sur les supports. Quand la bande commence à trop forcer (genre si elle se coince ou si y'a trop de matière), ça fait plier un peu les pièces. Les jauges sentent ce petit pliage et leur résistance électrique change un peu. C'est comme quand on étire un élastique, ça devient différent. Un petit circuit électronique (un pont de Wheatstone, pour les intimes) capte ce changement. Si ça dépasse la limite normale qu'on a fixée

III.7.2 Courroies

III.7.2.1 Tendeur de courroie

Le tendeur de courroie, la courroie serpentine et les autres poulies du système de courroie de transmission fonctionnent en cohésion pour alimenter d'autres systèmes vitaux de

la voiture, tels que le compresseur de climatisation, l'alternateur, la direction assistée et la pompe à eau.[14]



Figure III.15 : Tendeur automatique

III.7.2.2 Intégration d'un tendeur de courroie

Le tendeur automatique équipé d'un capteur de position fonctionne de manière assez simple, mais très efficace. Le capteur, installé sur le bras du tendeur, détecte en continu la position exacte du bras, ce qui permet d'en déduire indirectement la tension exercée sur la courroie. Dès qu'un écart par rapport à la position optimale est identifié que la courroie soit trop détendue ou trop tendue le système ajuste automatiquement la position du bras pour rétablir la tension idéale. Cela permet d'éviter les glissements dus à un manque de tension ou l'usure prématurée des pièces causée par un excès. Ce type de régulation ne demande aucune intervention manuelle une fois le système installé, et il fonctionne discrètement en arrière-plan. L'un des gros avantages, c'est que l'installation est rapide et ne nécessite pas de modification importante sur les machines existantes. C'est une solution simple, fiable et adaptée à notre besoin de stabiliser la performance des broyeurs, pompes et unités FAB.

III.7.3 Diaphragme de pompe 130

III.7.3.1 Débitmètre

Les débitmètres sont des appareils utilisés pour surveiller, quantifier ou consigner les débits, le volume ou la masse des liquides ou gaz. Disposer de ces informations exactes, sûres et actualisées tout en étant capable de gérer le flux est indispensable pour assurer la qualité des produits, renforcer la sécurité opérationnelle, maîtriser les dépenses et garantir la conformité réglementaire des activités.



Figure III.16 : Débitmètre

III.7.3.2 Intégration d'un tendeur de courroie

Dans la pompe 130, le diaphragme tombe souvent en panne à cause d'un débit d'eau trop élevé, ce qui provoque une surcharge mécanique et une usure prématurée.

Nous envisageons d'installer un débitmètre intégré à cette pompe pour mesurer le débit d'eau et d'ajouter également une alarme sonore. Si le débit dépasse la limite fixée, une alarme se déclenche pour assurer que le débit ne dépasse pas leur seuil critique. Cela permet de réduire les incidents de rupture de diaphragme et d'autres dysfonctionnements de pompe, tout en diminuant également les frais liés à la maintenance corrective. Cette option est facile et économique.

III.8 Conclusion

La vois humide a été choisie pour mener l'étude parce qu'elle contient de nombreux éléments, ce qui la rend plus sujette aux défaillances. C'est pourquoi cette vois a été ciblée afin de comprendre et d'identifier les éléments les plus critiques et de développer une stratégie structurée visant à améliorer la fiabilité du système dans son ensemble.

L'exploitation de l'historique des pannes a servi de base pour appliquer la méthode FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité), avec pour objectif d'identifier les 80 % des sous-systèmes les plus critiques selon ces trois critères.

Les résultats des analyses F, M et D ont ensuite été croisés pour faire ressortir un ensemble de 8 sous-systèmes communs aux trois classements.

Ces sous-systèmes sont ensuite analysés à l'aide de la méthode AMDEC, dans le but d'identifier les composants internes les plus critiques et souvent à l'origine des pannes. À partir des résultats de l'AMDEC, les éléments critiques ont été classés selon leur niveau de criticité. Cette classification a permis de concevoir un programme de maintenance préventive sur mesure, visant à anticiper les pannes et à intervenir de manière ciblée en fonction du niveau de risque associé à chaque équipement ou composant. Par conséquent, les opérations de maintenance sont perfectionnées afin d'optimiser la fiabilité tout en diminuant les dépenses.

Finalement, elle suggère des solutions concernant les éléments du premier groupe qui sont les plus critiques, dans le but de minimiser les défaillances et d'éviter les arrêts non planifiés de la Chain de production

Conclusion générale

Cette étude s'est inscrite dans une démarche d'analyse approfondie du fonctionnement de la voie humide au sein de l'entreprise SOMIPHOSSE, identifiée dès le départ comme la partie la plus vulnérable de la chaîne de production. Ce constat a été motivé par la complexité technique des équipements composant cette section ainsi que par la fréquence élevée des pannes constatées, qui impactent fortement la productivité et la stabilité du processus industriel.

L'objectif principal de ce projet a été d'optimiser la stratégie de fonctionnement de la chaîne de production, en agissant directement sur sa fiabilité et sa continuité. Pour cela, nous avons proposé l'élaboration d'un plan de maintenance préventive structuré, accompagné de solutions spécifiques visant à réduire les défaillances au niveau des composants les plus critiques de la chaîne. Cette démarche s'est appuyée sur des outils méthodologiques éprouvés, notamment la méthode FMD et l'analyse AMDEC, qui nous ont permis d'allier une évaluation quantitative des performances à une analyse qualitative des risques de défaillance.

L'analyse FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) nous a permis d'évaluer de manière détaillée les performances de l'ensemble des sous-systèmes constituant l'installation. En quantifiant précisément les indicateurs clés que sont la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité, cette méthode a mis en lumière les sous-systèmes les plus sensibles, c'est-à-dire ceux dont les défaillances ont un impact significatif sur le fonctionnement global de la chaîne. Grâce à cette approche, il a été possible non seulement d'identifier les éléments critiques du système, mais aussi de prioriser les actions correctives ou préventives à mettre en œuvre pour améliorer durablement le rendement et la continuité de service de l'installation.

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est venue compléter l'analyse FMD en apportant une dimension plus approfondie à l'évaluation des sous-systèmes. Grâce à cette méthode préventive, nous avons pu non seulement identifier les composants susceptibles de tomber en panne, mais également évaluer les conséquences potentielles de ces défaillances sur le fonctionnement global de l'installation. Elle nous a permis de déterminer avec précision les éléments les plus critiques,

La combinaison des méthodes FMD et AMDEC a permis de classer les défaillances selon leur criticité, aboutissant à une répartition des composants en quatre groupes de priorité. Ce classement facilite la prise de décision en matière de maintenance et permet de mieux cibler les actions correctives. Les résultats de cette étude sont :

- Mise en place d'un plan de maintenance préventive
- Proposition de solutions spécifiques adaptées aux composants les plus critiques

Pour garantir le bon fonctionnement de la chaîne de production. Parmi les recommandations formulées à l'issue de cette étude, on peut citer notamment :

- La mise en place d'un système de surveillance en temps réel pour anticiper les pannes et limiter les arrêts imprévus.
- L'instauration d'un dispositif de retour d'expérience (REX) pour analyser les défaillances et affiner la stratégie de maintenance.

Références bibliographiques

- [1] Ribot, P. (2009). Vers l'intégration diagnostic/pronostic pour la maintenance des systèmes complexes (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- [2] ABDERRAHMANE, S., & CHERCHAB, B. (2021). La mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de transport d'énergie électrique (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-).
- [3] Moncef, B. O. U. C. H. E. M. A. L. (2022). Amélioration d'une politique de maintenance en milieu industriel par application d'une approche évaluative.
- [4] Gauthier, R. (1995). QUALITE EN CONCEPTION DE PRODUITS NOUVEAUX" proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information" (Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM).
- [5] Fitri, L., Alhilman, J., & Anggana, H. D. (2019). Optimization of Machine Preventive Maintenance Scheduling Using Steady State Genetic Algorithm. ICORE, 5(1). International Conference on Rural Development and Entrepreneurship 2019 :Enhancing Small Business and Rural Development Toward Industrial Revolution 4.0. Vol. 5 No. 1 . ISBN: 978-623-7144-28-1
- [6] Pereira, C. M., Lapa, C. M., Mol, A. C., & Da Luz, A. F. (2010). A particle swarm optimization (PSO) approach for non-periodic preventive maintenance scheduling programming. Progress in Nuclear Energy,52(8),710-714. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2010.04.009>
- [7] Oussama Berrahal, Brahim Hamaidi, Mohamed Djemana, Hadjadj Elias (March 2025). Comparative Assessment of Preventive Maintenance Strategies for Enhanced Reliability, Security, and Cost Reduction in Industrial Systems International Journal of Safety and Security Engineering
- [8] M.MRABET, «Contribution A La Conception D'un Outil D'aide Diagnostic Des Systèmes De Production», Mémoire de master, Université Aboubkr Belkaid de Tlemcen, 2017
- [9] T.ALIANE, «Introduction Au Diagnostic Des Défaillances», laboratoire A2SI-ESIEE-Paris, 2006.
- [10] Technologue Pro. (n.d.). Chapitre 5 : Analyse des défaillances et aide au diagnostic [PDF]. Dans Introduction à la maintenance industrielle. Repéré à <https://www.technologuepro.com/maintenance-industrielle/chapitre-5-analyse-des-defaillance-s-et-aide-au-diagnostic.pdf>
- [11] Khaldi, Z., & Doubal, O. (2024). *Mémoire de fin d'étude : Génie industriel* [Mémoire de master, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed]. Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle.
- [12] ABDI, A. (2013). Optimisation de la fonction maintenance par la méthode AMDEC : Cas de la pompe 2000D à membrane de l'entreprise CERTAF (Mémoire de Master, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département Génie Mécanique). Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Algérie
- [13] Rebout, Y. (2012). Conception et réalisation d'un capteur de force (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou).

[14] Mutua, D. (2024, 9 mars). u'est-ce qu'un tendeur de courroie et signes indiquant qu'il doit être remplacé? reads.alibaba.com.