

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
-T L E M C E N-



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية -تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

Imad Eddine Abdelhak BANOURI

Abderrezak MAROUF

Thème

**Analyse des pannes dans une ligne
de production de plâtre :
Cas de l'entreprise KNAUF Plâtres**

Soutenu publiquement, 18 juin 2026, devant le jury composé de :

- | | | | |
|-----------------------------|-----|---------------|-------------|
| - M. Fouad MALIKI | MCA | ESSA. Tlemcen | Président |
| - Mme. Nour El Houda SEKKAL | MCB | ESSA. Tlemcen | Encadrante |
| - Mme. Imen KOULOUGHLI | MCA | ESSA. Tlemcen | Examineur 1 |
| - Mme. Wahiba FENDI | MCB | ESSA. Tlemcen | Examineur 2 |

Année universitaire : 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Nous remercions **Allah**, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience pour accomplir ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, **Mme Sekkal Nour Elhouda**, pour sa guidance éclairée, sa patience et son soutien précieux tout au long de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant au sein de **KNAUF Fleurus**, **M. Benbernou Cherif Brahim**, Ingénieur Principal de Maintenance, pour son encadrement professionnel, sa confiance et le cadre de travail enrichissant qu'il nous a offert. Nous remercions également **M. Bencharef Yacine**, Ingénieur Fiabilité, et **Mme Lafdjah Aya**, Responsable CBM, pour leur aide technique et leur bienveillance.*

*Nous exprimons notre reconnaissance à **M. Maliki Fouad**, Chef de filière à l'École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen, pour sa disponibilité, son implication et son engagement constant envers les étudiants tout au long de ces trois années.*

Nous remercions les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail.

*Enfin, nous remercions l'ensemble du corps enseignant de l'**ESSAT** ainsi que toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.*

Enfin, nous adressons notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont soutenus et encouragés tout au long de ce travail. Leur appui nous a été d'une grande valeur.

À toutes et à tous, merci du fond du cœur.

Dédicaces

À nos chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur soutien constant, véritables piliers de notre parcours. Leur confiance et leurs encouragements ont été notre plus grande source de motivation.

À nos frères et sœurs,

Pour leur affection, leur présence constante et leur soutien indéfectible tout au long de notre cheminement académique.

À nos familles respectives,

Pour leur patience, leurs conseils avisés et leurs encouragements qui nous ont permis de surmonter les difficultés rencontrées.

À nos enseignants,

Pour leur disponibilité, leur savoir et leur accompagnement précieux tout au long de notre formation universitaire.

À nos amis et camarades,

Pour les moments partagés, les encouragements mutuels et les souvenirs inoubliables qui ont marqué ces années d'études.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire,

Nous exprimons notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance.

Résumé

Ce mémoire présente une démarche d'analyse des pannes sur la ligne du four à grille de KNAUF Plâtres Algérie. En s'appuyant sur la classification des équipements établie lors d'un travail antérieur, la méthode AMDEC Machine est appliquée aux trois équipements à haute criticité : le générateur de gaz chaud, le broyeur à marteaux et la bande à grille. Cette analyse permet d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leur criticité via l'IPR et de définir des actions correctives ciblées. Les plans de maintenance préventive et de lubrification initiaux sont ensuite révisés pour aboutir à des plans finaux adaptés aux risques réels de la ligne. La démarche est complétée par une analyse RCA appliquée à une défaillance majeure ayant immobilisé la ligne pendant près de trois jours.

Mots-clés : AMDEC Machine, analyse des pannes, maintenance préventive, RCA, four à grille.

Abstract

This thesis presents a failure analysis approach applied to the grate kiln line at KNAUF Plâtres Algeria. Building on equipment classification results from previous work, the FMECA method is applied to the three high-criticality pieces of equipment: the hot gas generator, the hammer mill and the grate belt. This analysis identifies potential failure modes, evaluates their criticality through the RPN and defines targeted corrective actions. The initial preventive maintenance and lubrication plans are then revised to produce final plans adapted to the real risks of the line, complemented by an RCA applied to a major failure that shut down the line for nearly three .days

.Keywords : FMECA, failure analysis, preventive maintenance, RCA, grate kiln

ملخص

يقدم هذا المذكرة منهجية لتحليل الأعطال على خط الفرن الشبكي (Four à grille) بمؤسسة كنوف للجبس الجزائر بالاعتماد على تصنيف المعدات الذي تم إنجازه في عمل سابق، تم تطبيق منهجية AMDEC Machine على ثلاثة تجهيزات ذات درجة حرجية مرتفعة، وهي: مولد الغاز الساخن، والمطحنة المطرقية، والحزام الشبكي . وقد مكن هذا التحليل من تحديد أنماط الأعطال المحتملة، وتقييم درجة خطورتها باستعمال مؤشر أولوية المخاطر (IPR) ، ثم اقتراح إجراءات تصحيحية ملائمة. كما تمت مراجعة خطط الصيانة الوقائية والتشخيص الأولية للوصول إلى خطط نهائية تتوافق مع المخاطر الفعلية لخط الإنتاج . واستُكملت هذه المنهجية بتحليل الأسباب الجذرية للأعطال (RCA) ، والذي طُبّق على عطل رئيسي تسبب في توقف خط الإنتاج لمدة قاربت ثلاثة أيام .

الكلمات المفتاحية : AMDEC Machine : ، تحليل الأعطال، الصيانة الوقائية، تحليل الأسباب الجذرية (RCA) ، الفرن الشبكي

Table des matières

Remerciements	ii
Dédicaces	iii
Résumé	iv
Liste des Figures	xi
Liste des Tableaux	xiii
Liste des abréviations	xiv
Introduction générale	1
I Généralités sur la maintenance et l’analyse des pannes	3
I.1 Introduction	3
I.2 La maintenance industrielle	4
I.2.1 Définition de la maintenance	4
I.2.2 Objectifs de la maintenance	4
I.2.3 Les niveaux de la maintenance	5
I.2.4 Les types de maintenance	6

I.2.4.1	La maintenance préventive	6
I.2.4.2	La maintenance corrective	6
I.2.4.3	La maintenance améliorative	7
I.3	Les pannes dans les systèmes industriels	8
I.3.1	Définition d'une panne	8
I.3.2	Causes et conséquences des pannes	8
I.3.3	Pannes répétitives et impact sur la production	9
I.3.4	Indicateurs de performance de la maintenance	10
I.4	Méthodes et outils d'analyse des pannes	11
I.4.1	Méthode Ishikawa	11
I.4.1.1	Définition	11
I.4.1.2	Intérêt de la méthode Ishikawa	12
I.4.2	Méthode Pareto (ABC)	13
I.4.2.1	Définition	13
I.4.2.2	Exemple	13
I.4.2.3	Intérêt de la méthode Pareto (Analyse ABC)	13
I.4.3	Méthode des 5 Pourquoi	14
I.4.3.1	Définition	14
I.4.3.2	Intérêt de la méthode	15
I.5	La méthode AMDEC	16
I.5.1	Définition de l'AMDEC	16
I.5.2	Historique de la méthode AMDEC	16
I.5.3	Types d'AMDEC	17
I.5.3.1	AMDEC produit (ou AMDEC conception)	17
I.5.3.2	AMDEC processus	17

I.5.3.3	AMDEC moyen (ou AMDEC machine)	17
I.5.3.4	AMDEC organisationnelle	18
I.5.3.5	AMDEC service	18
I.5.3.6	AMDEC sécurité	18
I.5.4	Objectifs de l'AMDEC	18
I.5.5	Évaluation de la criticité	19
I.5.5.1	Gravité (G)	19
I.5.5.2	Fréquence ou Occurrence (F)	20
I.5.5.3	Détectabilité (D)	20
I.5.5.4	Calcul de l'indice de criticité	21
I.6	Conclusion	22
II	Présentation de l'entreprise	23
II.1	Introduction	23
II.2	Présentation du groupe KNAUF	23
II.3	Knauf Algérie	24
II.3.1	Historique et développement	24
II.3.2	Localisation et valeurs	24
II.3.3	Certifications et système de management	25
II.3.4	Organisation des shifts de travail	25
II.4	Les unités de production de l'usine KNAUF	25
II.5	La ligne de production du plâtre : description du four à grille	28
II.5.1	Principe de fonctionnement du four à grille	28
II.5.1.1	Alimentation et classification	28
II.5.1.2	Formation du lit	28
II.5.1.3	Calcination	29

II.5.1.4	Refroidissement et Stockage	29
II.5.2	Équipements principaux du four à grille	29
II.5.2.1	Bande à grille	29
II.5.2.2	Générateur de gaz chauds	29
II.5.2.3	Brûleur à gaz naturel	30
II.5.2.4	Broyeurs à marteaux	30
II.5.2.5	Tamis vibrant	30
II.5.2.6	Convoyeurs	30
II.5.2.7	Élévateurs à godets	31
II.5.2.8	Ventilateurs	31
II.5.2.9	Silos	32
II.6	Conclusion	33
III	Application de la méthode AMDEC Machine sur la ligne du four à grille	34
III.1	Introduction	34
III.2	Classification et hiérarchisation des équipements	35
III.2.1	Présentation de la matrice de criticité	35
III.2.1.1	Les critères d'évaluation	35
III.2.1.2	Grille d'évaluation utilisée	36
III.2.2	Application de la matrice aux équipements	38
III.2.2.1	Exemple d'application : Générateur de gaz chaud (053.100)	38
III.2.2.2	Résultats et classement de l'ensemble des équipements	39
III.2.3	Sélection des équipements pour l'étude	41
III.3	Plans de maintenance préventive initiaux	41
III.4	Plans de lubrification initiaux	45
III.5	Application de la méthode AMDEC Machine	47

III.5.1	Présentation du template utilisé	47
III.5.2	Définition des échelles d'évaluation AMDEC	48
III.5.2.1	Échelle de Gravité	48
III.5.2.2	Échelle de l'Occurrence	49
III.5.2.3	Échelle de la Détection	49
III.5.3	AMDEC du Générateur de gaz chaud	50
III.5.4	AMDEC du broyeur à marteaux	54
III.5.5	AMDEC de la bande grillagée	61
III.5.5.1	Méthodologie de priorisation et d'élaboration des actions correctives	62
III.6	Analyse des causes racines(RCA)	69
III.6.1	Présentation du template utilisé	69
III.6.2	Exemple	70
III.7	Plans de maintenance préventive finaux	73
III.8	Plans de lubrification finaux	77
III.9	Conclusion	79
	Conclusion Générale	80
	Bibliographie	82

Table des figures

I.1	les types de maintenance	7
I.2	Décomposition des 16 pertes	10
I.3	Diagramme d'Ishikawa	12
I.4	Méthode des 5 Pourquoi	15
II.1	L'entreprise KNAUF Algérie	24
II.2	Les unités de production de l'usine KNAUF	26
II.3	Les plâtres en poudre de KNAUF Algérie	27
II.4	Les plaques de KNAUF Algérie	27
II.5	Accessoires de KNAUF Algérie	27
II.6	Principe de fonctionnement du four à grille	28
III.1	Matrice d'évaluation de la criticalité des équipements	37
III.2	plan de maintenance préventive — Générateur de gaz chaud	42
III.3	plan de maintenance préventive — Broyeur à marteaux	43
III.4	plan de maintenance préventive — Bande à grille	44
III.5	Plan de graissage mensuel des équipements du four	46
III.6	AMDEC Template	48
III.7	plan de maintenance préventive finaux— Générateur de gaz chaud	74

III.8 plan de maintenance préventive finaux— Broyeur à marteaux	75
III.9 plan de maintenance préventive finaux — Bande à grille	76
III.10Plan de graissage mensuel du four à grille- finaux	78

Liste des tableaux

I.1	Les différents niveaux de maintenance	5
I.2	Causes et conséquences des pannes	8
I.3	Coûts des pièces de rechange	13
I.4	Classification ABC	13
I.5	Échelle de gravité	19
I.6	Échelle de l'occurrence	20
I.7	Échelle de la détectabilité	21
II.1	Fonctions des ventilateurs du four à grille	32
III.1	Échelle de Gravité	48
III.2	Échelle de l'Occurrence	49
III.3	Échelle de la Détection	49
4	Évaluation de la criticité des équipements du four à grille	87

Liste des abréviations

Acronyme	Signification
ESSAT	Ecole Supérieur en Sciences Appliquées
AFNOR	Association Française de Normalisation
CM	Maintenance corrective
PM	Maintenance préventive
MTBF	Mean Time Between Failures (Temps moyen entre deux pannes)
MTTR	Mean Time To Repair (Temps moyen de réparation)
RCM	Maintenance centrée sur la fiabilité (Reliability-Centered Maintenance)
PME	Petite et Moyenne Entreprise
SMI	Système de Management Intégré
ISO	Organisation internationale de normalisation
MP	Matière première

Introduction générale

Dans un contexte industriel de plus en plus compétitif, la fiabilité des équipements de production représente un facteur déterminant de la performance et de la rentabilité des entreprises. Toute défaillance non maîtrisée se traduit par des arrêts de production coûteux, une dégradation de la qualité et une remise en cause de la continuité opérationnelle. Face à ces enjeux, il ne suffit plus de subir les pannes et d'y réagir après coup ; il devient impératif d'adopter une démarche proactive, structurée et basée sur une analyse rigoureuse des risques de défaillance.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent mémoire, réalisé au sein de KNAUF Plâtres Algérie, entreprise spécialisée dans la fabrication du plâtre. Le travail se concentre sur la ligne du four à grille, équipement central du procédé de calcination du gypse, dont les plans de maintenance préventive existants ont été élaborés sans analyse formelle des défaillances. Cette lacune méthodologique limite leur efficacité et expose la ligne à des risques insuffisamment maîtrisés.

Face à ce constat, la problématique centrale de ce mémoire est formulée comme suit :

« Comment l'application de la méthode AMDEC Machine sur les équipements critiques de la ligne du four à grille de KNAUF Algérie permet-elle d'identifier les modes de défaillance potentiels et d'améliorer les plans de maintenance préventive existants ? »

Pour répondre à cette question, une démarche méthodologique progressive a été adoptée. Dans un premier temps, une matrice de criticité multicritère est appliquée afin d'identifier les équipements prioritaires, à savoir le générateur de gaz chaud, le broyeur à marteaux et la bande à grille. L'AMDEC Machine est ensuite déployée sur chacun de ces équipements, permettant d'évaluer les modes de défaillance à travers l'Indice de Priorité du Risque (IPR) et de définir des actions correctives ciblées. Sur cette base, les plans de maintenance préventive et de lubrification sont révisés et adaptés aux risques réels identifiés. La démarche est complétée par une analyse des causes racines (RCA) conduite sur une défaillance majeure ayant immobilisé la ligne pendant

près de trois jours.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

Le Chapitre I pose le cadre théorique en abordant les concepts fondamentaux de la maintenance industrielle, ses différents types, ses indicateurs de performance, les principales méthodes d'analyse des pannes, ainsi que les fondements de la méthode AMDEC.

Le Chapitre II présente l'entreprise KNAUF Algérie, son contexte industriel et ses certifications, avant de décrire le procédé de fabrication du plâtre et le fonctionnement de la ligne du four à grille avec ses équipements principaux.

Le Chapitre III constitue le cœur applicatif du mémoire : il expose la hiérarchisation des équipements par criticité, l'application de l'AMDEC Machine aux trois équipements prioritaires, la révision des plans de maintenance préventive et de lubrification, ainsi que l'analyse RCA d'une défaillance majeure observée durant la période de stage.

Généralités sur la maintenance et l'analyse des pannes

I.1 Introduction

Dans le monde industriel d'aujourd'hui, les entreprises cherchent à produire plus, mieux et à moindre coût. Pour y parvenir, elles doivent s'appuyer sur des équipements fiables et disponibles en permanence.

Cependant, tout équipement se dégrade avec le temps sous l'effet de l'usure, de la chaleur ou des conditions de travail difficiles. Si rien n'est fait pour surveiller et entretenir ces équipements, des pannes peuvent survenir à tout moment, entraînant des arrêts de production, des pertes financières et parfois des risques pour la sécurité des travailleurs.

C'est là qu'intervient la maintenance industrielle. Son rôle ne se limite pas à réparer ce qui est cassé ; elle permet surtout d'anticiper les problèmes, de planifier les interventions et d'assurer le bon fonctionnement des machines sur le long terme.

Ce premier chapitre introduit les notions de base liées à la maintenance et à l'analyse des pannes. Il définit les différents types de maintenance, leurs objectifs et les méthodes utilisées pour identifier et traiter les défaillances. Ces éléments serviront de base pour les chapitres suivants, qui traitent de l'application pratique au sein de l'entreprise **KNAUF Plâtres SARL**.

I.2 La maintenance industrielle

I.2.1 Définition de la maintenance

L'Association Française de Normalisation (AFNOR) définit la maintenance comme : « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».[3]

Cette définition, issue de la norme NF EN 13306, met explicitement en évidence trois dimensions complémentaires :

- les actions techniques (dépannage, inspection, remplacement, réglage) ;
- les actions administratives (gestion documentaire, planification, gestion des stocks, traçabilité) ;
- les actions de management (stratégie de maintenance, organisation des ressources, maîtrise des risques et santé-sécurité au travail).

Dans la pratique industrielle, la maintenance vise à établir un compromis optimal entre :

- la disponibilité des équipements,
- la maîtrise des risques pour les personnes et les installations,
- la qualité du produit ou du service,
- la conformité réglementaire ,
- le coût global du cycle de vie des actifs.

Ainsi, la maintenance ne se limite pas à une simple intervention technique, mais constitue une fonction stratégique essentielle à la performance globale de l'entreprise.

I.2.2 Objectifs de la maintenance

La maintenance industrielle vise à atteindre les objectifs suivants :

- **Continuité de production** : prévenir les arrêts imprévus et assurer la disponibilité permanente des équipements.
- **Fiabilité des installations** : garantir un fonctionnement stable et sans défaillance sur la durée.

- **Sécurité du personnel** : maintenir les équipements conformes aux normes et réduire les risques d'accidents.
- **Maîtrise des coûts** : privilégier la prévention pour éviter les réparations lourdes et les pertes de production.
- **Longévité des équipements** : retarder l'usure et optimiser le retour sur investissement.
- **Qualité de fabrication** : réduire la variabilité des procédés et limiter les non-conformités.
- **Respect de l'environnement** : limiter les fuites, les surconsommations et les rejets polluants.

I.2.3 Les niveaux de la maintenance

La norme AFNOR NF X 60-000 définit cinq niveaux de maintenance, classés selon la complexité croissante des interventions, les compétences requises et les ressources à mobiliser. Cette classification permet à l'entreprise de déterminer, pour chaque type d'opération, le profil d'intervenant adapté ainsi que le cadre d'exécution approprié, qu'il soit assuré en interne ou confié à des prestataires externes spécialisés.

Niveau maintenance	Types d'opérations réalisées	Qualification du personnel	Exemples d'opérations
Niveau 1	Réglages simples et basiques sans démontage ou ouverture de l'équipement	L'opérateur (exploitant)	Nettoyage, changement d'ampoule ou remplacement à zéro d'un automate
Niveau 2	Dépannage par échange standard d'éléments, interventions mineures de maintenance préventive	Technicien habilité, formé spécifiquement	Changement d'un relais, remplacement d'une courroie, vérification de capteurs
Niveau 3	Maintenance corrective et préventive nécessitant des diagnostics avec appareils	Technicien qualifié	Changement d'une pompe, contrôle d'outils de mesure, diagnostic de panne
Niveau 4	Interventions majeures de maintenance corrective et préventive, ajustement des instruments de mesure	Équipe de techniciens qualifiés avec encadrement technique spécialisé	Analyse de vibration, changement de clapets sur un compresseur
Niveau 5	Réparations majeures sur les équipements, rénovation complète	Fabricants ou prestataires externes hautement qualifiés	Reconstruction majeure après défaillance, mise en conformité réglementaire

TABLE I.1 – Les différents niveaux de maintenance

I.2.4 Les types de maintenance

I.2.4.1 La maintenance préventive

La maintenance préventive regroupe l'ensemble des interventions planifiées avant toute défaillance, dans le but de réduire les risques de panne et d'assurer la continuité opérationnelle des équipements. Elle se décline en trois formes :

A. Maintenance systématique Les interventions sont déclenchées à échéances prédéfinies, basées sur le temps écoulé ou le taux d'utilisation de l'équipement, indépendamment de son état réel.

Exemples : inspection mensuelle des extincteurs, changement régulier des courroies moteurs sur la ligne de production.

B. Maintenance conditionnelle Les interventions sont déclenchées par le suivi de paramètres physiques (température, vibrations, pression. . .). Toute dérive par rapport aux seuils normaux déclenche une action corrective ciblée.

Exemples : intervention sur un compresseur en cas d'instabilité de pression, remplacement d'un palier suite à la détection de vibrations atypiques sur un moteur.

C. Maintenance prévisionnelle Forme avancée s'appuyant sur l'analyse de données pour anticiper les défaillances futures et planifier les interventions au moment le plus opportun, minimisant ainsi les arrêts non planifiés.

Exemples : planification du remplacement d'un vérin sur la base de l'historique des pannes, anticipation de fin de cycle d'une pompe via les données des capteurs.

I.2.4.2 La maintenance corrective

La maintenance corrective est mise en œuvre après l'apparition d'une défaillance, afin de rétablir l'équipement dans un état lui permettant d'assurer sa fonction. Elle comprend deux niveaux d'intervention :

A. Maintenance palliative Intervention provisoire visant à remettre rapidement l'équipement en service sans nécessairement traiter la cause profonde de la défaillance. Une réparation définitive reste indispensable.

Exemples : relance manuelle d'un système automatique en dysfonctionnement, bouchage provisoire d'une fuite d'air sous pression.

B. Maintenance curative Réparation complète et durable consistant à identifier et éliminer la cause réelle de la panne, en atelier ou sur site selon la nature de l'intervention.

Exemples : échange d'un capteur de vitesse hors service, remplacement complet d'un moteur endommagé sur une ligne de production.

I.2.4.3 La maintenance améliorative

La maintenance améliorative vise à optimiser les équipements existants afin d'accroître leurs performances, leur fiabilité et leur sécurité, sous réserve d'une justification économique préalable. Elle se décline en trois formes : la **rénovation** (remise en état des pièces dégradées), la **reconstruction** (remplacement des éléments vitaux avec d'éventuelles modifications) et la **modernisation** (intégration de technologies avancées inexistantes sur le bien d'origine).

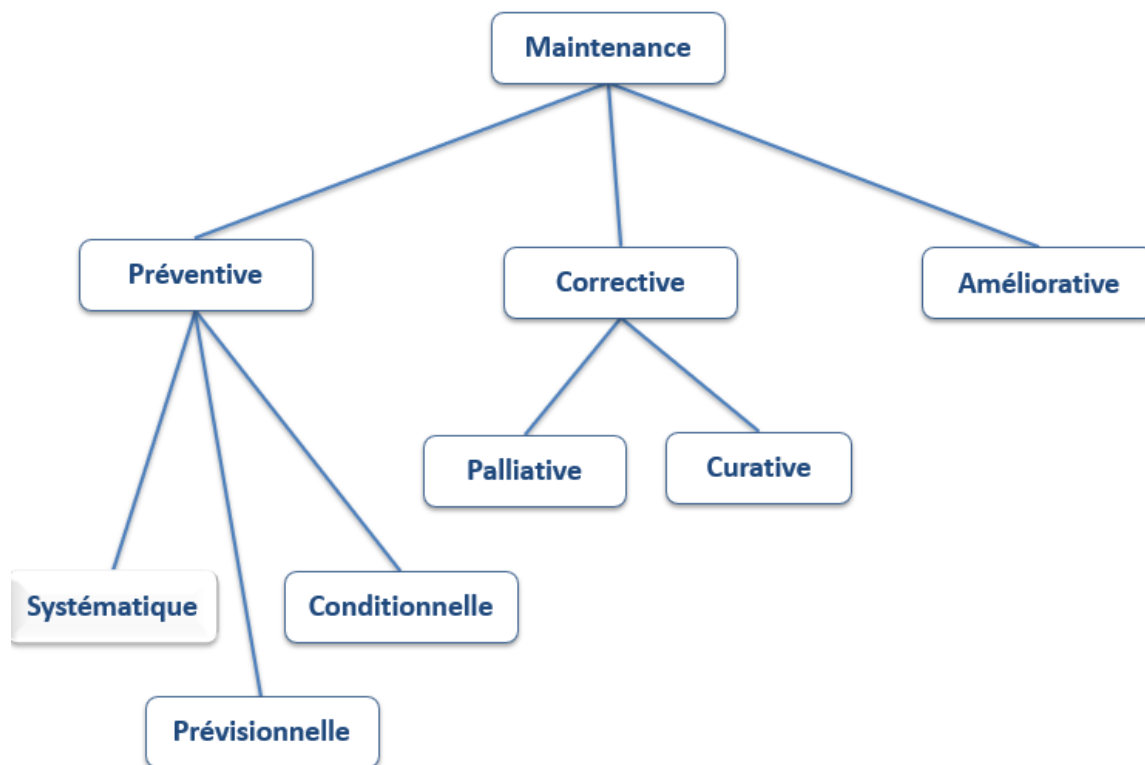


FIGURE I.1 – les types de maintenance

I.3 Les pannes dans les systèmes industriels

I.3.1 Définition d'une panne

Selon la norme NF EN 13306, une panne désigne l'état d'un bien devenu inapte à accomplir la fonction requise. Elle résulte généralement d'une défaillance affectant le fonctionnement normal de l'équipement [4]. La panne se traduit généralement par un arrêt du fonctionnement, une dégradation des performances ou une non-conformité aux exigences de production, de qualité ou de sécurité.

Dans le domaine de la maintenance industrielle, la panne constitue un événement indésirable qui entraîne une indisponibilité de l'équipement et nécessite une intervention corrective afin de rétablir son état de fonctionnement nominal.

I.3.2 Causes et conséquences des pannes

Les pannes industrielles résultent de facteurs variés et engendrent des répercussions significatives sur la performance de l'entreprise, comme le synthétise le tableau I.2.

Causes	Conséquences
— Usure et vieillissement naturel des composants — Défaut de lubrification, réglage ou désalignement — Absence ou insuffisance de maintenance préventive — Erreurs humaines et non-respect des procédures — Formation inadéquate du personnel — Conditions sévères : surcharge, poussière, humidité — Défauts de conception ou composants défectueux — Dommages survenus lors de l'installation	— Arrêt imprévu et perte de disponibilité — Baisse de productivité et perturbation de la production — Augmentation des coûts d'intervention corrective — Dégradation de la qualité et hausse du taux de rebut — Risques accrus pour la sécurité des opérateurs — Fragilisation du fonctionnement industriel — Impact négatif sur les délais et la performance

TABLE I.2 – Causes et conséquences des pannes

I.3.3 Pannes répétitives et impact sur la production

Les pannes répétitives, qu'on appelle aussi *pannes chroniques*, sont des défaillances qui reviennent régulièrement sur un même équipement. Elles traduisent généralement l'existence d'une cause profonde non éliminée : défaut de conception, non-respect des conditions de base, erreurs humaines ou insuffisance de maintenance. Contrairement aux pannes occasionnelles, elles persistent dans le temps et finissent par altérer durablement la stabilité et la fiabilité des machines.

Dans l'approche *TPM*, ces pannes s'inscrivent dans les pertes liées à l'équipement, telles qu'elles sont présentées dans la Figure I.2. Elles font partie des pertes qui dégradent directement le TRG (Taux de Rendement Global), notamment à travers :

- les pannes ;
- les réglages ;
- les micro-arrêts ;
- les pertes au démarrage.

Sur le plan de la production, les conséquences sont immédiates. La répétition des arrêts non planifiés réduit la disponibilité des équipements, perturbe le flux de production et multiplie les redémarrages. Chaque interruption mobilise les équipes, génère du temps improductif et diminue progressivement la performance globale du système industriel.

L'instabilité du fonctionnement a également un impact sur la qualité : augmentation des défauts, rebuts supplémentaires et production non conforme. À long terme, ces pannes répétées entraînent une hausse des coûts, une désorganisation du travail et une dégradation de l'efficacité globale de l'entreprise.

Ainsi, conformément à la logique du Pilier 1 « amélioration au cas par cas », il ne suffit pas de corriger les symptômes. Il est essentiel d'identifier et d'éliminer les causes racines afin de supprimer durablement les pertes et d'améliorer le TRG. .

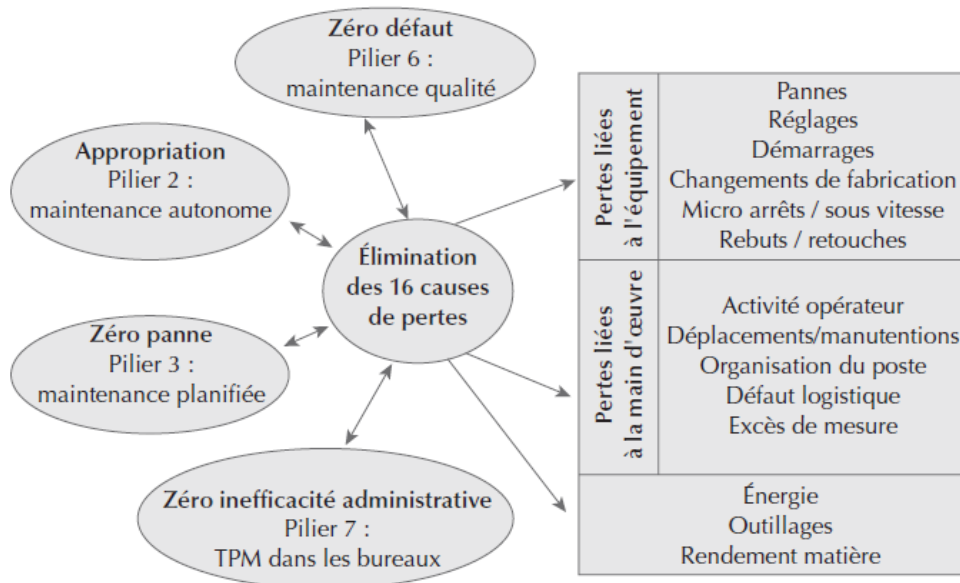


FIGURE I.2 – Décomposition des 16 pertes

I.3.4 Indicateurs de performance de la maintenance

Parmi les indicateurs les plus utilisés dans l'industrie pour évaluer l'efficacité des interventions de maintenance et assurer une meilleure gestion des équipements industriels, on identifie particulièrement : le MTBF, le MTTR, la disponibilité des équipements ainsi que le TRS (Taux de Rendement Synthétique).

- **MTBF (Mean Time Between Failures)** : Le MTBF représente le temps moyen de fonctionnement d'un équipement entre deux pannes successives. Cet indicateur permet d'évaluer la fiabilité des équipements industriels [18].

$$MTBF = \frac{\text{Temps total de fonctionnement}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{I.1})$$

- **MTTR (Mean Time To Repair)** : Le MTTR correspond au temps moyen nécessaire pour réparer un équipement après une panne et le remettre en état de fonctionnement. Il permet d'évaluer la maintenabilité du système [14].

$$MTTR = \frac{\text{Temps total de réparation}}{\text{Nombre d'interventions}} \quad (\text{I.2})$$

- **Disponibilité des équipements** : La disponibilité représente la capacité d'un équipement à être opérationnel lorsqu'il est requis pour la production. Elle dépend de la fiabilité de

l'équipement et de la rapidité des interventions de maintenance [26].

$$\text{Disponibilité} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{I.3})$$

I.4 Méthodes et outils d'analyse des pannes

L'analyse des pannes est une étape très importante dans le processus de maintenance industrielle. Elle ne consiste pas seulement à réparer une machine en arrêt, mais surtout à comprendre pourquoi la panne s'est produite.

Son objectif est d'identifier les causes réelles des défaillances, d'analyser les mécanismes de dégradation des équipements et d'évaluer leurs conséquences sur la production, la sécurité et les coûts. En effet, une panne peut avoir des impacts importants, non seulement sur le rendement de l'entreprise, mais aussi sur la qualité du produit et la sécurité du personnel.

Pour mener cette analyse, l'entreprise utilise différentes méthodes et outils adaptés. Ces outils permettent d'étudier les événements indésirables de manière organisée et méthodique, afin d'éviter les conclusions superficielles.

I.4.1 Méthode Ishikawa

I.4.1.1 Définition

La méthode Ishikawa, connue également sous le nom de diagramme causes-effets ou diagramme des 5M, est un outil d'analyse utilisé pour comprendre l'origine d'un problème. Elle consiste à recenser toutes les causes possibles d'un dysfonctionnement et à les classer en grandes catégories : Matière, Matériel, Méthode, Milieu et Main-d'œuvre. Cette organisation permet de visualiser clairement les différents facteurs pouvant influencer le problème étudié. En maintenance comme en management de la qualité, cette méthode aide à identifier les causes profondes d'une panne et à proposer des actions correctives adaptées, au lieu de se limiter aux effets visibles.

I.4.2 Méthode Pareto (ABC)

I.4.2.1 Définition

La méthode ABC, ou méthode de Pareto, est un outil d'analyse utilisé en maintenance pour classer les pannes ou les équipements selon leur importance. Elle repose sur le principe des 80/20, selon lequel une minorité de causes est responsable de la majorité des problèmes.

En pratique, on recense les pannes, puis on les classe selon un critère comme la fréquence, le coût ou le temps d'arrêt. Cela permet d'identifier les éléments les plus critiques et de concentrer les efforts de maintenance sur les priorités.

Cette méthode aide ainsi à mieux utiliser les ressources et à améliorer la fiabilité du système en se basant sur l'analyse des données passées.

I.4.2.2 Exemple

Pièce de rechange	(€) Coût annuel	(€) Cumulé
Moteur principal sécheur	18 000	18 000
Roulements convoyeur	6 500	24 500
Courroies industrielles	4 200	28 700
Capteurs température	2 800	31 500
Vérins pneumatiques	1 900	33 400
Joints et petites pièces	1 100	34 500

TABLE I.3 – Coûts des pièces de rechange

Classe	Pourcentage cumulé approximatif	Pièces concernées	Niveau de priorité
A	≈ 70%	Moteur principal – Roulements	Très élevée
B	≈ 20%	Courroies – Capteurs	Moyenne
C	≈ 10%	Vérins – Joints	Faible

TABLE I.4 – Classification ABC

I.4.2.3 Intérêt de la méthode Pareto (Analyse ABC)

La méthode Pareto permet de classer les problèmes selon leur niveau d'importance. Son principal avantage est qu'elle aide à concentrer les efforts sur les causes qui ont le plus d'impact sur le fonctionnement du système.

Elle permet notamment :

- d'identifier les pannes les plus fréquentes ou celles qui engendrent les coûts les plus élevés ;
- de définir les priorités en matière d'intervention et d'amélioration ;
- d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles ;
- d'améliorer la performance globale en traitant en priorité les causes majeures ;
- de faciliter la prise de décision en s'appuyant sur des données chiffrées et objectives.

I.4.3 Méthode des 5 Pourquoi

I.4.3.1 Définition

La méthode des 5 Pourquoi est un outil simple utilisé pour comprendre l'origine réelle d'un problème. Son principe est clair : à partir d'un dysfonctionnement observé, on pose plusieurs fois la question « Pourquoi ? » afin de remonter progressivement jusqu'à la cause principale.

À chaque réponse obtenue, on reformule la question « Pourquoi ? » pour aller plus loin dans l'analyse. L'objectif n'est pas forcément de poser exactement cinq questions, mais plutôt d'approfondir suffisamment la réflexion pour éviter de s'arrêter à une explication superficielle.

Cette méthode est appréciée pour sa simplicité et son efficacité. Elle est souvent utilisée en maintenance industrielle, en management de la qualité et dans les démarches d'amélioration continue pour identifier des solutions durables.

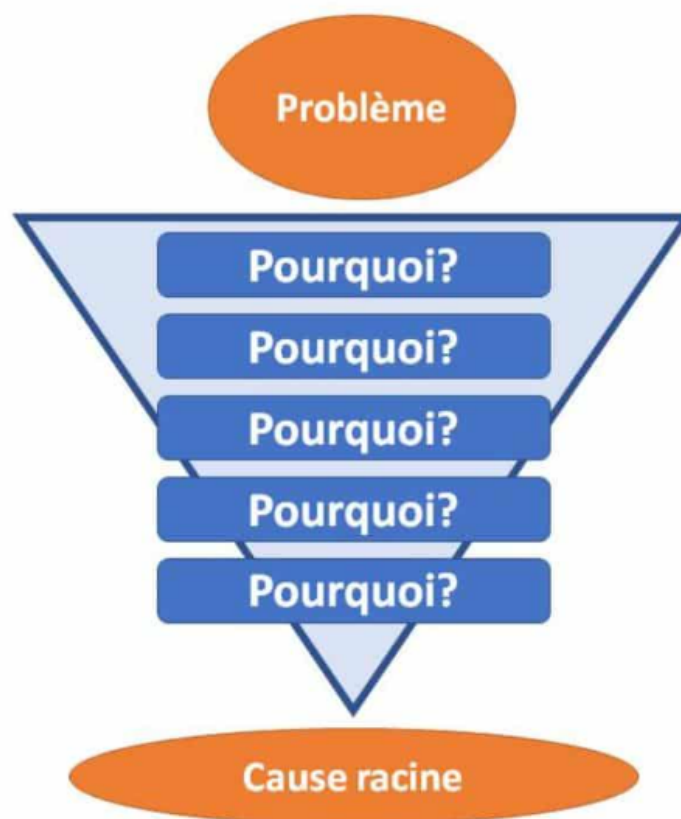


FIGURE I.4 – Méthode des 5 Pourquoi

I.4.3.2 Intérêt de la méthode

La méthode des 5 Pourquoi présente plusieurs avantages dans l'analyse des pannes :

- Elle permet d'aller au-delà des symptômes visibles pour identifier la véritable cause du problème.
- Elle aide à suivre un raisonnement logique et progressif, étape par étape.
- Elle est facile à mettre en œuvre et ne demande pas d'outils ou de moyens techniques particuliers.
- Elle encourage le travail en équipe et l'échange d'idées entre les différents intervenants.
- Elle permet de proposer des actions correctives durables, afin d'éviter que la panne ne se répète.

En maintenance industrielle, cette méthode est particulièrement utile pour traiter les pannes répétitives et améliorer la fiabilité des équipements sur le long terme.

I.5 La méthode AMDEC

I.5.1 Définition de l'AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode systématique et préventive d'analyse des risques visant à identifier les modes de défaillance potentiels d'un produit, d'un processus ou d'un système, à évaluer leurs effets ainsi que leur criticité, afin de mettre en place des actions correctives ou préventives appropriées [13].

Elle repose sur l'évaluation combinée de trois paramètres principaux :

- la gravité (G) ;
- la fréquence d'apparition (F) ;
- la détectabilité (D).

Ces trois paramètres permettent de déterminer un niveau de criticité et de hiérarchiser les risques.

I.5.2 Historique de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) trouve son origine aux États-Unis dans les années 1940. Elle a été développée par l'armée américaine dans le but d'améliorer la fiabilité des équipements militaires et de prévenir les défaillances susceptibles de compromettre la sécurité et l'efficacité des systèmes [1].

Au cours des années 1960, cette méthode a été adoptée par l'industrie aérospatiale, notamment par la NASA dans le cadre du programme Apollo. Son utilisation a permis d'identifier les défaillances potentielles des systèmes complexes et de renforcer leur sûreté de fonctionnement [22].

Dans les années 1970, l'AMDEC s'est largement développée dans le secteur automobile. Le constructeur Ford a notamment contribué à sa diffusion en l'intégrant dans ses démarches d'amélioration de la qualité, de la fiabilité et de la sécurité des produits [22].

À partir des années 1980, la méthode a connu une importante phase de normalisation et a été intégrée aux référentiels de sûreté de fonctionnement et de management de la qualité. Elle est aujourd'hui encadrée par la norme CEI 60812 (NF EN 60812), qui définit les principes et les lignes directrices relatifs à l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets [13].

Actuellement, l'AMDEC est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels tels que

l'automobile, l'aéronautique, l'énergie, les industries de procédés et la maintenance industrielle. Elle constitue un outil essentiel d'analyse préventive permettant d'anticiper les défaillances, de réduire les risques et d'améliorer la fiabilité ainsi que la disponibilité des systèmes.

I.5.3 Types d'AMDEC

La méthode AMDEC peut être appliquée à différents niveaux d'analyse selon l'objet étudié. La norme NF EN 60812 (CEI 60812) distingue plusieurs formes d'AMDEC en fonction du domaine d'application et du système concerné [13].

I.5.3.1 AMDEC produit (ou AMDEC conception)

L'AMDEC produit est utilisée dès la phase de conception d'un produit ou d'un système. Elle vise à identifier les modes de défaillance potentiels liés à la conception, à analyser leurs effets sur les performances du produit et à mettre en place des actions correctives avant la mise en production.

Cette approche est particulièrement utilisée dans les secteurs automobile, aéronautique et industriel afin d'améliorer la fiabilité et la qualité dès le développement.

I.5.3.2 AMDEC processus

L'AMDEC processus s'applique aux procédés de fabrication ou d'assemblage. Elle permet d'analyser les défaillances potentielles pouvant survenir lors des différentes étapes de production et d'évaluer leur criticité afin de prévenir les défauts.

Elle contribue à sécuriser les postes de travail et à améliorer la qualité du produit final.

I.5.3.3 AMDEC moyen (ou AMDEC machine)

L'AMDEC moyen concerne les équipements de production : machines, outils, dispositifs de mesure, systèmes automatisés, logiciels industriels, etc. Elle vise à analyser les modes de défaillance des moyens techniques afin d'optimiser leur disponibilité, leur fiabilité et leur sécurité.

Elle est largement utilisée en maintenance industrielle.

I.5.3.4 AMDEC organisationnelle

L'AMDEC organisationnelle est appliquée aux processus organisationnels et aux structures de gestion de l'entreprise. Elle permet d'identifier les défaillances potentielles liées aux flux d'information, à la gestion des ressources ou à l'organisation du travail.

I.5.3.5 AMDEC service

L'AMDEC service est utilisée dans les activités de prestation afin d'identifier les défaillances susceptibles d'affecter la qualité du service rendu au client. Elle vise à garantir la conformité aux exigences et à améliorer la satisfaction client.

I.5.3.6 AMDEC sécurité

L'AMDEC sécurité est orientée vers l'identification des risques pouvant compromettre la sécurité des opérateurs ou des utilisateurs. Elle est particulièrement utilisée dans les environnements industriels à risque.

I.5.4 Objectifs de l'AMDEC

Les objectifs de l'AMDEC peuvent être résumés comme suit :

A. Identifier les modes de défaillance potentiels

Repérer les différentes situations dans lesquelles un produit, un processus ou un système peut ne pas assurer correctement sa fonction.

B. Analyser les causes et les effets

Comprendre pourquoi chaque défaillance peut se produire et évaluer son impact sur le fonctionnement global.

C. Évaluer la criticité des défaillances

Apprécier le niveau de risque en tenant compte de critères tels que la gravité, la fréquence d'apparition et la possibilité de détection, afin d'établir des priorités.

D. Définir des actions correctives et préventives

Proposer des solutions concrètes pour réduire ou éliminer les risques identifiés.

E. Améliorer la fiabilité et la sécurité

Contribuer à améliorer la performance du système, limiter les coûts liés aux pannes et renforcer la sécurité des utilisateurs.

I.5.5 Évaluation de la criticité

Dans la méthode AMDEC, chaque mode de défaillance est évalué à l'aide de trois indices numériques. L'indice de criticité est calculé selon la relation suivante :

$$C = F \times G \times D \quad (\text{I.4})$$

où :

- F : fréquence ou occurrence de la défaillance ;
- G : gravité des conséquences ;
- D : détectabilité de la défaillance.

Chaque critère est généralement noté sur une échelle de 1 à 4, où :

- 1 correspond au niveau le plus favorable (faible risque) ;
- 4 correspond au niveau le plus défavorable (risque élevé).

Plus la valeur de C est élevée, plus le niveau de risque associé à la défaillance est important et nécessite une intervention prioritaire.

I.5.5.1 Gravité (G)

La gravité mesure l'impact des conséquences d'une défaillance.

Échelle typique de 1 à 4 :

Note	Signification	Interprétation
1	Faible	Impact négligeable, pas d'arrêt de production
2	Moyenne	Fonctionnement dégradé mais production maintenue
3	Élevée	Arrêt partiel ou perturbation importante
4	Très élevée / Critique	Arrêt total ou risque pour la sécurité

TABLE I.5 – Échelle de gravité

Exemple :

- Une petite fuite sans impact sur la production $\rightarrow G = 1$
- Panne d'un moteur provoquant l'arrêt complet de la chaîne $\rightarrow G = 4$

Plus la gravité est élevée, plus les conséquences sont importantes.

I.5.5.2 Fréquence ou Occurrence (F)

L'occurrence représente la probabilité d'apparition de la défaillance.

Échelle typique :

Note	Fréquence	Interprétation
1	Rare	Défaillance exceptionnelle (ex. : une fois en plusieurs années)
2	Occasionnelle	Défaillance peu fréquente
3	Fréquente	Défaillance régulière
4	Très fréquente	Défaillance répétitive

TABLE I.6 – Échelle de l'occurrence

Exemple :

- Un roulement qui casse une fois tous les 5 ans $\rightarrow F = 1$
- Un joint qui fuit chaque mois $\rightarrow F = 4$

Plus la fréquence est élevée, plus le risque global augmente.

I.5.5.3 Détectabilité (D)

La détectabilité mesure la capacité à détecter la défaillance avant qu'elle ne produise des effets graves.

Important :

Contrairement aux deux autres critères :

- 1 = détection facile ;
- 4 = détection difficile ou impossible.

Échelle typique :

Note	Détectabilité	Interprétation
1	Très bonne	Défaut détecté immédiatement
2	Bonne	Détection possible avec contrôle
3	Faible	Détection difficile
4	Très faible	Défaut non détecté avant panne

TABLE I.7 – Échelle de la détectabilité

Exemple :

- Capteur de vibration détectant un défaut $\rightarrow D = 1$
- Fissure interne invisible jusqu'à la casse $\rightarrow D = 4$

Plus la détectabilité est faible, plus le risque augmente.

I.5.5.4 Calcul de l'indice de criticité

L'indice de criticité est obtenu à partir de la combinaison des trois critères précédemment définis : la fréquence d'apparition, la gravité des conséquences et la détectabilité de la défaillance. Il permet de hiérarchiser les risques et de définir les priorités d'intervention afin d'améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements.

I.6 Conclusion

Au terme de ce chapitre, il ressort que la maintenance joue un rôle essentiel dans la performance industrielle. Elle ne se limite pas à la réparation des pannes, mais constitue une fonction stratégique intégrée à la gestion globale de l'entreprise. Elle vise à assurer la disponibilité des équipements, à garantir la sécurité des installations, à maîtriser les coûts et à maintenir un niveau de qualité satisfaisant dans la production.

Par ailleurs, l'étude des pannes et des différentes méthodes d'analyse a mis en évidence l'importance d'une démarche structurée pour identifier les causes des défaillances et réduire leur impact sur le processus de production. Dans ce contexte, l'AMDEC apparaît comme un outil particulièrement efficace pour anticiper les défaillances, évaluer leur criticité et identifier les points les plus sensibles d'un système. Grâce à une approche méthodique, elle permet d'analyser les risques, de les hiérarchiser et de définir les actions d'amélioration les plus pertinentes.

Ainsi, les concepts, méthodes et outils présentés dans ce chapitre constituent la base théorique et méthodologique nécessaire à l'analyse des pannes de la ligne de production étudiée chez Knauf Algérie. Leur mise en œuvre permettra d'identifier les principales causes des défaillances, d'évaluer les risques associés et de proposer des actions correctives et préventives adaptées.

Ce chapitre fournit donc les fondements indispensables pour aborder, dans les chapitres suivants, l'étude détaillée des équipements critiques et l'analyse des pannes observées au sein de la ligne de production.

Présentation de l'entreprise

II.1 Introduction

Ce chapitre présente l'entreprise KNAUF Plâtres Algérie, dans laquelle s'inscrit le travail de terrain développé dans ce mémoire.

Dans un premier temps, nous situons KNAUF Algérie au sein du groupe international KNAUF, en retraçant brièvement son historique, sa localisation et ses certifications. Dans un second temps, nous décrivons les unités de production de l'usine, en nous concentrant sur la ligne du four à grille, dont la maîtrise de la maintenance constitue l'objet central de ce travail.

Cette présentation constitue le cadre contextuel nécessaire à la compréhension des analyses développées dans les chapitres suivants.

II.2 Présentation du groupe KNAUF

Fondé en **1932** par les frères Alfons et Karl Knauf en Allemagne, le groupe Knauf est aujourd'hui l'un des leaders mondiaux dans la fabrication de matériaux de construction, spécialisé principalement dans le plâtre, les plaques de plâtre et les solutions d'isolation.

Grâce à une politique d'innovation continue et une stratégie d'expansion internationale ambitieuse, le groupe a progressivement étendu ses activités à travers le monde, passant d'une exploitation locale du gypse en Allemagne à une présence industrielle dans plus de 90 pays, avec plus de 250 sites de production répartis sur les cinq continents.

Aujourd'hui, fort de ses valeurs fondées sur la performance industrielle, le développement

durable et la proximité avec ses marchés, le groupe Knauf s'impose comme un acteur incontournable du secteur des matériaux de construction à l'échelle internationale.

II.3 Knauf Algérie

Knauf Algérie est un acteur majeur du secteur des matériaux de construction à base de plâtre en Algérie, avec une part de marché estimée à environ 75 %. La figure II.1 ci-dessous illustre l'entreprise Knauf Algérie.



FIGURE II.1 – L'entreprise KNAUF Algérie

II.3.1 Historique et développement

Présente en Algérie depuis **1974**, date à laquelle le groupe a construit cinq unités de fabrication de plâtre, Knauf a franchi une étape décisive en **2006** en rachetant la plâtrière de Fleurus, située à Benfreha (wilaya d'Oran), à proximité du gisement de gypse de Sidi Boutbal. Cette acquisition a permis d'augmenter la capacité de production de 230 000 à 350 000 tonnes par an. En **2009**, la première usine algérienne de plaques de plâtre est lancée, suivie en **2011** d'une unité de production de profilés métalliques. Aujourd'hui, le groupe détient la totalité des actions de l'entreprise sous le nom de **Knauf Plâtre**.

II.3.2 Localisation et valeurs

Implantée sur une superficie de **7 hectares** au lieu-dit Sidi Boutbal (commune de Benfreha, wilaya d'Oran), l'entreprise s'impose comme l'un des principaux fabricants de matériaux de construction en Algérie. Elle est guidée par quatre valeurs fondamentales : **l'humanité, le partenariat, l'engagement et l'esprit d'entreprise**.

II.3.3 Certifications et système de management

Sur le plan de la qualité et de la conformité, Knauf Algérie dispose d'un **Système de Management Intégré (SMI)** couvrant trois référentiels internationaux : **ISO 9001** (qualité), **ISO 14001** (environnement) et **ISO 45001** (santé et sécurité au travail), témoignant de son engagement envers l'excellence industrielle, la responsabilité environnementale et le bien-être de son personnel.

II.3.4 Organisation des shifts de travail

L'entreprise **KNAUF Algérie** organise ses opérations selon un système de travail en continu basé sur trois shifts de 8 heures afin d'assurer une production continue (24h/24). Cette organisation vise à améliorer la productivité et répondre efficacement aux exigences du marché. Les trois shifts sont répartis comme suit :

- **Shift du matin (05h00 – 13h00)**
- **Shift de l'après-midi (13h00 – 21h00)**
- **Shift de nuit (21h00 – 05h00)**

II.4 Les unités de production de l'usine KNAUF

L'usine KNAUF est un complexe industriel entièrement dédié à la transformation du gypse et à la fabrication de ses dérivés. Son organisation repose sur des unités de production complémentaires, dont l'articulation est illustrée dans la figure [II.2](#).

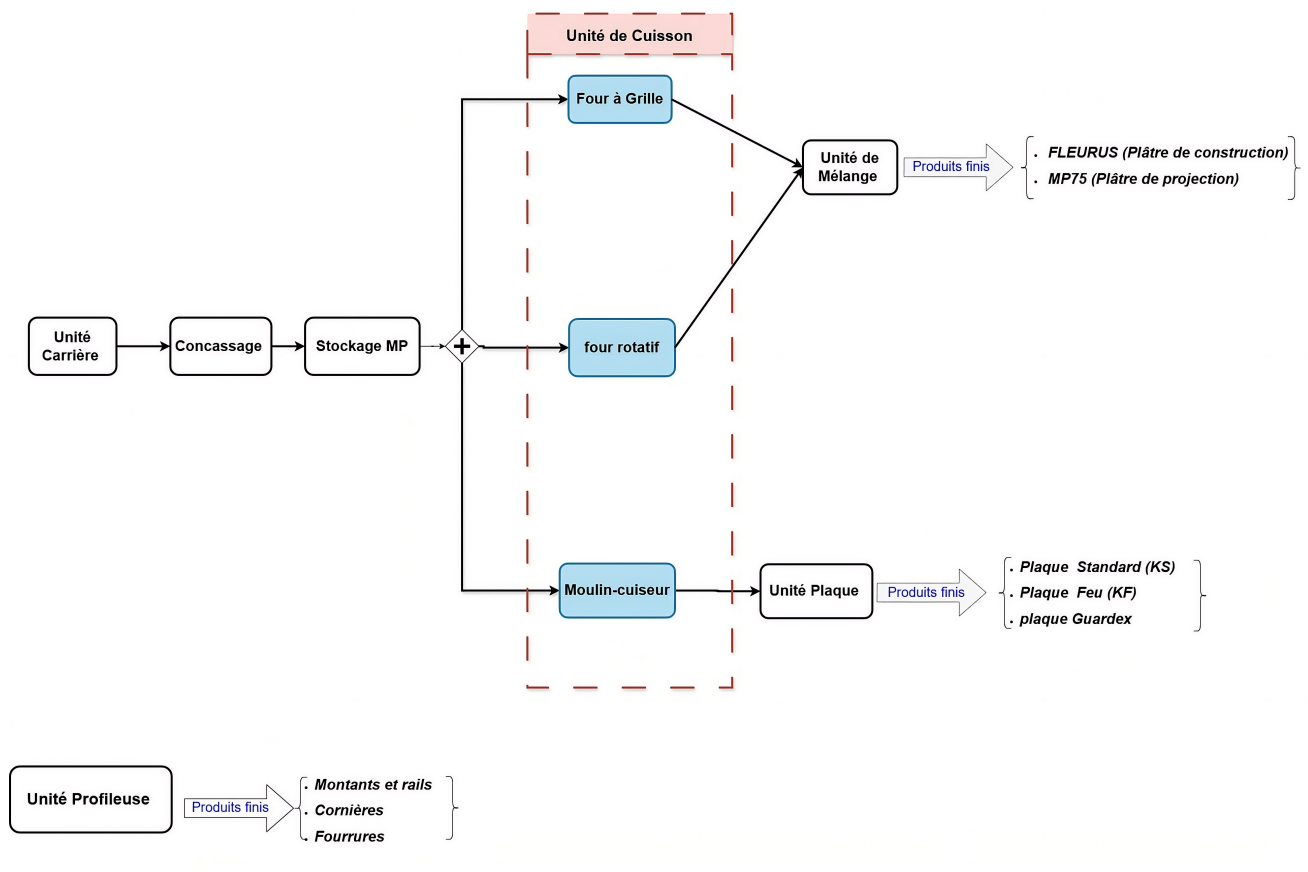


FIGURE II.2 – Les unités de production de l’usine KNAUF

Ces unités peuvent être décrites comme suit :

- **Unité de carrière** : La carrière constitue la première étape du processus de production, assurant l’extraction du gypse brut à l’aide de techniques modernes (foration, dynamitage, chargement) visant à garantir une qualité constante de la matière première avant son acheminement vers l’unité de cuisson.
- **Concassage** : Le concassage consiste à réduire le gypse brut extrait de la mine en fragments de dimensions inférieures à **100 mm**, le rendant ainsi transportable et apte à un traitement industriel ultérieur. Les concasseurs utilisés peuvent traiter des capacités allant jusqu’à 1 200 – 1 300 t/h.
- **Stockage de matière première** : L’alimentation de l’unité de cuisson est assurée par deux grands silos de stockage de matière première (MP), servant de stockage tampon avant le processus de cuisson.
- **Unité de cuisson** : La cuisson assure la déshydratation du gypse afin d’obtenir du plâtre aux propriétés requises. Elle est réalisée par trois types de fours :
 - **Four à grille** : assure une cuisson homogène grâce à une répartition uniforme de la chaleur.
 - **Moulin cuiseur** : combine broyage et cuisson pour un traitement rapide et efficace.

- **Fours rotatifs** : disponibles en capacités de 20 et 40 tonnes, ils permettent une production à grande échelle avec une maîtrise précise des paramètres de cuisson.

Le plâtre conforme est ensuite stocké, tandis que le produit non conforme est redirigé vers un silo de secours pour retraitement.

- **Unité de mélange** : La station de mélange assure la combinaison du plâtre calciné avec des additifs dosés avec précision, afin d'obtenir un produit final homogène et conforme aux spécifications techniques. Cette unité alimente la fabrication de trois références de plâtres en poudre : **Fleurus** (plâtre de construction), **Moularus** (plâtre de moulage) et **MP75** (plâtre de projection pour application mécanisée).



FIGURE II.3 – Les plâtres en poudre de KNAUF Algérie

- **Unité plaque de plâtre** : spécialisée dans la production de plaques de plâtre destinées aux travaux de construction et de finition. Déclinée en plusieurs types selon les exigences spécifiques : **KS** (milieu sec), **KH** (milieu humide), **KF** (protection incendie), et **Guardex** (protection renforcée contre l'humidité et les chocs).

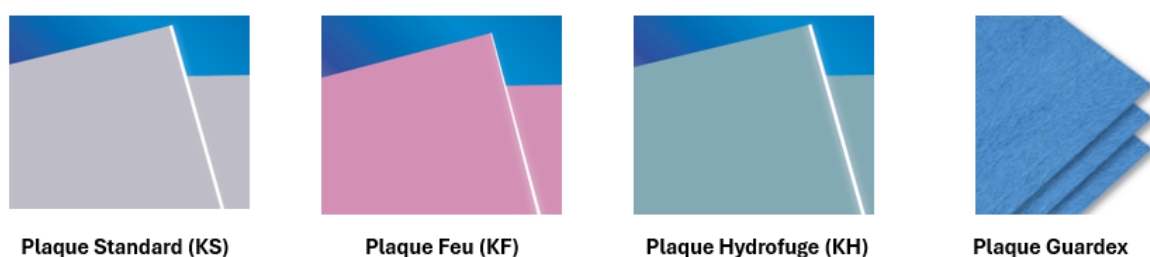


FIGURE II.4 – Les plaques de KNAUF Algérie

- **Unité profileuse** : orientée vers la fabrication de profils métalliques et d'accessoires complémentaires, nécessaires à la mise en œuvre des plaques de plâtre sur chantier.



FIGURE II.5 – Accessoires de KNAUF Algérie

II.5 La ligne de production du plâtre : description du four à grille

Le four à grille, désigné sous l'appellation allemande Rostband, constitue le cœur thermique de la ligne de production du plâtre. C'est un équipement de calcination continue utilisé pour transformer le gypse brut concassé en plâtre (hémihydrate), par chauffage contrôlé sur une bande mobile perforée.

Cet équipement joue un rôle central dans la ligne de production, car il influence directement la qualité du produit final, le rendement énergétique, la continuité de production.

II.5.1 Principe de fonctionnement du four à grille

Le four à grille est un four de calcination continu utilisé pour la cuisson du gypse selon le principe du **lit traversé par des gaz chauds**.

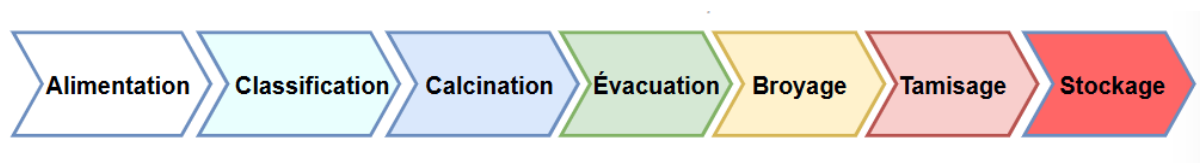


FIGURE II.6 – Principe de fonctionnement du four à grille

II.5.1.1 Alimentation et classification

Le gypse brut est acheminé vers le four puis classé en fractions granulométriques (**7–14 mm**, **14–25 mm** et **25–50 mm**) afin d'optimiser la répartition de la matière.

II.5.1.2 Formation du lit

Les différentes fractions sont déposées de manière stratifiée sur une bande transporteuse métallique perforée — la bande à grille — qui avance à vitesse constante et réglable, formant un lit d'environ **450 mm**, avec les particules fines en bas, les particules moyennes au centre, et les plus grossières en surface, afin d'assurer une circulation thermique homogène.

II.5.1.3 Calcination

Des **gaz de combustion chauds**, générés par un brûleur à gaz naturel ($\approx 660^\circ\text{C}$), traversent le lit de bas en haut, provoquant la **déshydratation thermique du gypse** et sa transformation en produit calciné.

II.5.1.4 Refroidissement et Stockage

Après calcination, le produit est refroidi, puis dirigé vers un **broyeur à marteaux** et un système de **tamissage**. Le produit conforme ($< 0,9\text{ mm}$) dirigée vers les silos de stockage du produit fini, tandis que les fractions non conformes sont recyclées dans le circuit de broyage. Un silo tampon (ou silo d'urgence) peut être utilisé pour maintenir la continuité de production en cas d'arrêt ou de perturbation.

II.5.2 Équipements principaux du four à grille

Le four à grille est constitué d'un ensemble d'équipements mécaniques, thermiques et de manutention qui coopèrent pour assurer la calcination continue du gypse brut et l'acheminement du plâtre produit vers les silos de stockage.

II.5.2.1 Bande à grille

La bande à grille constitue l'équipement central et porteur du four, constitué de plaques métalliques perforées en chaîne continue à vitesse réglable, qui fait défiler le gypse brut à travers les quatre zones thermiques successives du four jusqu'à sa calcination complète.

Le gypse brut est déposé à l'entrée de la bande via la trémie de chargement en trois couches granulométriques stratifiées : les fines en bas, les grains moyens au centre et les granulés les plus grossiers en couche supérieure, directement exposés aux températures les plus élevées. En fin de bande, les plaques se rabattent au point arrière de retournement, assurant un auto-nettoyage mécanique complété par le dispositif de battage.

II.5.2.2 Générateur de gaz chauds

Le générateur de gaz chauds est la chambre de combustion du four à grille. Il s'agit d'une enceinte en acier réfractaire dans laquelle les gaz de combustion sont produits par le brûleur principal puis mélangés avec de l'air frais afin d'atteindre la température de calcination requise.

Les gaz chauds ainsi générés — à une température d'environ 660 °C — sont distribués via un couloir de mélange sur toute la largeur de la bande et aspirés à travers le lit de matière, de haut en bas, par les ventilateurs.

II.5.2.3 Brûleur à gaz naturel

Le brûleur est l'élément générateur de chaleur du four. Il fonctionne au gaz naturel et est installé à l'entrée du générateur de gaz chauds. Sa puissance est modulable de 0 à 100 % depuis la salle de commande via le système SCADA. Il est équipé d'un système d'allumage automatique et d'un dispositif de surveillance de flamme assurant la sécurité en cas d'extinction. L'alimentation en air comburant est assurée par un ventilateur d'air de combustion dont le débit est automatiquement asservi à la puissance du brûleur.

II.5.2.4 Broyeurs à marteaux

Les broyeurs à marteaux sont des concasseurs-broyeurs à percussion installés en aval du four à grille. L'installation en comprend deux : le broyeur primaire, qui reçoit le gypse calciné chaud directement en sortie de bande, et le broyeur secondaire, qui traite les refus de tamisage supérieurs à 0,9 mm. Chacun est alimenté par une centrale hydraulique.

Les marteaux rotatifs à haute vitesse fracassent les morceaux de plâtre calciné issus du four (de taille supérieure à 50 mm) afin de les ramener à une granulométrie compatible avec le tamisage. Le circuit de broyage fonctionne en boucle fermée : tout refus de tamis est renvoyé au broyeur secondaire jusqu'à l'obtention de la finesse requise ($< 0,9$ mm).

II.5.2.5 Tamis vibrant

Le tamis vibrant assure la séparation granulométrique du produit broyé. Les particules conformes (fines) sont dirigées vers les silos de stockage, tandis que les refus grossiers sont renvoyés automatiquement en recyclage vers le circuit de broyage.

II.5.2.6 Convoyeurs

La ligne de production du four à grille met en œuvre plusieurs types de convoyeurs assurant le transport de la matière entre les différents équipements.

— **Convoyeur à vis** : assure le transport horizontal du plâtre pulvérulent ou granulé entre

les équipements (filtres, broyeurs, élévateurs, silos), sans perte de matière ni émission de poussières.

- **Convoyeur à chaîne** : premier équipement d'évacuation du gypse calciné chaud depuis la sortie du four jusqu'au premier broyeur à marteaux. Sa construction robuste avec racleurs métalliques lui permet de travailler en présence de matière chaude et très abrasive.
- **Bande pousseuse** : convoyeur à bande positionné en amont du four à grille, acheminant le gypse brut vers la trémie de chargement. Son débit est régulé en continu afin d'assurer la stabilité du processus de calcination.
- **Convoyeur à vibrations** : assure l'alimentation uniforme du tamis vibrant depuis l'élévateur à godets. Les vibrations garantissent une distribution homogène de la matière sur la surface de tamisage.

II.5.2.7 Élévateurs à godets

L'élévateur à godets est un équipement de transport vertical constitué d'une bande ou d'une chaîne continue portant des godets métalliques. Les godets se remplissent de matière au niveau inférieur et se vident par centrifugation au niveau supérieur, permettant d'élever le plâtre broyé depuis le niveau du broyeur jusqu'à la hauteur requise pour alimenter, par gravité, le circuit de tamisage puis les silos de produits finis.

L'installation comprend deux élévateurs à godets : le premier, situé entre les broyeurs à marteaux et le tamis vibrant, et le second, assurant l'élévation du plâtre tamisé vers la distribution aux silos de produits finis.

II.5.2.8 Ventilateurs

Le four à grille dispose de cinq ventilateurs principaux dont le pilotage coordonné est indispensable au maintien des pressions différentielles et des températures dans chaque zone de la bande.

Ventilateur	Fonction
Ventilateur d'air principal	Assure l'alimentation en air frais et le contrôle du flux thermique à travers le lit de matière.
Ventilateur de circulation	Recycle les gaz chauds afin d'optimiser l'homogénéité thermique et le rendement énergétique du four.
Ventilateur d'air d'échappement	Évacue les gaz usés et maintient les conditions de dépression nécessaires au procédé de calcination.
Ventilateur d'air de combustion	Fournit l'air comburant au brûleur et contribue au refroidissement du matériau.
Ventilateur du filtre de dépoussiérage	Assure l'aspiration des poussières et le bon fonctionnement du système de dépoussiérage.

TABLE II.1 – Fonctions des ventilateurs du four à grille

II.5.2.9 Silos

La ligne de production est équipée de deux types de silos remplissant des fonctions distinctes dans la gestion des flux de matière.

- **Silo d'urgence (silo tampon)** : unité de stockage intermédiaire permettant de stocker temporairement le plâtre broyé en cas d'arrêt ou de maintenance, et de le réintroduire dans le circuit au redémarrage afin de garantir la continuité et la stabilité de la production.
- **Silos de stockage des produits finis** : représentent l'étape finale du procédé. Ils assurent le stockage du plâtre conforme aux spécifications granulométriques (inférieures à 0,9 mm) avant son expédition ou son utilisation dans les étapes de production suivantes. Leur capacité élevée permet une gestion continue, flexible et optimisée de la production.

II.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de situer le cadre industriel dans lequel s'inscrit ce travail. La présentation du groupe KNAUF et de sa filiale algérienne a mis en évidence le niveau d'exigence technologique et organisationnel de l'entreprise, certifiée ISO 9001, ISO 14001 et ISO 45001.

L'analyse des unités de production, et en particulier de la ligne du four à grille, a permis d'identifier les équipements clés intervenant dans le processus de calcination du gypse. Cette connaissance des équipements et de leurs interactions constitue le point de départ indispensable à toute démarche de maintenance structurée.

Le chapitre suivant s'appuie sur ces éléments pour engager l'implémentation d'une stratégie de maintenance professionnelle sur cette ligne de production.

Application de la méthode AMDEC Machine sur la ligne du four à grille

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse des pannes au sein de la ligne du four à grille de l'entreprise KNAUF Plâtres Fleurus. L'objectif principal est d'identifier les équipements les plus critiques, d'évaluer les risques de défaillance associés et de proposer des actions d'amélioration visant à renforcer la fiabilité et la disponibilité de l'installation.

Dans un premier temps, une classification et une hiérarchisation des équipements sont réalisées à l'aide d'une matrice de criticité, permettant d'identifier les équipements prioritaires. Ensuite, les plans de maintenance préventive et de lubrification initiaux sont présentés et analysés. La méthode AMDEC Machine est ensuite appliquée aux équipements critiques afin d'identifier les modes de défaillance potentiels, leurs causes et leurs conséquences, et de définir les actions correctives appropriées.

À l'issue de cette analyse, les plans de maintenance préventive et de lubrification sont mis à jour et enrichis afin d'améliorer l'efficacité des opérations de maintenance. Enfin, une analyse des causes racines (RCA) est menée sur une défaillance majeure observée durant la période de stage, dans le but d'identifier les causes profondes de l'incident et de mettre en place des actions préventives pour éviter sa réapparition.

L'ensemble de cette démarche vise à mettre en œuvre une stratégie de maintenance structurée et proactive, contribuant à l'amélioration continue de la fiabilité, de la disponibilité et des performances de la ligne du four à grille.

III.2 Classification et hiérarchisation des équipements

III.2.1 Présentation de la matrice de criticité

III.2.1.1 Les critères d'évaluation

- **MTTR (Temps d'arrêt moyen) :** représente la durée moyenne nécessaire pour réparer l'équipement après une panne et remettre le système en service.

- **Utilisation de la machine / Possibilité de by-pass :** mesure le degré de dépendance du processus à la machine et la possibilité de continuer la production sans elle.

- **Index Qualité / Effet sur la qualité du produit :** évalue l'impact de la défaillance sur la qualité du produit fabriqué et le risque de production non conforme.

- **Coût de la non qualité / Réclamation client :** représente les pertes financières liées aux défauts qualité, retours ou réclamations des clients causés par une panne.

- **Coût de l'énergie / Perte d'énergie due à la panne :** mesure l'impact économique des pertes énergétiques générées lors d'un dysfonctionnement de l'équipement.

- **Rendement / Impact sur la production nette :** évalue l'influence de la panne sur la performance de production et la baisse du rendement global.

- **Sécurité / Impact sur la sécurité des personnes :** mesure le niveau de risque que la défaillance peut provoquer pour les opérateurs et le personnel.

- **Environnement / Impact environnemental :** évalue les conséquences possibles de la panne sur l'environnement, comme les fuites, émissions ou pollutions.

- **MTBF (Temps moyen entre deux pannes) :** représente la fréquence des défaillances de l'équipement et indique sa fiabilité en fonctionnement.

- **Criticalité de l'équipement par rapport à l'arrêt de ligne** : mesure l'impact de la panne de l'équipement sur l'arrêt total ou partiel des lignes de production.

- **Coût de réparation** : représente les dépenses nécessaires pour réparer l'équipement après une panne, incluant pièces de rechange et prestations.

- **Âge de l'équipement** : indique l'ancienneté de la machine depuis sa mise en service et son influence sur le risque de défaillance.

III.2.1.2 Grille d'évaluation utilisée

Matrice d'évaluation de la criticité des équipements

Classification	N°	Elément	Critère				
(T) Temps de réparation	1	MTTR Temps d'arrêt moyen	T > 3 J	1 J < T < 3 J	8 H < T < 24 H	1 H < T < 8 H	T < 1 H
			35	30	25	20	5
(D) Degré d'influence	2	Utilisation de la machine Possibilité de by pass	100%				60%
			5				1
	3	Index Qualité Effet sur la qualité du produit	10%				Sans effet
			5				1
	4	Coût de la non qualité Réclamation des clients	> 2500 €				< 250 €
			5				1
	5	Coût de l'énergie Perte d'énergie due à la panne	> 4000 €				< 250 €
			5				1
	6	Rendement Impact sur la production net par mois	> 0,1 %				< 0,01 %
			5				1
	7	Sécurité L'impact de la défaillance sur la Sécurité des Personnes	Haut risque		Risque moyen		Pas de risque
			5		3		1
	8	Environnement L'impact de la défaillance sur l'Environnement	Impact élevé		Impact moyen		Impact faible
			5		3		1
(P) Probabilité de panne	9	MTBF Temps moyens entre deux arrêts	5 / mois >		> 3 / mois >		< 1 / mois
			35	25		15	5
(C) Criticalité des équipements	10	Criticalité Criticalité de l'équipement par rapport à l'arrêt de(s) la ligne (lignes)	2 Ligne > 24 H	2 Ligne < 24 H	1 Ligne > 24 h	1 Ligne < 24 H	Sans impact
			100	80	60	40	20
(M) Maintenabilité	11	Coût de la réparation En cas de panne	20000 >		> 10000 >		< 5000
			35	25		15	5
	12	Age de l'équipement Installation de la machine	10 Ans >		> 5 Ans >		< 1 An
			35	25		15	5

FIGURE III.1 – Matrice d'évaluation de la criticité des équipements

III.2.2 Application de la matrice aux équipements

III.2.2.1 Exemple d'application : Générateur de gaz chaud (053.100)

L'évaluation de la criticité du générateur de gaz chaud a été réalisée à partir des données extraites du système SAP, des historiques de maintenance, des retours d'expérience des opérateurs et techniciens, ainsi que des informations fournies par le responsable maintenance. Les valeurs attribuées dans la matrice de criticité sont justifiées comme suit :

- **MTTR = 30** : Cette valeur a été attribuée car les opérations de réparation nécessitent généralement l'intervention de spécialistes externes (prestataires). Le temps moyen de remise en service est estimé entre un et trois jours.

- **Utilisation de la machine = 5** : Le générateur de gaz chaud est utilisé à 100 % dans le processus de production. Tout le gypse passe obligatoirement par cet équipement et il n'existe aucun système de dérivation (*by-pass*) permettant de le contourner.

- **Indice qualité = 5** : Une défaillance du générateur de gaz chaud influence directement la qualité du produit final. Un mauvais fonctionnement peut provoquer une cuisson insuffisante du gypse, ce qui entraîne un produit non conforme nécessitant soit un rejet, soit une réintégration dans le processus de production.

- **Coût de la non-qualité = 5** : Les défauts générés par cet équipement peuvent provoquer des réclamations clients et des pertes financières importantes, supérieures à 2500 €, car la ligne produit l'un des produits finis les plus importants et les plus commercialisés de l'entreprise.

- **Coût de l'énergie = 1** : L'arrêt du générateur de gaz chaud ne nécessite pas l'arrêt complet de l'installation. La ligne de production peut continuer à fonctionner pendant les opérations de maintenance grâce à l'existence d'un silo d'urgence destiné au stockage du gypse insuffisamment cuit.

- **Rendement = 5** : Cet équipement contribue fortement à la productivité de l'installation avec une participation importante dans la production mensuelle. Son rôle dans le processus de fabrication est donc essentiel.

- **Sécurité = 3** : Les défaillances du générateur de gaz chaud présentent un niveau de risque

moyen. Bien qu'elles ne soient pas extrêmement dangereuses, il existe un risque potentiel d'explosion en cas de dysfonctionnement.

- **Environnement = 3** : Une panne du générateur de gaz chaud peut provoquer des émissions de gaz affectant la qualité de l'air à l'intérieur de l'usine. Cependant, son impact sur l'environnement extérieur reste limité, ce qui justifie une criticité environnementale moyenne.

- **MTBF = 15** : Cette valeur a été attribuée car l'équipement présente généralement une défaillance environ une fois tous les trois mois.

- **Criticité = 60** : La défaillance du générateur de gaz chaud entraîne une exploitation partielle de l'installation du four à grille. La durée d'arrêt dépasse généralement 24 heures, car les opérations de réparation nécessitent l'intervention de spécialistes.

- **Coût de réparation = 15** : Le coût des réparations est compris entre 5000 € et 10000 €, principalement à cause du coût élevé des prestations externes et des opérations spécialisées de maintenance.

- **Âge de l'équipement = 25** : Le générateur de gaz chaud a été mis en service en 2019. Étant en exploitation depuis plus de cinq ans, une valeur élevée a été attribuée pour ce critère.

III.2.2.2 Résultats et classement de l'ensemble des équipements

Après le calcul des scores de criticité, les équipements ont été classés en quatre catégories selon leur niveau d'importance dans le processus de production :

- **5 % des équipements : Haute criticité (Classe AA)**

Cette catégorie regroupe les équipements les plus critiques dont la défaillance entraîne un arrêt majeur de l'installation ou un impact important sur la production.

Les équipements classés AA sont :

- Générateur de gaz chaud (053.100)
- Broyeur à marteaux (055.020)
- Broyeur (055.150)

- **15 % des équipements : Critiques (Classe A)**

Ces équipements ont une influence importante sur le fonctionnement de l'installation et nécessitent un suivi de maintenance rigoureux.

Les équipements classés A sont :

- Bande à grille (053.010)
- Brûleur (053.101)
- Tamis à vibration (055.120)
- Convoyeur à vibration (055.125)
- Marteaux de nettoyage des plaques (053.015)
- Ventilateur d'air principal (053.102)
- Ventilateur d'air d'échappement (053.110)
- Filtre pour air d'échappement (053.115)

- **30 % des équipements : Importants (Classe B)**

Cette catégorie comprend les équipements ayant un impact moyen sur la production et dont les pannes restent maîtrisables sans conséquences majeures immédiates.

Les équipements classés B sont :

- Convoyeur à vis (056.050)
- Écluse à roue cellulaire (053.117)
- Ventilateur de circulation (053.120)
- Ventilateur d'air de combustion (053.130)
- Filtre pour air de combustion (053.131)
- Convoyeur à vis pour filtre (053.137)
- Convoyeur à vis (053.155)
- Convoyeur à vis (053.020)
- Écluse à roue cellulaire à vis (053.138)
- Convoyeur à chaîne (055.010)
- Élévateur à godets (055.040)
- Convoyeur à vis réversible (055.050)
- Cheminée (053.170)
- Élévateur à godets (056.005)

-
- Ventilateur pour filtre (055.230)
 - Centrale hydraulique (055.022)

- **50 % des équipements : Moins importants (Classe C)**

Cette catégorie regroupe les équipements ayant une faible influence sur la continuité de la production et dont les défaillances restent peu critiques.

Les équipements classés C sont :

- Convoyeur à vis (055.133)
- Centrale hydraulique (055.152)
- Convoyeur à vis (055.220)
- Convoyeur à vis (053.116)
- Convoyeur à vis (056.060)
- Convoyeur à vis (056.070)
- Convoyeur à vis (056.080)
- Convoyeur à vis (056.090)
- Vis pour filtre (055.210)

Le classement complet est présenté dans l'Annexe 1.

III.2.3 Sélection des équipements pour l'étude

Parmi les équipements retenus pour cette étude, trois équipements critiques de classe AA ont été identifiés. Cependant, nous avons choisi de travailler sur la bande à grille, étant donné que les plans de maintenance du broyeur et du broyeur à marteaux présentent de fortes similitudes.

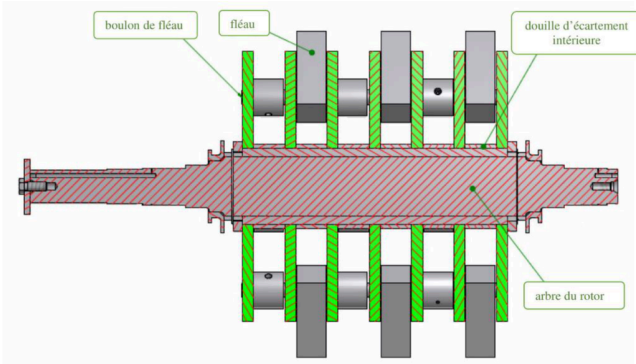
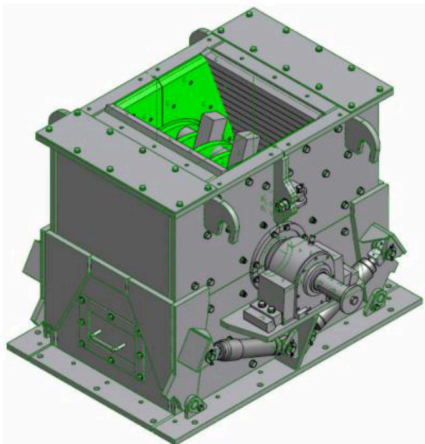
Nous avons donc privilégié la bande à grille à la place du broyeur, laquelle présente un score de criticité de 141.

III.3 Plans de maintenance préventive initiaux

knauf		Plan de Maintenance			
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance	
Cuisson	Bande à grille	053.100 053.101	Générateur de gaz chaud Brûleur		
Equipement					
Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.					
Procédure de consignation					
Plan	Action	Durée(H)	Outils	Travaux	
GM	Vérification des vannes de régulation	0.5	Manuelle	ELEC	
	Nettoyage des filtres	0.5	Manuelle	ELEC	
	Contrôle des pressions de service	0.5	Manomètre	ELEC	
	Nettoyage des buses du brûleur	0.5	Manuelle	ELEC	
	Test de bon fonctionnement	0.5	visuel.Manuelle	ELEC	
	Vérification de l'état et de l'étanchéité des conduites de gaz	0.5	Détecteur de fuite ultrasonique	ELEC	
	Vérification du calorifuge et de la dissipation thermique	0.5	visuel	ELEC	
Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026		

FIGURE III.2 – plan de maintenance préventive — Générateur de gaz chaud

KNAUF		Plan de Maintenance		
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance
Cuisson	Transport Bande à grille	055.020	broyeur à marteaux	

Equipement				
 				
  Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.				

Procédure de consignation				
Plan	Action	Durée(H)	Outils	Travaux
3M	Analyse de vibration sur le moteur et les paliers et Contrôler la température	0.4	Analyseur de vibration,Caméra thermique	MECA
	Vérification de l'usure des marteaux	0.5	visuel.Manuelle	MECA
	Vérification de la plaque d'usure	0.5	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection de l'état des paliers	0.2	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection de l'état du moteur	0.2	visuel.Clé de serrage	MECA
	Vérification de la tension et de l'alignement des courroies	1	laser d'alignement , Analyseur de tension	MECA
	Inspection du système hydraulique (pompe, vérin, flexibles)	0.5	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection des fixations boulonnées	0.5	Clé de serrage	MECA
	Inspection de l'intégrité de la structure	0.1	visuel	MECA
	Vérification de l'instrumentation	0.2	visuel	ELEC
	Serrage des bornes électriques	0.2	Clé de serrage	ELEC

Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026
------------------	------------	------------------	------------

FIGURE III.3 – plan de maintenance préventive — Broyeur à marteaux

KNAUF		Plan de Maintenance		
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance
Cuisson	Bande à grille	053.010	Bande à grille	
Équipement				
Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.				
Procédure de consignation				
Plan	Action	Durée(H)	Outils	Travaux
3M	Analyse de vibration et Contrôler la température des paliers et de moteur	0.4	Analyseur de vibration,Caméra thermique	MECA
	Inspection de l'état de la plaque	0.5		MECA
	Vérifier la tension de la chaîne (fléchissement 30–50 mm)	0.5	Règle métallique	MECA
	Inspection de la liberté de rotation de la plaque	0.2	visuel	MECA
	Inspection de l'état des paliers	0.2	visuel	MECA
	Inspection de l'état du motoréducteur	0.2	visuel	MECA
	Inspection des fixations boulonnées	0.2	Clé de serrage	MECA
	Inspection de l'intégrité de la structure	0.2	visuel	MECA
	Vérification de l'instrumentation	0.2	visuel	ELEC
	Serrage des bornes électriques	0.5	Clé de serrage	ELEC
	Nettoyage des voies de ventilation du moteur	0.4	manuel / Clé de serrage	ELEC
Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026	

FIGURE III.4 – plan de maintenance préventive — Bande à grille

III.4 Plans de lubrification initiaux

Ce plan de lubrification (Lubrication Map) recense l'ensemble des composants des équipements de la ligne du four à grille nécessitant une lubrification, afin d'assurer un suivi efficace des opérations de maintenance préventive. Son intégration dans cette étude se justifie par le fait que deux des équipements retenus, à savoir le broyeur à marteaux et la bande à grille, figurent parmi les équipements couverts par ce plan de lubrification.

Plan de graissage - four à grille - 1 Mois

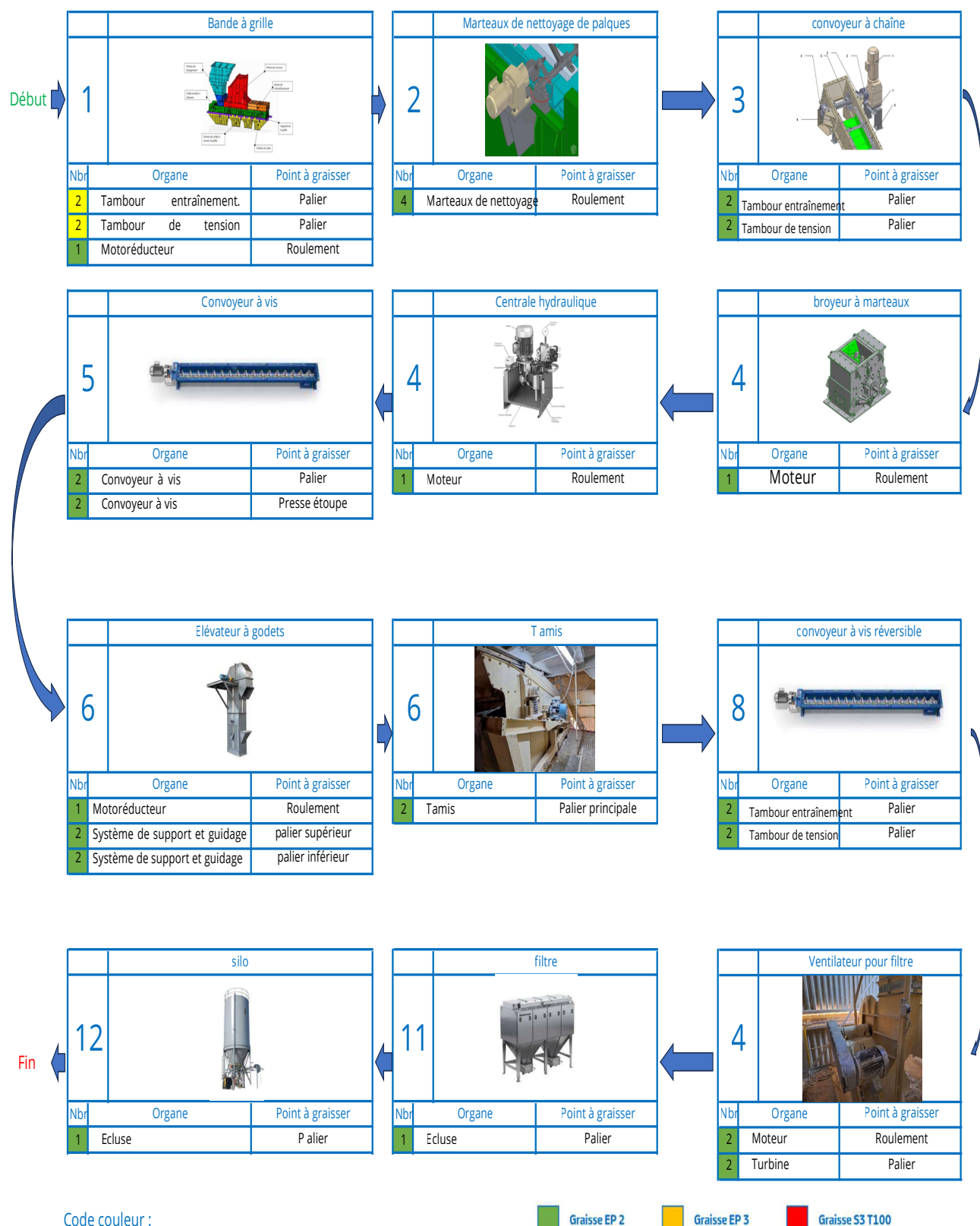


FIGURE III.5 – Plan de graissage mensuel des équipements du four

III.5 Application de la méthode AMDEC Machine

III.5.1 Présentation du template utilisé

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé un template AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) structuré, intitulé *AMDEC Template*, qui constitue le tableau d'analyse principal.

- Il regroupe pour chaque équipement ou sous-équipement les colonnes suivantes :
 - la fonction et les exigences associées ;
 - le mode de défaillance potentiel ;
 - les effets potentiels de cette défaillance ;
 - les causes probables.
- Le template intègre également les **Contrôles actuels de prévention**, qui recensent les mesures déjà en place pour empêcher l'apparition de la défaillance.
- Il comprend aussi les **Contrôles actuels de détection**, qui identifient les moyens existants permettant de détecter la défaillance avant qu'elle ne produise ses effets.
- À chaque défaillance sont attribués trois indices d'évaluation :
 - la Gravité (GRV) ;
 - l'Occurrence (OCC) ;
 - la Détectabilité (DET).
- Le produit de ces trois indices donne l'**Indice de Priorité du Risque (IPR)**, permettant de hiérarchiser les défaillances selon leur criticité.
- Le template prévoit également une section dédiée aux actions correctives ou préventives à mettre en place, avec :
 - l'indication du responsable ;

- Une réévaluation des indices après actions est également réalisée afin de mesurer l'efficacité des mesures prises.

Le template est présenté dans la Figure III.6 .

[illegible]

FIGURE III.6 – AMDEC Template

III.5.2 Définition des échelles d'évaluation AMDEC

III.5.2.1 Échelle de Gravité

Score	Définition de la Gravité
10	Décès / incendie majeur, arrêt complet de l'usine
9	Blessure grave, hospitalisation, incident de sécurité majeur
8	Arrêt de ligne avec blessure probable ou exposition environnementale
7	Arrêt complet de la ligne > 4 heures
6	Arrêt de ligne de 1 à 4 heures
5	Perturbation de la ligne, réduction de vitesse, perte de qualité
4	Arrêt court < 30 min, reprise rapide
3	Retouche nécessaire, intervention manuelle requise
2	Aucune perte de production, correction locale
1	Aucun effet sur la sécurité, la qualité ou l'énergie

TABLE III.1 – Échelle de Gravité

III.5.2.2 Échelle de l'Occurrence

Score	Définition de l'Occurrence
10	Quotidiennement / à chaque poste
9	Plusieurs fois par semaine
8	Hebdomadairement
7	2 à 3 fois par mois
6	Mensuellement
5	Tous les 2 à 3 mois
4	2 à 3 fois par an
3	Une fois par an
2	Une fois tous les 2 à 3 ans
1	Moins d'une fois en 5 ans

TABLE III.2 – Échelle de l'Occurrence

III.5.2.3 Échelle de la Détection

Score	Définition de la Détection
10	La défaillance n'est détectée qu'après impact
9	Détectée seulement après arrêt de la ligne
8	Détectée par réaction de l'opérateur
7	Détectée lors des opérations courantes
6	Détectée lors d'une ronde planifiée
5	Jauges, contrôles manuels
4	Alarme existe mais peu fiable
3	Alarme claire avant impact
2	Tendance / surveillance conditionnelle
1	Défaillance prévenue ou corrigée automatiquement

TABLE III.3 – Échelle de la Détection

III.5.3 AMDEC du Générateur de gaz chaud

Dans le cadre de l'analyse AMDEC appliquée au générateur de gaz chaud, nous avons procédé à une décomposition fonctionnelle de cet équipement en deux sous-systèmes principaux.

- **Brûleur** : assure la génération et le contrôle de la flamme.
- **Chambre de combustion** : assure le confinement et le canalisation des gaz chauds produits vers le procédé.

Cette décomposition permet d'analyser de manière exhaustive les risques liés à la production et à la distribution des gaz chauds au sein du procédé.

Équipement / Sous-équipement	Fonction et exigences	Mode de défaillance potentiel	Mode de défaillance potentiel	G R V
Brûleur	Assure la génération et le contrôle de la flamme	Blocage du ventilateur	Absence de flux d'air, Arrêt du brûleur	6
		Court-circuit de Moteur du ventilateur	Arrêt du brûleur	7
		Surchauffe de Moteur du ventilateur	Arrêt de combustion	7
		Flamme instable	mauvais combustion du matériau	5
		Déformation du déflecteur	Flamme instable	6
		Pressostat d'air défectueux	Arrêt du brûleur(Mauvaise détection pression d'air)	6
		Fuite de gaz	Risque d'incendie ou explosion	9
		Pressostat mini gaz défectueux	Arrêt du brûleur(Mauvaise détection pression de gaz)	6
		Défaillance de Transformateur haute tension	Impossible d'allumer la flamme	6
		Encrassement des électrodes d'allumage	Défaut d'allumage	5
		Colmatage du filtre	Diminution du débit de gaz et combustion instable	5
		défaillance de bouton de réarmement	Impossible de redémarrer le brûleur après une mise en sécurité	6
Chambre de combustion	dont la fonction est de contenir et de canaliser les gaz chauds produits vers le procédé	Fissure des briques	Perte thermique importante	5
		Fuite de gaz	Risque d'explosion	9
		Obstruction du Tuyau d'air	Combustion incomplète	6
		Fissure de structure et usure de calorifuge	Perte de chaleur	5
		Blocage du Vanne sortie air chaud	Mauvaise évacuation thermique	6
		Blocage du Vanne de régulation	Mauvais combustion	6

Causes potentielles de la défaillance	Contrôles actuels de prévention	O C C
Accumulation de poussière	Contrôler la température ,Nettoyage filtres	5
Défaut électrique	Test de bon fonctionnement	3
Température élevée	Vérification dissipation thermique	4
mauvais réglage du déflecteur	Nettoyer les buses du brûleur ; Vérification vannes de régulation	5
Température élevée		4
Vibrations excessives ou Humidité ou corrosion	Contrôle pressions de service ; Test de bon fonctionnement	4
Usure des joints de Vanne d'arrêt gaz et étanchéité des conduites	Vérification état & étanchéité conduites de gaz	3
Vibrations excessives ou Humidité ou corrosion	Contrôle pressions de service ; Test de bon fonctionnement	4
Surchauffe	Test de bon fonctionnement	3
usure ,mauvais réglage du flamme	Nettoyer les buses du brûleur	5
Accumulation de poussières et de particule	Nettoyage filtres	5
Usure électrique ou mauvais contact		3
Choc thermique	Vérification calorifuge et dissipation thermique	3
Corrosion ou fissure de Tuyau de gaz	Vérification état & étanchéité conduites de gaz	2
Accumulation poussière		3
Chocs thermiques	Vérification calorifuge et dissipation thermique	3
Dépôts et poussières	Vérification vannes de régulation	3
Usure des Vannes, Humidité ou corrosion	Vérification vannes de régulation	3

Contrôles actuels de détection	D E T	I P R	Act io ns	Responsibl e	Date	Statut	G R V	O C V	D E T	I P R
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	180								
Maintenance Préventive	6	126								
Maintenance conditionnelle (CBM)	5	140								
Maintenance Préventive	5	125								
	7	168	inspection visuelle du déflecteur	ELEC		Prévu	6	3	6	108
Maintenance Préventive	5	120								
Maintenance Préventive	5	135								
Maintenance Préventive	5	120								
Maintenance Préventive	5	90								
Maintenance Préventive	5	125								
Maintenance Préventive	6	150								
	7	126	test périodique du bouton de réarmement	ELEC		Pré vu	6	2	6	72
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	90								
Maintenance Préventive	6	108								
	7	126	Nettoyage et Inspection visuelle de l'état interne du tuyau d'air	ELEC		Prévu	6	2	6	72
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	90								
Maintenance Préventive	5	90								
Maintenance Préventive	5	90								

Figure III.6 – AMDEC du Générateur de gaz chaud

III.5.4 AMDEC du broyeur à marteaux

Dans le cadre de l'analyse AMDEC appliquée au broyeur à marteaux, nous avons également procédé à une décomposition fonctionnelle de cet équipement en plusieurs sous-systèmes, afin d'assurer une analyse rigoureuse et ciblée de chaque composant.

Ainsi, le broyeur à marteaux a été divisé en six sous-ensembles :

- **Moteurs** : assurent l'entraînement de l'ensemble du système.
- **Système de transmission** : chargé de transmettre le couple nécessaire lors du démarrage.
- **Système de broyage** : constitue le cœur fonctionnel de l'équipement et assure le broyage de la matière.
- **Système d'entraînement par courroies** : assure l'augmentation du couple tout en réduisant la vitesse de rotation.
- **Vérin hydraulique** : assure l'ouverture et la fermeture du broyeur lors des opérations de maintenance et d'inspection.
- **Structure** : supporte l'ensemble des éléments constitutifs du concasseur et assure la rigidité mécanique de l'équipement.

Cette décomposition permet d'aborder l'analyse AMDEC de manière méthodique, en garantissant qu'aucun composant critique n'est omis.

Équipement / Sous-équipement	Fonction et exigences	Mode de défaillance potentiel	Mode de défaillance potentiel	G R V
Moteurs	En traî nement 380V	Usure/Endommagement Roulement	Griller le moteur	6
		Endommagement Bobinage	Arrêt du moteur	7
		Surchauffe	endommagement de l'isolation + roulements	6
		Court-circuit	Arrêt du moteur	7
		Usure Rotor	Griller le moteur	6
		Bloquage Ventilateur	Surchauffe du moteur	5
		Déséquilibre de phases	Surchauffe du moteur	6
		Endommagement Rotor	Endommagement des roulements Court-	5
		Défaut isolement	circuit	6
		Endommagement de la flasque	Endommagement des roulements	5
		Cisaillement de l'axe moteur	Arrêt de l'entraînement	7
		Défaillance du système de démarrage	Surchauffe du moteur	6
Système de transmission	Transmission du couple lors du démarrage	Flexion de l'arbre	Déséquilibre du rotor, bruit anormal	6
		rupture de l'arbre	Arrêt total du broyeur	8
		Usure des Paliers à rouleaux	Vibrations importantes, usure rapide des roulements	6
		Grippage du roulement	Blocage de l'arbre	7
		Usure des portées des roulements	Mauvaise fixation des roulements	5

Causes potentielles de la défaillance	Contrôles actuels de prévention	O C C
Manque de lubrification	Analyse de vibration ;Contrôle température paliers et moteur	4
Surchauffe, surtension, usure de l'isolant	Serrage des bornes électriques ; Nettoyage des voies de ventilation moteur	3
Mauvaise ventilation	Contrôle température moteur ; Nettoyage des voies de ventilation moteur	4
câbles endommagés, humidité, connexion défectueuse	Serrage des bornes électriques ; Vérification instrumentation	3
Frottement excessif , mauvais équilibrage, vibrations,	Analyse de vibration	4
Accumulation de poussière, corps étranger, déformation des pales	Nettoyage des voies de ventilation moteur	4
mauvais raccordement électrique	Vérification instrumentation ; Serrage des bornes électriques	4
mauvais équilibrage, vibrations,	Analyse de vibration	4
température élevée, contamination par huile ou poussière	Vérification instrumentation	3
Absence de lubrification	graissage du roulement	4
Surcharge mécanique,blocage brusque		2
Défaut du contacteur, panne du variateur ou démarreur, câblage défectueux	Vérification instrumentation ; Serrage des bornes électriques	3
Surcharge mécanique, déséquilibre du rotor	Analyse de vibration	3
surcharge brutale, fissures non détectées		2
Mauvais montage, vibrations excessives	Inspection état des paliers ; Analyse de vibration	4
Absence de lubrification,contamination par poussière		3
Absence de lubrification,contamination par poussière		3

Contrôles actuels de détection	D E T	I P R	Actions	Responsable	Date	Statut	G R V	O C C	D E T	I P R
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	48								
Maintenance Préventive	6	126								
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	144								
Maintenance Préventive	5	105								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	48								
Maintenance Préventive	6	120								
Maintenance Préventive	6	144								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	40								
Maintenance Préventive	6	108								
Plan de graissage	2	40								
	7	98	contrôle surcharge / l'intensité du moteur	ELEC		Prévu	7	1	6	42
Maintenance Préventive	5	90								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	36								
	7	112	Inspection visuelle de l'arbre lors des grande révision	MECA		Prévu	8	2	6	96
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	144								
	6	126	Graissage périodique des paliers et roulements	MECA		Prévu	6	2	5	60
	7	105	Graissage périodique des paliers et roulements	MECA		Prévu	5	2	6	60

Système de broyage	Assurer le broyage du gypse	Desserrage des plaque	Granulométrie non conforme	6
		Usure des plaques	Diminution de l'efficacité de broyage	5
		Usure des marteaux	Diminution de l'efficacité de broyage	5
		Desserrage des marteaux	Granulométrie non conforme,Vibrations et bruit anormal	6
		Desserrage des Manchon de montage	Granulométrie non conforme,Vibrations et bruit anormal	6
		Rupture des Manchon de protection	Diminution de l'efficacité de broyage	5
Système d'entraînement par courroies	augmentation du couple et réduction de la vitesse	Usure des courroies	Patinage	5
		Patinage des courroies	Bourrage du broyeur	6
		usure de la poulie	Endommagement des courroies	5
		Bloquage de système de tension	Difficulté de tension	5
Vérin hydraulique	Assurer l'ouverture et la fermeture du broyeur à marteaux pour l'inspection	Fuite d'huile hydraulique	Perte de pression et mauvais fonctionnement	5
		Perte de pression hydraulique	Impossible d'ouvrir ou fermer le broyeur	6
		Blocage du vérin	Mouvement impossible du capot	6
		Déformation de la tige du vérin	Mouvement irrégulier	5
		Usure des flexibles hydrauliques	Fuite d'huile et baisse de performance	5
Structure	Supporter l'ensemble des éléments du concasseur	Détachement des pièces d'usure	Arrêt du broyeur	7
		Rupture des boulons	Perte de fixation d'éléments critiques	6
		Fissure sur la structure	Fuite de mère	6
		Usure de la trémie de décharge	Fuite de mère	4
		Usure de la trémie d'alimentation	Fuite de mère	4
		Desserrage des boulons	Vibrations, bruit et risque de démontage	5
		Fissure des liaisons soudées	Instabilité de l'ensemble du broyeur	6

Vibrations excessives, mauvais serrage,	Inspection fixation boulonnée	4
Forte usure	Vérification usure plaques	5
Forte usure	Vérification usure marteaux	6
Vibrations excessives, mauvais serrage,	Inspection fixation boulonnée	4
Vibrations excessives, mauvais serrage,	Inspection fixation boulonnée	4
Vibrations excessives, mauvais serrage,		3
mauvais alignement des poulies, tension incorrecte	Vérification tension et alignement courroies	5
Tension insuffisante, surcharge du système	Vérification tension et alignement courroies	4
mauvais alignement, vibration excessive	Vérification tension et alignement courroies	4
manque de lubrification	Vérification tension et alignement courroies	4
Usure des joints	Inspection système hydraulique (pompe, vérin, flexibles)	4
Défaillance de la pompe ou fuite	Inspection système hydraulique	3
Contamination de l'huile	Inspection système hydraulique	3
Choc mécanique ou surcharge	Inspection système hydraulique	2
Vibrations et Usure	Inspection système hydraulique	4
Vibrations excessives	Inspection fixation boulonnée	3
mauvais serrage	Inspection fixation boulonnée	3
choc mécanique, fatigue de la structure	Inspection intégrité de la structure	2
forte vitesse d'écoulement, corrosion,Mauvaise inclinaison	Inspection intégrité de la structure	4
forte vitesse d'écoulement, corrosion,Mauvaise inclinaison	Inspection intégrité de la structure	4
Vibrations excessives,mauvais serrage	Inspection fixation boulonnée	5
Choc externe	Inspection intégrité de la structure	2

Maintenance Préventive	6	144						
Maintenance Préventive	5	125						
Maintenance Préventive	5	150						
Maintenance Préventive	6	144						
Maintenance Préventive	6	144						
	7	105	Inspection visuelle des Manchon de protection lors des grande révision	MECA		Prévu	5	2 6 60
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	50						
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	48						
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	40						
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	40						
Maintenance Préventive	6	120						
Maintenance Préventive	6	108						
Maintenance Préventive	6	108						
Maintenance Préventive	6	60						
Maintenance Préventive	6	120						
Maintenance Préventive	6	126						
Maintenance Préventive	6	108						
Maintenance Préventive	6	72						
Maintenance Préventive	6	96						
Maintenance Préventive	6	96						
Maintenance Préventive	6	150						
Maintenance Préventive	6	72						

Figure III.6 – AMDEC du broyeur à marteaux

III.5.5 AMDEC de la bande grillagée

Dans le cadre de l'analyse AMDEC appliquée à la bande grillagée, nous avons procédé à une décomposition fonctionnelle de cet équipement en plusieurs sous-systèmes distincts, afin d'identifier avec précision les modes de défaillance propres à chaque composant.

Ainsi, la bande grillagée a été divisée en neuf sous-ensembles :

- **Motoréducteur** : assure l'entraînement et le déplacement de la grille mobile à vitesse contrôlée.
- **Roues dentées / Pignons** : ont pour rôle de transmettre le couple aux chaînes de la grille.
- **Chaînes de la grille** : chargées de transmettre le mouvement et de supporter la bande grillagée.
- **Système de support et guidage** : assure le guidage et le support de la bande pendant son déplacement.
- **Système de bande grillagée** : assure le transport du gypse à travers les zones de cuisson et de refroidissement.
- **Hotte de refroidissement** : destinée au refroidissement du gypse en sortie de cuisson.
- **Trémie de chargement** : permet d'alimenter régulièrement la bande en gypse brut.
- **Trémie de crible** : collecte les particules fines passant à travers la bande grillagée.
- **Trémie de rejet** : assure l'évacuation du gypse cuit vers les équipements situés en aval.

Cette décomposition structurée permet une analyse exhaustive et méthodique des risques associés à chaque composant de la bande grillagée.

III.5.5.1 Méthodologie de priorisation et d'élaboration des actions correctives

Dans le cadre de l'analyse AMDEC de la bande grillagée, l'élaboration des actions correctives a suivi une méthodologie structurée en trois étapes complémentaires.

Dans un premier temps, nous avons recensé l'ensemble des modes de défaillance potentiels ne disposant d'aucun contrôle actuel de prévention, ces défaillances étant considérées comme les plus vulnérables en l'absence de toute barrière préventive.

Dans un second temps, parmi ces défaillances non maîtrisées, nous avons retenu celles dont l'indice de gravité (GRV) est supérieur à 7, correspondant à un arrêt complet de la ligne de production de plus de quatre heures. En raison de leur impact critique sur la continuité de la production, des actions correctives ont été systématiquement définies pour chacune d'elles.

Dans un troisième temps, nous avons appliqué un critère de seuil basé sur l'Indice de Priorité du Risque (IPR), calculé par le produit des trois indices $GRV \times OCC \times DET$.

La valeur IPR maximale enregistrée pour la bande grillagée étant de 210, nous avons défini un seuil critique égal aux deux tiers de cette valeur maximale, soit 140. Ainsi, tout mode de défaillance présentant un IPR supérieur à 140 et ne disposant d'aucun contrôle actuel de prévention a fait l'objet d'une action corrective dédiée.

Cette approche combinée permet de garantir que les ressources sont orientées en priorité vers les défaillances les plus critiques, qu'elles le soient par leur gravité intrinsèque ou par leur niveau de risque global.

Équipement / Sous-équipement	Fonction et exigences	Mode de défaillance potentiel	Mode de défaillance potentiel	G R V
Motoréducteur	l'entraînement et le déplacement de la grille mobile à vitesse contrôlée / 380V	Usure/Endommagement Roulement	Griller le moteur	6
		Endommagement Bobinage	Arrêt du moteur	7
		Sur c chauffe	endommagement de l'isolation + roulements	6
		Court-circuit	Arrêt du moteur	7
		Usure Rotor	Griller le moteur	6
		Bloquage Ventilateur	Surchauffe du moteur	5
		Déséquilibre de phases	Surchauffe du moteur	6
		Endommagement Rotor	Endommagement des roulements	5
		Défaut isolement	Court-circuit	6
		Endommagement de la flasque	Endommagement des roulements	5
		Cisaillement de l'axe moteur	Arrêt de l'entraînement	7
		Défaillance du système de démarrage	Surchauffe du moteur	6
		Manque de lubrification du réducteur	Échauffement et usure des engrenages	5
		Usure des engrenages	Bruit anormal et perte de couple	5
		Grippage du réducteur	Blocage de la grille mobile	7
		Rupture des dents d'engrenages	Arrêt de transmission	7
		Desserrage des fixations	Instabilité et vibrations	5
		Blocage de l'arbre de sortie	Arrêt complet du système	7
		Défaillance du variateur de fréquence	Variation irrégulière de vitesse	6
		Endommagement du carter	Fuite d'huile	5
		Fuite d'huile	endommagement du pignon /Roulement	5
Roues dentées / Pignons	Transmettre le couple aux chaînes de la grille	Usure des dents	Mauvais entraînement	5
		Désalignement pignon-chaîne	Vibrations et usure rapide	5
		Cassure des dents	Blocage de transmission	7

Causes potentielles de la défaillance	Contrôles actuels de prévention	O C C
Manque de lubrification	Analyse de vibration ; Contrôle température des paliers et motoréducteur	4
Surchauffe, surtension, usure de l'isolant	Serrage des bornes électriques ; Nettoyage des voies de ventilation moteur	3
Mauvaise ventilation	Contrôle température des paliers et motoréducteur ; Nettoyage des voies de ventilation moteur	4
câbles endommagés, humidité, connexion défectueuse	Serrage des bornes électriques ; Vérification instrumentation	3
Frottement excessif , mauvais équilibrage, vibrations,	Analyse de vibration	4
Accumulation de poussière, corps étranger, déformation des pales	Nettoyage des voies de ventilation moteur	4
mauvais raccordement électrique	Vérification instrumentation ; Serrage des bornes électriques	4
mauvais équilibrage, vibrations,	Analyse de vibration	4
température élevée, contamination par huile ou poussière	Vérification instrumentation	3
Vibrations excessives, usure des roulements	Analyse de vibration ; Inspection fixation boulonnée	4
Surcharge mécanique, blocage brusque de la charge,		2
Défaut du contacteur, panne du variateur ou démarreur, câblage défectueux, surcharge électrique	Vérification instrumentation ; Serrage des bornes électriques	3
Niveau d'huile insuffisant	Analyse d'huile	5
mauvaise lubrification	Analyse d'huile	4
Surchauffe, absence de lubrification,	Contrôle température motoréducteur	3
Choc brusque, surcharge, mauvais alignement	graissage du Motoréducteur	2
Vibrations excessives, mauvais serrage,	Inspection fixation boulonnée	4
Grippage interne, surcharge, défaut des roulements	Analyse de vibration ; Contrôle température	3
mauvais câblage, défaut électronique	Vérification instrumentation	3
Choc externe	Inspection état motoréducteur	3
fissure du carter, mauvais serrage, pression excessive		3
mauvaise lubrification, surcharge		4
Mauvais montage, vibrations excessives		4
Choc brusque, surcharge mécanique, fatigue du matériau, mauvais alignement		2

Contrôles actuels de détection	D E T	I P R	Actions	Responsibl e	Date	Statut	G R V	O C C	D E T	I P R
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	48								
Maintenance Préventive	6	126								
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	144								
Maintenance Préventive	5	105								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	48								
Maintenance Préventive	6	120								
Maintenance Préventive	6	144								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	40								
Maintenance Préventive	6	108								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	40								
	7	98	contrôle surcharge / l'intensité du moteur	ELEC		Prévu	7	1	6	42
Maintenance Préventive	5	90								
Maintenance conditionnelle (CBM)	7	175								
Maintenance conditionnelle (CBM)	6	120								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	42								
Plan de graissage	7	98								
Maintenance Préventive	6	120								
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	42								
Maintenance Préventive	5	90								
Maintenance Préventive	6	90								
	7	105								
	7	140	lubrification pignon/chaîne	MECA		Prévu	5	3	6	90
	7	140	Contrôle périodique de l'alignement et de la tension pignon-chaîne	MECA		Prévu	5	3	6	90
	7	98	lubrification pignon/chaîne	MECA		Prévu	7	1	6	42

Chaînes de la grille	Transmettre le mouvement et supporter la bande grillagée	Rupture de chaîne	Arrêt de la grille	7
		Mauvaise tension	Saut des chaînes	5
		Coincement chaîne	Blocage de la bande	6
Système de support et guidage	Guider et supporter la bande grillagée pendant le déplacement	Manquedegraisse(Paliers / Roulements)	Échauffement important et Blocage	6
		Usure des roulements	Vibrations et Bruit anormales	5
		Usure des rails de roulement	Mauvais déplacement	5
		AccumulationdegypsedansRails de roulement	Blocage partiel	5
Système de bande grillagée	Transporter le gypse à travers les zones de cuisson et de refroidissement	Déformation plaques	Mauvaise circulation produit	6
		Fissure plaques	Chute de matériau	6
Hotte de refroidissement	Refroidissement du gypse	Mauvais refroidissement	Produit mal refroidi	5
		Fuite d'air chaud	Baisse de performance de refroidissement	4
		Fissures de la structure	Perte d'étanchéité	5
		Dysfonctionnement des grilles d'aération	Mauvaise régulation du refroidissement	4
Trémie de chargement	Alimenter régulièrement la bande grillagée en gypse brut	Blocage de la trémie	Arrêt ou diminution de l'alimentation de la grille	6
		Usure des parois internes	Fuites de matériau, perte de rendement	4
		Fissures des soudures	Fuites et instabilité	5
		Mauvais réglage de la couche	Cuisson non homogène	5
		Desserrage des fixations	Bruit et instabilité	4
Trémie de crible	Collecter les particules passant à travers la bande grillagée	Blocage de la trémie	Arrêt de l'évacuation du gypse	5
		Usure des parois internes	Fuites de matériau, perte de rendement	4
		Fissures des soudures	Fuites et instabilité	4
		Desserrage des fixations	Bruit et instabilité	4
Trémie de rejet	Évacuer le gypse cuit vers les équipements aval	Fissures des soudures	Fuites et instabilité	4
		Desserrage des fixations	Bruit et instabilité	4

Surcharge, usure avancée, mauvaise lubrification	Inspecter tension chaîne	3
Mauvais réglage, usure du système de tension	Inspecter tension chaîne	4
mauvais alignement, manque de lubrification	Analyse de vibration ; Contrôle température	4
Absence de maintenance	Graissage périodique des paliers et roulements	4
manque de lubrification, contamination par poussière, vibrations	Inspection état palier ; Analyse vibratoire	3
Frottement continu, mauvais alignement	Inspection liberté rotation plaque	4
Nettoyage insuffisant		6
Température élevée, surcharge	Inspection état plaque	4
Fatigue mécanique, corrosion	Inspection état plaque	3
Débit d'air insuffisant, ventilateur défaillant	Vérification instrumentation	4
fissures de la structure, corrosion	Inspection intégrité structure	3
corrosion, Choc externe	Inspection intégrité structure	3
déformation des grilles par Choc externe, blocage par poussière		4
Accumulation de matériau, humidité élevée		4
corrosion, débit élevé	Inspection intégrité structure	4
Choc externe, surcharge	Inspection intégrité structure	3
usure des Vannes guillotine ; Mauvais réglage des Vannes guillotine:erreur opérateur		4
Vibrations excessives, mauvais serrage	Inspection fixation boulonnée	4
convoyeur a vis en panne	contrôler convoyeur à vis	4
corrosion, débit élevé	Inspection intégrité structure	4
Choc externe, surcharge	Inspection intégrité structure	3
Vibrations excessives, mauvais serrage	Inspection fixation boulonnée	4
Choc externe	Inspection intégrité structure	3
Vibrations excessives, mauvais serrage	Inspection intégrité structure	4

Maintenance Préventive	5	105							
Maintenance Préventive	5	100							
Maintenance conditionnelle (CBM)	5	120							
Plan de graissage	7	168					6	3	6
Maintenance conditionnelle (CBM)	2	30							
Maintenance Préventive	6	120							
	7	210	Nettoyage périodique des rails de roulement	MECA		Prévu	5	4	6
Maintenance Préventive	6	144							
Maintenance Préventive	6	108							
Maintenance Préventive	5	100							
Maintenance Préventive	6	72							
Maintenance Préventive	6	90							
	7	112							
	7	168	Inspection de l'état interne de la trémie	MECA		Prévu	6	4	7
Maintenance Préventive	6	96							
Maintenance Préventive	6	90							
Maintenance Préventive	5	100							
Maintenance Préventive	6	96							
Maintenance Préventive	7	140							
Maintenance Préventive	6	96							
Maintenance Préventive	6	72							
Maintenance Préventive	6	96							
Maintenance Préventive	6	72							
Maintenance Préventive	6	96							

Figure III.6 – AMDEC de la bande grillagée

III.6 Analyse des causes racines(RCA)

III.6.1 Présentation du template utilisé

Dans le cadre de l'analyse des défaillances, nous avons adopté la méthode RCA (Root Cause Analysis), un outil structuré de résolution de problèmes. Le template utilisé est organisé en plusieurs sections complémentaires :

- **Faits / Équipe de travail** : identification du problème, localisation, date de détection et membres de l'équipe impliquée.
- **Description du problème** : description détaillée du problème (ce qui est défaillant vs ce qui fonctionne normalement), accompagnée d'une photo ou d'un schéma.
- **Actions immédiates** : actions correctives immédiates prises dès la détection de la défaillance.
- **Analyse des causes racines — Diagramme d'Ishikawa** : diagramme cause-effet couvrant les six familles de causes : Main-d'œuvre, Machine, Matière, Méthode, Milieu et Mesure.
- **Méthode des 5 Pourquoi** : approfondissement de la cause racine par la méthode des cinq pourquoi.
- **Actions correctives** : mesures proposées pour éliminer la cause identifiée, avec responsable et délai.
- **Standardisation** : actions visant à pérenniser la solution (mise à jour des procédures, formations, etc.).
- **Transfert** : capitalisation des leçons apprises et transfert vers d'autres équipements ou processus similaires.
- **Finish** : chef d'équipe et comité de pilotage renseignés .

Le template est détaillé dans l'Annexe 2.

III.6.2 Exemple

Durant notre stage au sein de l'entreprise KNAUF Fleuris, nous avons consulté l'historique des arrêts enregistrés dans le système SAP. Parmi les événements recensés, un arrêt particulier a retenu notre attention : la défaillance du convoyeur à vis 56.050, responsable de l'alimentation des silos 5.3 et 5.4 de la ligne du four à grille.

Cet incident a engendré un arrêt total de la ligne d'une durée de 4020 minutes, soit près de 3 jours, ce qui représente un impact significatif sur la production.

Face à la gravité de cet arrêt et afin d'en identifier les causes profondes pour éviter toute récurrence, nous avons décidé d'appliquer la méthode d'analyse RCA sur cette défaillance.

Le template ci-dessous présente le résultat de cette analyse, depuis la description du problème jusqu'aux actions correctives, de standardisation et de transfert mises en place.

Résolution de problème RCA				Chef d'équipe :		
Date du RCA :				Membres de l'équipe :		
1	Problème :		Arrêt du four à grille à cause d'une défaillance du convoyeur à vis 56.050.			
Faits / Équipe de travail	Usine	Fleuris		 		
	Zone / Emplacement	cuisson				
	Produit / Composant	Plâtre				
	Nombre de défauts	1				
	Observé depuis	08/04/2025				
	Observé en raison de	Poussière noire lors de l'inspection régulière				
	Problème répétitif ?	oui	non		✗	
2	Description		Le problème est (Produit/Processus non conforme)	Le problème n'est pas (comparer avec le Produit/Processus conforme)		
Description du problème	Quoi	quel est le problème en détail ?		Arrêt de la grille dû à une intervention tardive sur la convoyeur a vis		
	Quand	le problème est-il survenu ?		Date de détection : 08/04/2025 ; Date de la défaillance : 09/05/2025 Date de remplacement : 12/05/2025		
	Qui	a rencontré le problème ?		Opérateur / Mécanicien		
	Où	le problème est-il survenu ?		Transport du matériau de la grille vers les silos (4 étages)		
	Pourquoi	est-ce un problème ?		L'intervention tardive sur le convoyeur à vis 56.50, assurant l'alimentation des silos 5.3 et 5.4, a entraîné l'arrêt du convoyeur ainsi que l'arrêt de la bande à grille.		
	Comment	cela s'est-il produit (étape par étape)		Le convoyeur à vis 56.50 n'a pas pu être réparé en raison de l'absence d'une plateforme de travail sécurisée.		
	Combien	étaient impliqués (quantification, unités, clients, employés)		Temps d'arrêt total : 4020 minutes (impact sur la production, la maintenance, l'approvisionnement, la finance et les clients).		
3	N°	Action immédiate		Responsable	Date	Statut
Action immédiate	1	Demande d'achat d'un échafaudage spécifique.		Ingénieur méthodes maintenance	08-avr	●
	2	Installation de l'échafaudage spécifique par un prestataire de service.		prestataire spécialisé	09-mai	●
	3	Démontage de l'accouplement défectueux puis montage du nouvel accouplement.		Mécanicien	12-mai	●
4a	Man Absence d'anticipation du risque Manque de préparation pour le travail en hauteur Communication insuffisante concernant les besoins d'intervention. Longue procédure d'achat. Absence de procédure rapide pour intervention urgente. Non-disponibilité d'un plan d'intervention préventif. Machine Défaillance du convoyeur à vis 56.50 Accouplement défectueux. Arrêt du système d'alimentation des silos 5.3 et 5.4. Conditions de sécurité insuffisantes pour la maintenance. Travail en hauteur. Environnement dangereux. Material Absence d'échafaudage Pièce d'accouplement usée. Retard de disponibilité du matériel nécessaire. Détection limitée à une inspection visuelle. Suivi insuffisant de l'état de l'accouplement. Aucune inspection approfondie anticipative. Method Environment Measure Problem: Arrêt du four à grille à cause d'une défaillance du convoyeur à vis 56.050.					

4b	5 x Pourquoi ? - Appliquer la/les cause(s) principale(s) la/les plus probable(s) issues d'Ishikawa					
	1		2		3	
	Pourquoi ?	Accouplement défectueux	Pourquoi ?	Absence d'accès sécurisé	Pourquoi ?	
	Pourquoi ?	Usure de l'accouplement / vieillissement de l'accouplement	Pourquoi ?	Absence d'échafaudage spécifique ou de plateforme de travail	Pourquoi ?	
	Pourquoi ?	Non-remplacement de l'accouplement	Pourquoi ?	Procédure d'achat longue	Pourquoi ?	
	Pourquoi ?	Environnement de travail dangereux	Pourquoi ?		Pourquoi ?	
Analyse des causes (5 x Pourquoi)	Pourquoi ?	travail en hauteur	Pourquoi ?		Pourquoi ?	
	Mesures pour éliminer la/les cause(s) identifiée(s)					
	5	N°	Action	Date	Responsable	Statut
	Actions	1	Communiquer les exigences techniques et réglementaires relatives à l'échafaudage spécifique pour les futures interventions.		Ingénieur méthodes maintenance	●
		2	Anticiper la mise en place d'un contrat avec un prestataire spécialisé pour la fourniture, l'installation et le démontage de cet échafaudage spécifique à la demande.		Directeur général	⊕
3		Développer une plateforme en aluminium dédiée à la vis 56.50 afin de faciliter les opérations d'inspection, de lubrification et d'intervention.		responsable de maintenance	⊕	
4						
6	Description de l'efficacité de détection (test fictif, essais, capacité à court terme, indicateurs, audit, etc.)					
	Vérification de l'efficacité par inspection hebdomadaire de L'etat du convoyeur 56.50, suivi du nombre d'arrêts (objectif = 0), et test de disponibilité de l'échafaudage prestataire sous 24h. Audit mensuel de la fiche des inspections .					
7	Assurer la pérennité de la solution (AMDEC, Plan de contrôle, instructions, formation, etc.)			Responsable	Date	Statut
	Standardisation	1	Mise en place d'un plan de maintenance dédié au convoyeur à vis	Ingénieur méthodes maintenance		●
		2	Développer des inspections continues à court terme, avec une fréquence journalière et hebdomadaire.	Ingénieur méthodes maintenance		●
		3				
		4				
8	Transférer la solution à d'autres produits / processus (Leçons apprises)					
	Proposition / Activité			Responsable	Date	
	1	convoyeur à vis réversible	Mécanicien			
Transfert	2	Ecluse à roue cellulaire	Mécanicien			
	Raison si non nécessaire :					
9	**L'histoire de résolution du problème doit être présentée par le chef d'équipe au comité de pilotage afin d'en assurer la validation. Cela permet également de décharger le chef d'équipe de cette responsabilité.**					
	Chef d'équipe			terminé le Comité de pilotage		
Finish	⊕ Action planifiée avec le responsable ⊖ Action en cours			● Action mise en œuvre ● efficacité de la mesure démontrée		

Figure III.6 – Résolution de problème RCA

III.7 Plans de maintenance préventive finaux

Les plans de maintenance préventive initiaux ont été élaborés à partir du recensement des équipements et de l'évaluation de leur criticité. Toutefois, l'application de la méthode AMDEC Machine aux équipements les plus critiques a permis d'identifier de nouveaux modes de défaillance ainsi que plusieurs points de vigilance qui n'étaient pas pris en compte dans les plans initiaux. Afin de mieux maîtriser les risques associés à ces défaillances, de nouvelles tâches d'inspection, de contrôle et de maintenance ont été intégrées, tandis que certaines fréquences d'intervention ont été révisées pour mieux refléter les conditions réelles d'exploitation des équipements.

Les figures suivantes présentent les plans de maintenance préventive finaux, mis à jour et enrichis à l'issue de l'analyse AMDEC.

KNAUF		Plan de Maintenance			
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance	
Cuisson	Bande à grille	053.100 053.101	Générateur de gaz chaud Bruleur	C1 / 08	
Equipement					
Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.					
Procédure de consignation					
Plan	Action	Durée(H)	Outils	Travaux	
9M	Vérification des vannes de régulation	0.5	Manuelle	ELEC	
	Nettoyage des filtres	0.5	Manuelle	ELEC	
	Contrôle des pressions de service	0.5	Manomètre	ELEC	
	Nettoyage des buses du brûleur	0.5	Manuelle	ELEC	
	Test de bon fonctionnement	0.5	visuel.Manuelle	ELEC	
	Vérification de l'état et de l'étanchéité des conduites de gaz	0.5	Détecteur de fuite ultrasonique	ELEC	
	Vérification du calorifuge et de la dissipation thermique	0.2	visuel	ELEC	
	Inspection de l'état du déflecteur	0.5	visuel	ELEC	
	Test périodique du bouton de réarmement	0.1	Manuelle	ELEC	
	Nettoyage et Inspection de l'état interne du tuyau d'air	1	Caméra d'inspection	ELEC	
Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026		

FIGURE III.7 – plan de maintenance préventive finaux— Générateur de gaz chaud

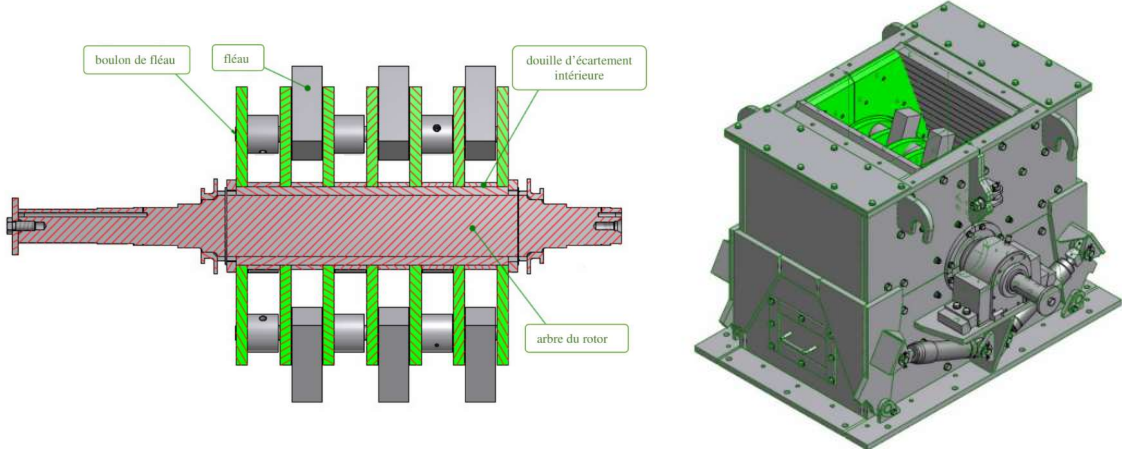
KNAUF		Plan de Maintenance		
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance
Cuisson	Transport Bande à grille	055.020	broyeur à marteaux	C1 / 08
Equipement				
				
  Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.				
Procédure de consignation				
Plan	Action	Durée(H)	Outils	Travaux
3M	Analyse de vibration sur le moteur et les paliers et Contrôler la température	0,4	Analyseur de vibration,Caméra thermique	MECA
	Vérification de l'usure des marteaux	0,5	visuel.Manuelle	MECA
	Vérification de la plaque d'usure	0,5	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection de l'état des paliers	0,2	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection de l'état du moteur	0,2	visuel.Clé de serrage	MECA
	Vérification de la tension et de l'alignement des courroies	1	laser d'alignement , Analyseur de tension	MECA
	Inspection du système hydraulique (pompe, vérin, flexibles)	0,5	visuel.Manuelle	MECA
	Inspection des fixations boulonnées	0,5	Clé de serrage	MECA
	Inspection de l'intégrité de la structure	0,1	visuel	MECA
	Vérification de l'instrumentation	0,2	visuel	ELEC
	Serrage des bornes électriques	0,2	Clé de serrage	ELEC
6M	contrôle surcharge / l'intensité du moteur	0,5	Multimètre	ELEC
	Inspection de l'état de l'arbre	0,5	visuel	MECA
	Inspection de l'état des Manchon de protection	0,5	visuel	MECA
Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026	

FIGURE III.8 – plan de maintenance préventive finaux— Broyeur à marteaux

knauf		Plan de Maintenance			
Usine	Zone	Tag / Code SAP de l'équipement	Désignation de l'équipement	Plan de maintenance	
Cuisson	Bande à grille	053.010	Bande à grille	C1 / 08	
Equipement					
Avant tous travaux de maintenance, lire et respecter la procédure de consignation LOTOTO de l'équipement.					
Procédure de consignation					
Plan	Action	Durée(H)	Outillage	Travaux	
1M	Nettoyage des rails de roulement	0,5	Nettoyeur de rails	MECA	
3M	Analyse de vibration et Contrôler la température des paliers et de moteur	0,4	Analyseur de vibration,Caméra thermique	MECA	
	Inspection de l'état de la plaque	0,5		MECA	
	Vérifier la tension de la chaîne (fléchissement 30–50 mm)	0,5	Règle métallique	MECA	
	Inspection de la liberté de rotation de la plaque	0,2	visuel	MECA	
	Inspection de l'état des paliers	0,2	visuel	MECA	
	Inspection de l'état du motoréducteur	0,2	visuel	MECA	
	Inspection des fixations boulonnées	0,2	Clé de serrage	MECA	
	Inspection de l'intégrité de la structure	0,2	visuel	MECA	
	Vérification de l'instrumentation	0,2	visuel	ELEC	
	Serrage des bornes électriques	0,5	Clé de serrage	ELEC	
	Nettoyage des voies de ventilation du moteur	0,4	manuel / Clé de serrage	ELEC	
6M	Inspection de l'état interne de la trémie	0,2	visuel	MECA	
	Contrôle de l'alignement et de la tension pignon-chaîne	0,5	Visuel,laser d'alignement	MECA	
9M	contrôle surcharge / l'intensité du moteur	0,5	Multimètre	ELEC	
Date de création	18/04/2026	Date de révision	10/05/2026		

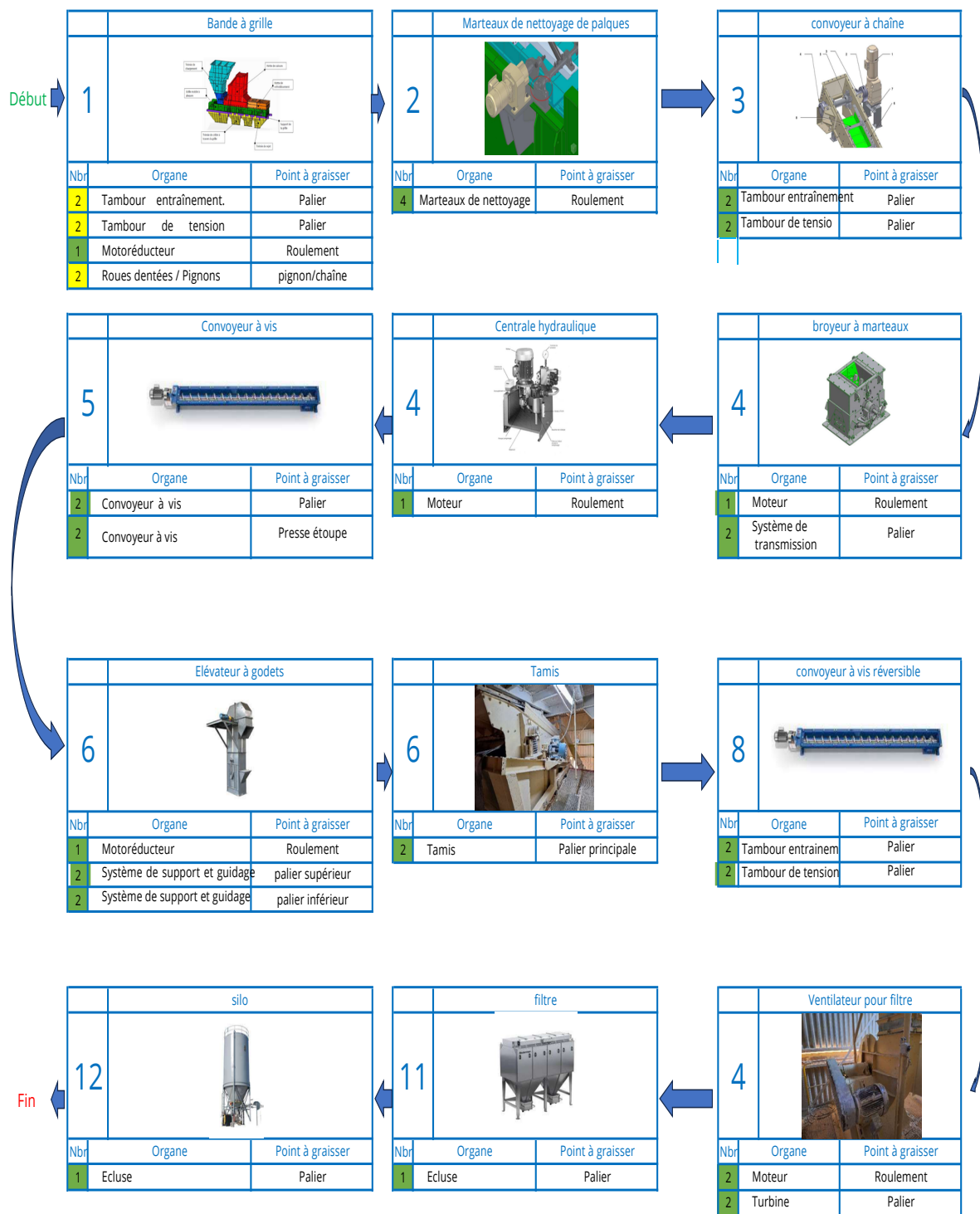
FIGURE III.9 – plan de maintenance préventive finaux — Bande à grille

III.8 Plans de lubrification finaux

De la même manière, l'application de l'AMDEC Machine a permis de mettre en évidence certaines insuffisances dans le plan de lubrification initial. L'analyse détaillée des modes de défaillance a notamment révélé l'existence de points de lubrification non pris en compte ainsi que certaines fréquences de lubrification nécessitant une réévaluation. Afin de mieux maîtriser les risques de défaillance liés à une lubrification inadéquate, le plan initial a été révisé et enrichi par l'ajout de nouveaux points de graissage et l'adaptation de certaines périodicités d'intervention.

La figure ci-dessous présente le plan de lubrification final intégrant l'ensemble des améliorations issues de l'analyse AMDEC.

Plan de graissage - four à grille - 1 Mois



Code couleur :



Graisse EP 2



Graisse EP 3



Graisse S3 T100

FIGURE III.10 – Plan de graissage mensuel du four à grille- finaux

III.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, une démarche structurée d'analyse des pannes a été mise en œuvre sur la ligne du four à grille. La classification des équipements selon leur criticité a permis d'identifier les éléments les plus sensibles du procédé et de concentrer les efforts d'amélioration sur les équipements prioritaires.

L'application de la méthode AMDEC Machine a permis de recenser les principaux modes de défaillance, d'évaluer leurs risques et de définir des actions adaptées pour réduire leur occurrence et leurs impacts sur la production. Ces résultats ont conduit à la révision et à l'optimisation des plans de maintenance préventive et de lubrification afin de renforcer la fiabilité des équipements.

Par ailleurs, l'analyse RCA réalisée sur une défaillance majeure a permis d'identifier les causes profondes de l'incident et de proposer des mesures correctives et préventives visant à éviter sa récurrence.

L'ensemble de ces travaux constitue une base solide pour l'amélioration continue de la maintenance et contribue à l'augmentation de la disponibilité et des performances de la ligne du four à grille.

Conclusion Générale

Ce mémoire avait pour objectif d'améliorer la gestion de la maintenance sur la ligne du four à grille de KNAUF Plâtres Algérie, à travers l'application d'une démarche structurée et méthodique reposant sur l'analyse des modes de défaillance.

Dans un premier temps, le cadre théorique établi au Chapitre I a fourni les bases conceptuelles nécessaires à la compréhension des enjeux de la maintenance industrielle et des outils d'analyse des pannes, notamment la méthode AMDEC et l'analyse des causes racines. Ces fondements ont guidé l'ensemble de la démarche appliquée tout au long du mémoire.

La présentation de l'entreprise KNAUF Algérie au Chapitre II a mis en évidence le niveau d'exigence technique et organisationnel de ce groupe industriel de renommée internationale. La description du procédé de fabrication du plâtre et du fonctionnement de la ligne du four à grille a permis d'identifier les équipements intervenant dans le processus de calcination et de comprendre leurs interactions, constituant ainsi le point de départ indispensable à toute analyse de fiabilité.

Le Chapitre III, cœur applicatif de ce travail, a mis en œuvre une démarche complète d'analyse et d'amélioration. La hiérarchisation des équipements par une matrice de criticité multicritère a permis de concentrer les efforts sur les trois équipements les plus sensibles : le générateur de gaz chaud, le broyeur à marteaux et la bande à grille. L'application de l'AMDEC Machine a ensuite permis d'identifier les principaux modes de défaillance, d'évaluer leur criticité via l'IPR et de définir des actions correctives adaptées. Ces résultats ont conduit à la révision et à l'enrichissement des plans de maintenance préventive et de lubrification, désormais alignés sur les risques réels de la ligne. Enfin, l'analyse RCA menée sur une défaillance majeure a permis de remonter aux causes profondes de l'incident et de proposer des mesures préventives visant à éviter sa réapparition.

Au terme de ce travail, il ressort que l'intégration d'une approche analytique et structurée dans la gestion de la maintenance constitue un levier puissant pour améliorer la disponibilité

et la fiabilité des équipements industriels. Les résultats obtenus démontrent que la méthode AMDEC, couplée à une analyse RCA, permet non seulement d'anticiper les défaillances, mais aussi d'orienter les ressources de maintenance de manière plus efficace et plus rationnelle.

Ce travail ouvre des perspectives d'amélioration continue pour KNAUF Algérie, notamment par l'extension de la démarche AMDEC aux autres lignes de production de l'usine, le suivi des indicateurs de fiabilité dans le temps (MTBF, MTTR et TRS) ainsi que le renforcement de la maintenance conditionnelle à travers l'exploitation systématique des données issues de l'analyse vibratoire, de la thermographie et de l'analyse des lubrifiants.

Bibliographie

- [1] Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. Technical Report MIL-STD-1629A, U.S. Department of Defense, 1980.
- [2] AFNOR. *Concepts et définitions des activités de maintenance*. AFNOR, 1994. Norme AFNOR.
- [3] AFNOR. Terminologie de la maintenance. *NF EN 13306*, 2001.
- [4] AFNOR. Maintenance – terminologie de la maintenance. *NF EN 13306*, 2018.
- [5] Messaoud Benzouai. Maintenance des systèmes industriels. *Cours pour Masters, Génie Industriel*. Université de Batna, 2018.
- [6] Mohammed Amine BERBACHE. *Mise en oeuvre de la méthode TPM pour l'amélioration des performances opérationnelles : Analyse et calcul des KPI Cas d'étude : SPA Comptoir du Maghreb*. PhD thesis, Directeur : Mme. Habiba HOUARI/CO-Directeur : Mme. AMINA OUHOUD, 2025.
- [7] Jean Bufferne. Le guide de la tpm. *Editions d'organisation*, 2006.
- [8] Jury de Soutenance. Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master thème : La mise en œuvre de la méthode tpm dans l'unité de, 2020. Mémoire de Master.
- [9] Valérie Dorval. Stratégie d'implantation de la tpm dans une entreprise agroalimentaire, 2010. Document industriel.
- [10] Houda El Aoufir and Driss Bouami. Maintenance des équipements de production : les enjeux de la maîtrise des coûts. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 23(3) :71–86, 2004.
- [11] Jean Claude Francastel. *Ingénierie de la maintenance : de la conception à l'exploitation d'un bien*. Technique et ingénierie. Série Gestion industrielle. Dunod, 2003.

-
- [12] Hugo Gervais. Les 8 piliers du tpm : La maintenance productive totale pour une meilleure performance, 2023. Consulté le 6 mars 2026.
- [13] International Electrotechnical Commission. Iec 60812 : Failure modes and effects analysis (fmea and fmeca), 2018. International Standard.
- [14] R Keith Mobley. *An introduction to predictive maintenance*. Elsevier, 2002.
- [15] F. Monchy and J. P. Vernier. *Maintenance : méthodes et organisations*. Technique et ingénierie. Série Gestion industrielle. Dunod, 2010.
- [16] François Monchy and Jean-Pierre Vernier. *Maintenance. Méthodes et Organisations*, 2000.
- [17] Peter Muchiri and Liliane Pintelon. Performance measurement using overall equipment effectiveness (oe). *International Journal of Production Research*, 46(13) :3517–3535, 2008.
- [18] Seiichi Nakajima. *Introduction to TPM : Total Productive Maintenance*. Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.
- [19] Fatima Nibouche, Tewfik Lamraoui, Imadeddine Aziez, and Djalal Touati. Réalisation d’une étude d’optimisation et mise en place du premier pilier de la tpm et des six sigma sur une machine de compression de forme sèche. In *Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées*, 2015.
- [20] Organilog. Différents types de maintenance industrielle. Consulté le 12 février 2026.
- [21] A. Raouf and M. Ben-Daya. Total productive maintenance : An overview. In M. Ben-Daya and A. Raouf, editors, *Maintenance, Modeling and Optimization*. Springer, 1995.
- [22] D. H. Stamatis. *Failure Mode and Effect Analysis : FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press, 2003.
- [23] SXE Consulting. La méthode 5s, un premier pas vers l’excellence opérationnelle, 2022. Consulté le 12 mars 2026.
- [24] Walid Tayeb Cherif and Halima Khiter. *Essai d’implantation d’un système de maintenance productive totale TPM au sein de la Raffinerie d’Alger Sonatrach*. PhD thesis, École Supérieure de Commerce (Alger), 2015.
- [25] Jérôme Vallon. *Introduction à l’étude de la fiabilité des cellules de commutation à IGBT sous fortes contraintes*. PhD thesis, Institut National Polytechnique (Toulouse), 2003.
- [26] Terry Wireman. *Total Productive Maintenance*. Industrial Press, 2004.

-
- [27] Ines Zoubida YUCEFI and Aya LAFDJAH. Chaîne de contrôle et supervision de la production de plaques de plâtre. Mémoire de licence, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO-MB), Oran, Algérie, 2022.

Annexe 1

Résultats de la matrice de criticité

Évaluation de la criticité des équipements du four à grille (011.053) +cycle de transport vers silo (011.055)

Tag	Equipement	MTTR	Utilisation	Qualité	Non qualité	Energie	Rendemen	Securité	Envi	MTBF	Criticité	Coût	Age	Score	New
053.100	Générateur de gaz chaud	30	5	5	5	1	5	3	3	15	40	15	25	152	AA
055.020	broyeur à marteaux	20	5	5	5	5	5	3	1	15	40	15	25	144	AA
055.150	broyeur	20	5	5	5	5	5	3	1	15	40	15	25	144	AA
053.010	Bande à grille	5	5	1	1	5	5	3	1	25	60	5	25	141	A
053.101	Bruleur	20	5	5	5	5	5	5	3	5	40	5	25	128	A
055.120	Tamis à vibration	20	5	5	5	1	1	1	1	5	40	15	25	124	A
055.125	convoyeur à vibration	20	5	5	5	1	1	1	1	5	40	15	25	124	A
053.015	Marteaux de nettoyage de palques	20	5	1	1	1	1	3	1	15	40	5	25	118	A
053.102	Ventilateur d'air principale	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	A
053.110	Ventilateur d' air d'échappement	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	A
053.115	Filtre pour air d'échepeement	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	A
056.050	Convoyeur à vis	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.117	Ecluse à roue cellulaire	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.120	Ventilateur de circulation	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.130	Ventilateur d'air de combustion	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.131	Filtre pour air de combustion	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.137	Convoyeur à vis pour filtre	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.155	Convoyeur à vis	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.020	Convoyeur à vis	20	5	1	5	1	5	1	5	5	40	5	25	118	B
053.138	Ecluse à roue cellulaire à vis	20	5	1	1	1	5	1	5	5	40	5	25	114	B
055.010	convoyeur à chaîne	20	5	1	1	5	1	1	1	5	40	5	25	110	B
055.040	élévateur à godets	20	5	1	1	5	1	1	1	5	40	5	25	110	B
055.050	convoyeur à vis réversible	20	5	1	1	5	1	1	1	5	40	5	25	110	B
053.170	Cheminée	20	5	1	1	1	1	3	3	5	20	25	25	110	B
056.005	elevateur a godets	20	1	1	1	5	1	1	1	5	40	5	25	106	B
055.230	Ventilateur pour filtre	20	5	1	1	1	1	1	1	5	40	5	25	106	B
055.022	Centrale hydraulique	20	5	1	1	5	1	3	3	5	20	5	25	94	B

055.133	convoyeur a vis	20	5	1	1	5	1	3	3	5	20	5	25	94	C
055.152	Centrale hydraulique	20	5	1	1	5	1	3	3	5	20	5	25	94	C
055.220	Convoyeur a vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
053.116	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
056.060	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
056.070	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
056.080	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
056.090	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	3	1	5	20	5	25	92	C
055.210	Vis pour filtre	5	5	1	1	1	1	1	1	5	40	5	25	91	C
055.215	Ecluse	5	5	1	1	1	1	1	1	5	40	5	25	91	C
055.045	convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.135	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.030	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.110	convoyeur à vis réversible	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.110.1	convoyeur a vis de decharge	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.112	convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.130	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
056.010	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
056.020	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
056.030	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
056.040	Convoyeur à vis	20	5	1	1	5	1	1	1	5	20	5	25	90	C
055.200	Filtre	5	5	1	1	5	1	1	5	5	20	5	25	79	C
055.235	cheminé	5	1	1	1	1	1	3	1	5	20	5	25	69	C
055.100	silo d'urgence	5	1	1	1	1	1	1	1	5	20	5	25	67	C
055.105	Ecluse	5	1	1	1	1	1	1	1	5	20	5	25	67	C
5.3	silo	5	1	1	1	1	1	1	1	5	20	5	25	67	C
5.4	silo	5	1	1	1	1	1	1	1	5	20	5	25	67	C

TABLE 4 – Évaluation de la criticité des équipements du four à grille

Annexe 2

Modèle d'analyse des causes racines (RCA)

Résolution de problème RCA				Chef d'équipe :		
Date du RCA :				Membres de l'équipe :		
1	Problème :					
	Faits / équipe de travail	Usine		Dessin / Photo		
		Zone / Emplacement				
		Produit / Composant				
		Nombre de défauts				
		Observé depuis				
		Observé en raison de				
	Problème répétitif ?	oui	non			
2	Description		Le problème est (Produit/Processus non conforme)		Le problème n'est pas (comparer avec le Produit/Processus conforme)	
	Description du problème	Quoi	quel est le problème en détail ?			
		Quand	le problème est-il survenu ?			
		Qui	a rencontré le problème ?			
		Où	le problème est-il survenu ?			
		Pourquoi	est-ce un problème ?			
		Comment	cela s'est-il produit (��tape par étape)			
		Combien	étaient impliqués (quantification, unités, clients, employés)			
3	N��	Action immédiate		Responsable	Date	Statut
	1					
	2					
	3					
4a	Analyse des causes racines (Ishikawa)					
	Man Machine Material Method Environment Measure Problem:					

4b	5 x Pourquoi ? - Appliquer la/les cause(s) principale(s) la/les plus probable(s) issues d'Ishikawa						
	1		2		3		
	Pourquoi ?		Pourquoi ?		Pourquoi ?		
	Pourquoi ?		Pourquoi ?		Pourquoi ?		
	Pourquoi ?		Pourquoi ?		Pourquoi ?		
	Pourquoi ?		Pourquoi ?		Pourquoi ?		
5	Mesures pour éliminer la/les cause(s) identifiée(s)						
	N°	Action			Date	Responsable	Statut
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
10							
6	Description de l'efficacité de détection (test fictif, essais, capacité à court terme, indicateurs, audit, etc.)						
						7	Assurer la pérennité de la solution (AMDEC, Plan de contrôle, instructions, formation, etc.)
1							
2							
3							
4							
5							
8	Transférer la solution à d'autres produits / processus (Leçons apprises)						
	Proposition / Activité			Responsable	Date		
	1						
	2						
9	Raison si non nécessaire :						
9	**L'histoire de résolution du problème doit être présentée par le chef d'équipe au comité de pilotage afin d'en assurer la validation. Cela permet également de décharger le chef d'équipe de cette responsabilité.**						
	Chef d'équipe			<i>terminé le</i> Comité de pilotage			
 Action planifiée avec le responsable  Action en cours			 Action mise en œuvre  efficacité de la mesure démontrée				