

MISE AU POINT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DE COMPORTEMENT DES ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS EN S'APPUYANT SUR LA SECTION BROYAGE DES USINES DE SHITURU

KISANGUKA PANDA KUFUA Henry¹, MUKENDI MBAYA Baby²,
KAZADI KATOMPA Aubin³, NTEPE KISANGUKA Olivier⁴,
KIKOSA WA NKABI JOHN⁵, ILUNGA WA NSANKI ANDRE⁶

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15181979>

Published Date: 09-April-2025

Resume: Les pannes sont les temps non productifs qui affectent la productivité d'une entité de production⁷. Si nous réduisons ce temps, nous allons améliorer la disponibilité d'un équipement industriel. Pour bien mener les actions preventives, il faudra déclencher une analyse afin de cibler les parties sur lesquelles les maintenanciers doivent accorder une attention particulière⁸. En nous appuyant sur la chaîne cinématique de commande du broyeur Rod Mill à barres, une analyse détaillée à partir du diagramme de Pareto est réalisé et a permis de déceler les organes qui tombent souvent en panne.

La seconde demarche a consisté à la détermination des paramètre de performance et à retrouver les causes racines en se servant des méthodes: le formalisme 5 pourquoi et l'analyse par AMDEC.

Mots clés: équipements, criticité, défaillance et performance.

Abstract: Breakdowns are non-productive times that affect the productivity of a production entity. If we reduce this time, we will improve the availability of industrial equipment. To properly carry out preventive actions, it will be necessary to trigger an analysis in order to target the parts on which the maintainers must pay particular attention. Based on the kinematic chain of the Rod Mill, a detailed analysis from the Pareto diagram is carried out and has made it possible to detect the parts that often fail.

The second step consisted in determining the performance parameters and finding the root causes using the methods: the 5 why formalism and the FMEA analysis.

Keywords: equipment, criticality, failure and performance.

¹ KISANGUKA PANDA KUFUA HENRY: chef des travaux à l'école des ingénieurs industriels, Université de Likasi

² MUKENDI MBAYA BABY: assistant à l'école des ingénieurs industriels, Université de Likasi

³ KAZADI KATOMPA AUBIN: assistant à l'école des ingénieurs industriels, Université de Likasi

⁴ NTEPE KISANGUKA Olivier : assistant 2 à l'institut supérieur pédagogique et technique Likasi

⁵ KIKOSA WA NKABI JOHN : assistant 1 à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique Likasi

⁶ ILUNGA WA NSANKI ANDRE: Assistant 2 à l'Institut Supérieur Pédagogique et Technique Likasi

⁷ H.P RAMALA, maintenance des turbines à vapeur. Technique de l'ingénieur, (2002)

⁸ J.C FRANCASTEL, externalisation de la maintenance, stratégie, méthodes et contrat. Edition DUNOD, (2001)

1. INTRODUCTION

La section broyage humide figure parmi les quatre voies d'alimentation de l'usine hydrométallurgique de Shituru. Elle comprend deux broyeurs (Rod.Mill et Tricône) montés en série et dont le tricône est le secondaire. Tout arrêt de l'un ou l'autre pour pannes réduit sensiblement la productivité de l'entité. Dans notre démarche, nous voulons mettre au point une méthodologie d'analyse du comportement des équipements d'une unité de production en nous appuyant sur broyeur Rod.Mill. L'étude a consisté à déterminer les indications de performance en se servant de l'approche statistique et l'analyse qualitative et quantitative. Ces techniques apportent une connaissance approfondie sur le fonctionnement et les interactions du système par l'analyse systématique des relations des causes à effets⁹.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

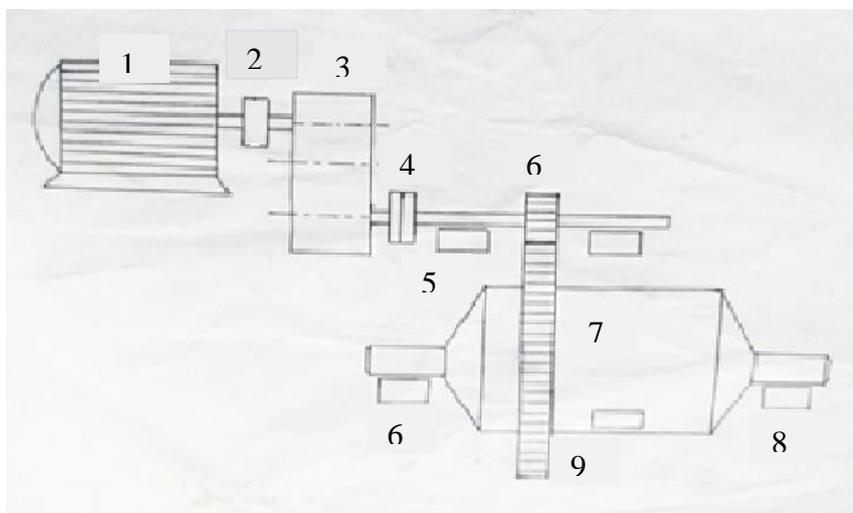
2.1.1 Lieu d'investigation

Les usines de Shituru sont localisées en R.D.Congo, dans la province du Haut Katanga, ville de Likasi et commune de Shituru. Elles sont limitées par les quartiers UCS, SNCC, PANDA et CHARLEROI (documents mairie de la ville de Likasi, 2014). Les activités métallurgiques ont commencé depuis l'époque coloniale vers les années 1906 avec la pyrométallurgie pour s'étendre à l'hydrométallurgie vers les années 1928. Elles ont subi plusieurs transformations pour se rapprocher des techniques nouvelles d'élaboration des métaux. Son mandat est de produire le cuivre et le cobalt principalement par voie humide qui consiste à faire une lixiviation sulfurique suivie de l'électrolyse de solution dans les cuves électrolytiques (documents usine de shituru, Sd). L'alimentation de l'usine hydrométallurgique se fait de plusieurs manières: par les concentrés, les solutions issues de la lixiviation en tas et la pulpe provenant de l'unité de broyage humide. Cette unité est constituée de deux broyeurs: le Rod-Mill comme primaire qui fait l'objet de notre étude et un tricône comme secondaire.

2.1.2 Le broyeur Rod-Mill¹⁰

Dans notre étude qui consiste à analyser le comportement des organes de la chaîne cinématique du Tricône, nous allons nous appuyer sur le fichier historique des pannes sur une période de deux ans c'est-à-dire du 01 janvier 2020 au 31 Décembre 2021.

1. Description de la chaîne cinématique de commande



Légende:

- 1.Moteur électrique
- 2.Coupleur hydrolique
- 3.Réducteur de vitesse
- 4.Accouplement
- 5.Paliers arbre de commande
- 6.Pignon de commande
- 7.Virole du broyeur
- 8.Paliers pour tourillon de la virole
- 9.Couronne dentée solidaire avec la virole

Figure 1- Chaîne cinématique de commande

⁹ Ahmed BRAHIM. A, Optimisation du plan de maintenance, (2016)

¹⁰ ABID K., Etude AMDEC d'un broyeur à boulets types unidan,(2014)

2.2 MÉTHODE

Notre démarche a débuté par l'établissement d'une fiche historique traduisant le comportement de chaque organe sur la période considérée et a été suivie par un classement statistique des pannes, la détermination des paramètres de performance de la commande par l'utilisation du logiciel Excel et la recherche des causes racines des pannes par deux méthodes classiques à savoir: AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leur criticité) et les cinq why. Dans notre étude nous avons associé les ingénieurs et les contremaîtres en charge de la maintenance de cet équipement de production comme l'exige ces dernières.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

Les résultats que nous avons enregistrés se rapportent à:

3.1.1 Historique des pannes

Notre étude va s'étendre sur une période allant du 03 Janvier 2021 au 02 Mai 2023 et concerne le broyeur ROD-Mill

Tableau 1- Historique des pannes du broyeur Rod-Mill

MOIS	CAUSE DE L'ARRET	TYPE DE PANNE	ARRET		DEBUT DES TRAVAUX		FIN DES TRAVAUX	
			DATE	HEURE	DATE	HEURE	DATE	HEURE
ANNEE 2021								
Janvier	Moteur	Bruit anormal	11/01/2021	17 h 00''	13/01/2021	00 h 00''	16/01/2021	16 h 00''
Février	Broyeur	Coussinet en métal blanc usé	04/02/2021	8 h 00''	05/02/2021	1 h 00''	07/02/2021	3 h 00''
Mars	Broyeur	Boulons des fixations des flasques cassés	19/03/2021	4 h 00''	23/03/2021	21 h 00''		
Avril								
Mai							31/05/2021	22 h 00''
Juin	Broyeur	Déformation du châssis	17/06/2021	1 h 00''				
Juillet					23/07/2021	2 h 00''	23/08/2021	1 h 00''
Août								
Septembre								
Octobre	Coupleur Hydro-Flow	Dégradation des joints d'étanchéités	30/10/2021	23 h 00''	31/10/2021	00 h 00''		
Novembre							10/12/2021	20 h 00''
Decembre								
ANNEE 2022								
Janvier								
Février	Accouplement GV	Défaut d'alignement	17/02/2022	23 h 00''	18/02/2022	9 h 00''		
Mars								
Avril							24/04/2022	23 h 00''
Mai								
Juin								
Juillet	Coupleur Hydro-Flow	Dégradation des joints d'étanchéités	05/07/2022	23 h 00''	06/07/2022	8 h 00''		
Août							24/08/2022	20 h 00''
Septembre								

Octobre	Réducteur	Roues bloquées	07/10/2022	6 h 00''	10/10/2022	1 h 00''		
Novembre							05/12/2022	2 h 00''
Décembre								
ANNEE 2023								
Janvier	Broyeur	Coussinet en métal blanc usé	04/01/2023	14 h 00''	06/01/2023	1 h 00''	23/01/2023	10 h 00''
Février	Réducteur	Roues bloquées	14/02/2023	12 h 00''	20/02/2023	1 h 00''		
Mars							25/03/2023	9 h 00''
Avril	Coupleur Hydro-Flow	Dégradation des joints d'étanchéités	16/04/2023	16 h 00''	17/04/2023	1 h 00''		
Mai							02/05/2023	10 h 00''

3.1.2 Classement statistique

Les fréquences d'apparition des pannes durant la période du 03 Janvier 2021 au 02 Mai 2023 sont données dans les tableaux ci-dessous:

Tableau 2-Relevé de nombre des pannes par équipement.

Equipement	Moteur d'entraînement	Coupleur Hydro-Flow	Accouplement à grille G.V ⁱ	Réducteur de vitesse	broyeur
Nombre des pannes	1	3	1	2	4

Tableau 3- Classement et cumul des valeurs en fonction de nombre des pannes

Equipement	Repère	Nombre d'intervention	Nombre cumul	% fréquence	% fréquence cumulée
Moteur électrique	A	1	1	9,09%	9,09%
Coupleur Hydro-Flow	B	3	4	27,27%	36,36%
Accouplement à grille G.V	C	1	5	9,09%	45,45%
Réducteur de vitesse	D	2	7	18,18%	63,63%
broyeur	E	4	11	36,36%	100%

1°. Evaluation du taux des pannes des équipements

Les données obtenues nous ont permis de dresser le logigramme de Pareto, comme nous montre la figure 2 ci-dessous:

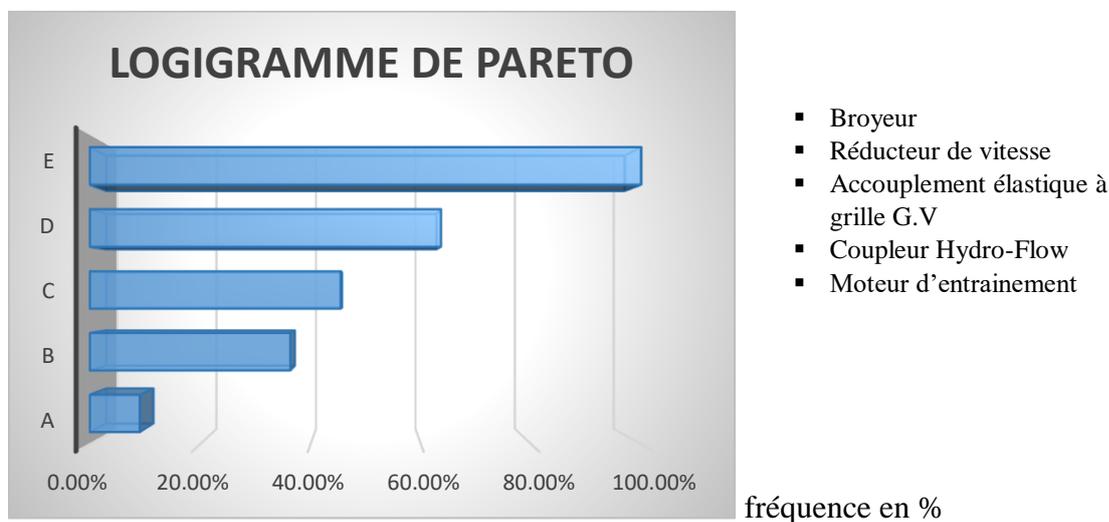


Figure 2–Evaluation du taux des pannes des équipements

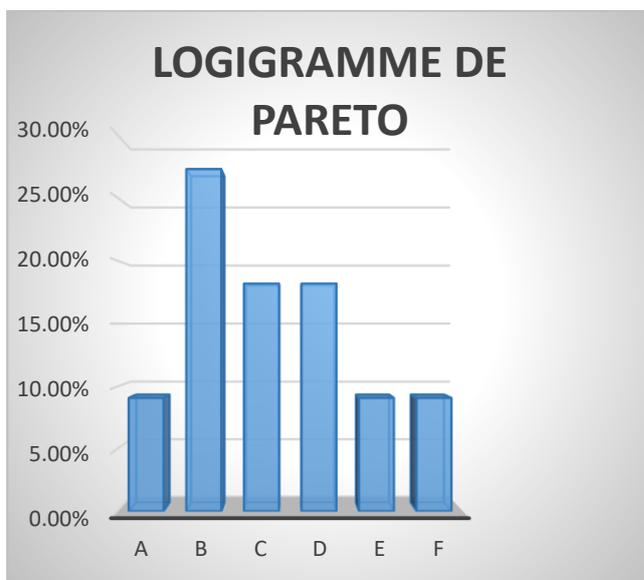
Nous réalisons que les équipements qui tombent souvent en panne sont: le broyeur, le coupleur Hydro-Flow et le réducteur de vitesse. Le tableau ci-dessous ressort le nombre de répétition de panne et leur fréquence en %

Tableau 4- Exploitation du tableau

Equipements	Type des pannes	Nombre de répétition	% fréquence
Moteur d'entraînement	Bruit normal	1	9,09%
Coupleur Hydro-Flow	Dégradation des joints d'étanchéités	3	27,27%
Accouplement à grille G.V	Défaut d'alignement	1	9,09%
Réducteur de vitesse	Roues bloquées	2	18,18%
Broyeur	Coussinet en métal blanc usé	2	18,18%
Broyeur	Boulons de fixations des flasques cassés	1	9,09%
Broyeur	Déformation du châssis	1	9,09%

2°. Estimation des causes d'arrêt en %

La figure ci-dessous nous montre l'estimation des causes d'arrêt en %



- MA: Bruit anormal
- CH: dégradation des joints d'étanchéités
- ACCGV: défaut d'alignement
- RV: réducteur de vitesse
- B: coussinet en métal blanc
- B: cassure des boulons des fixations des flasques d'alimentation et de décharge
- B: déformation du châssis

Figure 3- Estimation des causes d'arrêt en %

Légende: MA: moteur asynchrone: bruit anormal, CH: coupleur Hydro-Flow: dégradation des joints d'étanchéités, ACCGV: accouplement à grille grande vitesse: défaut d'alignement, RV: réducteur de vitesse, B: broyeur: coussinet en métal blanc usé, B: broyeur: cassure des boulons des fixations des flasques d'alimentation et de décharge, B: broyeur: déformation du châssis

1. Evaluation des paramètres de performance

Ce paragraphe est consacré à la détermination de TBf, TTA, TTR, γ , η , β , F(i), F(t), MTBF, R(t), $\lambda(t)$, MTTR, MTTA, MAD et $\mu(t)$ en s'appuyant sur l'historique des pannes.

a. Détermination de premier TBf₁, TTA₁ et TTR₁

Pour TBf₁, la période de temps de bon fonctionnement du broyeur Rod Mill depuis 03 Janvier 2021 à 00 h 00'' au 11 Janvier 2021 à 17 h 00''. Ce TBf₁ a eu lieu pendant 4 jours et 16 heures. Ce qui correspond à TTR₁ = 119 heures.

Pour le TTTR₁, la période de temps technique de réparation du broyeur Rod Mill depuis le 13 Janvier 2021 à 00 h 00'' au 16 Janvier 2021 à 16 heures 00''. Ce TTR₁ a eu lieu pendant 3 jours et 16 heures. ce qui correspond à TTR₁ = 88 heures.

La même démarche est appliquée pour les autres pannes, soit au total 11 pannes durant la période considérée.

International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering

 Vol. 12, Issue 1, pp: (30-44), Month: September 2024 - August 2025, Available at: www.noveltyjournals.com

b. Remplissage du tableau en classant les TBF_i , TTA_i et TTR_i par ordre croissant. Nous allons nous servir du logiciel Excel version 2016 pour la détermination des paramètres de performance.

Il consiste à:

1. Entrer(remplacer) les TBF, puis les trier en ordre croissant et mettre gamma à zéro;
2. Modifier les matrices du graphique et du calcul de Beta avec les valeurs définies de x et y;
3. Tester les différentes valeurs de gamma de façon que: le coefficient de corrélation R^2 soit maximal (le plus proche de 1);
4. Puis tester différentes valeur d'Eta de façon que: la droite orange passe par l'origine;
5. Lire la valeur de Beta = coefficient directeur de la droite;
6. La deuxième feuille donne les fonctions F(t), R(t) et lambda(t), sur la période observée (de TBF mini à TBF maxi);
7. La troisième feuille permet d'optimiser la maintenance préventive en recherchant la périodicité de remplacement provoquant le coût le plus faible (coût de maintenance + coût des défaillances).
8. Le tableau ci-dessous ressort les TBF, TTA et TTR par ordre croissant:

Tableau 5-TBF, TTA et TTR par ordre croissant.

N°	TBF en heure	TTA en heure	TTR en heure
1.	209	67	50
2.	387	119	88
3.	440	378	369
4.	520	452	417
5.	530	865	743
6.	732	933	800
7.	961	981	956
8.	1042	1197	1188
9.	1654	1436	1369
10.	1659	1584	1574
11.	1728	1770	1705

c. Fiabilité

L'analyse de l'historique des défaillances de la chaîne cinématique du broyeur Rod Mill fait apparaître les 11 temps de bon fonctionnement (en heures). La taille de l'échantillon étant inférieure à 20 ($N= 11$), la fonction de répartition F(i) est estimée par la formule [1.5] des rangs médians. En outre si $N \rightarrow F(i) = \frac{i-0,3}{N+0,4}$

En introduisant les données dans le logiciel, nous obtenons les résultats ci-après donnés dans le tableau 6.

Tableau 6-Paramètres de performance.

Gamma : $\gamma = 116$ heures	Range	TBF	F(t)	X	Yi
	1	209	6,1%	-2,226	-2,759
Eta: $\eta = 889$ heures	2	387	14,9%	-1,177	-1,823
	3	440	23,7%	-1,000	-1,308
Méthode des rangs MEDIANS	4	520	32,5%	-0,781	-0,935
	5	530	41,2%	-0,757	-0,632
N: nombre d'échantillons =11	6	732	50,0%	-0,362	-0,367
	7	961	58,8%	-0,047	-0,121
MTBF: 897 heures	8	1042	67,5%	0,044	0,118
	9	1654	76,3%	0,550	0,365
	10	1659	85,1%	0,553	0,643

Béta: $\beta = 1,259$	11	1728	93,9%	0,597	1,026
t	897 heures				
MTBF	897 heures				
f(t)	5,843				
R(t)	42,62%				
$\Lambda(t)$	0,001371061 pannes/heure				

L'allure de la courbe de densité de probabilité est donnée par la figure ci-dessous

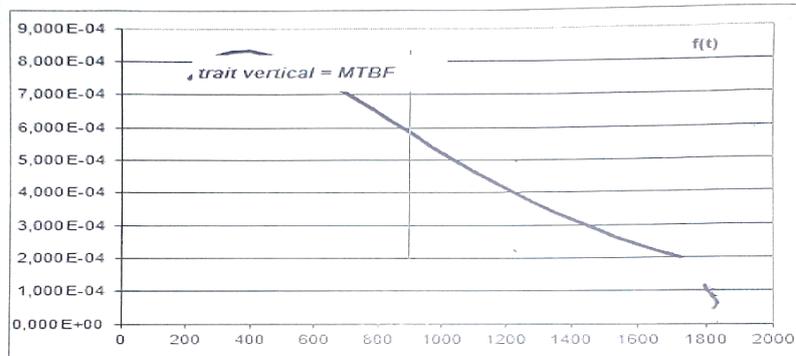


Figure 4-Fonction de densité de probabilité

L'allure de la courbe du taux de défaillance est donnée par la figure ci-dessous

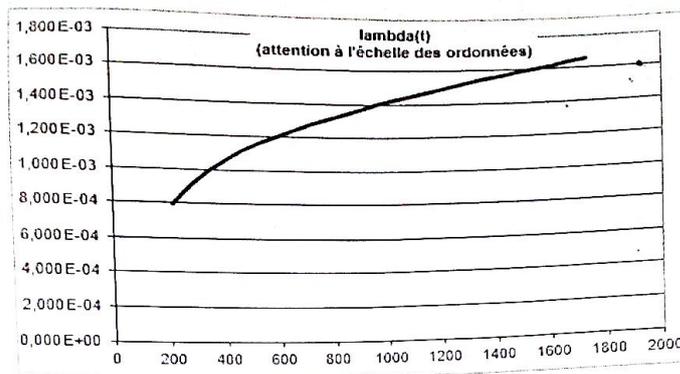


Figure 5-Courbe du taux de défaillance

L'allure de la courbe de la fiabilité est donnée par la figure ci-dessous

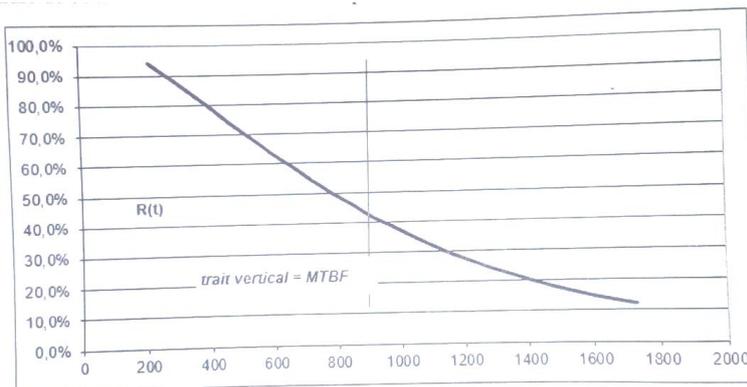


Figure 6- Courbe de fiabilité

d. Disponibilité

Le tableau 7- Valeur de la MTBF, la MTTR, la MTTA, le D(t) et le μ(t) du broyeur Rod Mill:

MTBF	897 heures
MTTR	842heures
MTTA	889 heures
D(t)	52%
μ(t)	0,001187 répartition/ heure

4. RECHERCHE DES CAUSES PROBABLES DES PANNES

4.1. Méthodes utilisées

Il existe plusieurs méthodes permettant la recherche des causes des avaries, dans notre travail nous allons utiliser les méthodes ci-après:

a. La méthode AMDEC

L’AMDEC est une technique d’analyse exhaustive et rigoureuse du travail en groupe très efficace par la mise en commun de l’expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail. Cette méthode fait ressortir les actions préventives et correctives à mettre en place¹¹.

b. La méthode de ‘5 Why’ ou (pourquoi)

La méthode de 5 pourquoi ou formalisme 5 Why permet l’identification des causes racines d’un problème. En posant plusieurs fois la question ‘pourquoi’ au problème, on retire une à une les couches de symptômes qui mènent aux causes racines. Bien que la méthode se nomme ‘5 pourquoi’, il se peut que vous ayez à vous poser la question ‘pourquoi’ moins de 5 fois ou plus de 5 fois selon le problème [Michael, 2017].

4.2. Objectif poursuivi

Connaitre les causes prépondérantes des pannes pour élaborer un canevas de maintenance préventive systématique pouvant garantir une bonne mise à la disposition.

4.3. Détermination des équipements critiques¹²

L’analyse est limitée à l’observation de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque équipement sur la sécurité, la disponibilité et la maintenabilité. La criticité va se déterminer en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère.

$$C_R = S * D * M^{13}$$

Avec: S: sécurité, D: disponibilité, M: maintenabilité.

Ainsi nous pouvons définir respectivement:

1. La sécurité¹⁴

Selon la norme [AFNOR, 77], c’est l’aptitude d’une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. État dans lequel le risque de dommages corporels ou matériels est limité à un niveau acceptable. La classification de l’indice de sécurité est donnée dans le tableau III.9 ci-dessous:

¹¹ GAUNDIAM, My : Maintenance des équipements industriels, (2008), Paris.

¹² LYONNET P : ingénierie de la fiabilité. Edition Tec et Doc, Lavoisier, (2006), Paris.

¹³ MULAPI L ‘Notes de cours de technique de Maintenance’, Ed Mutuelle des Etudiants. Faculté Polytechnique. Université de KINSHASA, (2015), (R.D.C inédit)

¹⁴ Frédéric T, cours de maintenance, enseignant-chercheur en gestion des risques département management de système/HEI haute étude d’ingénieur,(Sd).

Tabelau 8-Echelle de sécurité [Mulapi, 2015].

SECURITE	
Pas de risque	1
Risque d'accident	2

2. La disponibilité¹⁵

Selon la norme [AFNOR, 77], c'est l'aptitude d'une entité en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Note: c'est une grandeur qui intègre la fiabilité et la maintenabilité. Elle exprime la probabilité pour que le système accomplisse sa fonction, donc qu'il soit exempté de fautes, à l'instant t, sachant qu'il a pu en receler auparavant. La classification de l'indice de disponibilité est donnée dans le tableau III.10 ci-dessous:

Tableau 9-Echelle de disponiubilité [Mulapi, 2015]

DISPONIBILITE	
Pas d'incidence	1
Fonctionnement dégradé	2
Arrêt de la machine	3
Arrêt de la production	4

3. La maintenabilité

Selon la norme [AFNOR, 77], c'est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des prodédures et des moyens prescrits. La classification de l'indice de maintenabilité est donnée dans le tableau 10 ci-dessous

Tableau 10-Echelle de maintenabilité (10)

MAINTENABILITE	
Ne nécessite pas de maintenance	1
Temps (de remise en état) faible	2
Présence des pièces de rechange principales	
Demande un temps moyen	3
Connaissance sommaire de la machine	
Parfois manque d'outillage	
Parfois manque des pièces de rechange	
Demande beaucoup de temps	4
Pas de connaissance de la machine	
Pas de pièce de rechange	

4. Evaluation de la criticité des équipements

Tableau 11-Evaluation de la criticité de chaque équipement.

EQUIPEMENTS	S	D	M	C _R
Broyeur	2	2	4	16
Accouplement à grilles G.V	2	2	3	12
Coupleur Hydro-Flow	2	2	3	12
Moteur d'entraînement	1	2	3	6
Réducteur de vitesse	2	2	4	16

¹⁵ MONCHY F. "Maintenance: Définitions et Méthodes", (2002), Paris

Nous réalisons que les trois équipements critiques sont: le broyeur avec un niveau élevé de criticité suivi du coupleur Hydro-Flow et de l'accouplement à grilles grande vitesse. Nous allons nous focaliser sur l'équipement le plus critique à cause de son rôle crucial joué dans la chaîne de commande.

4.4. Analyse des défaillances par la méthode AMDEC (analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité).

Pour réaliser notre analyse, nous allons d'abord décomposer l'équipement, puis nous allons l'analyser.

a. Décomposition en sous-système

Cette décomposition va permettre d'identifier les éléments qui causent préjudice sur le broyeur tricône. La figure III.6 nous montre la décomposition matérielle du broyeur tricône.

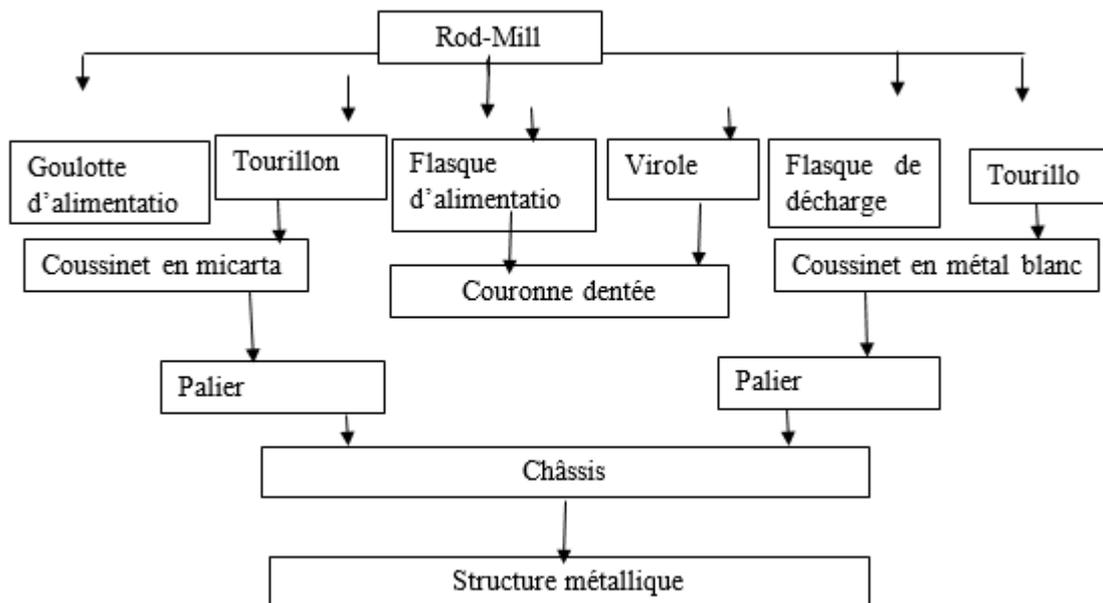


Figure 7- Décomposition matérielle

Après avoir fait une décomposition en sous-système des composants de la machine, nous allons faire l'analyse pour extraire les causes des défaillances de ces éléments. Nous nous sommes alors réunies avec les ingénieurs de la maintenance des usines de Shituru et leurs contremaîtres afin de fixer la cotation des paramètres de la criticité tout en se basant sur l'historique des pannes relatif à la période: du 03 Janvier 2021 au 02 Mai 2023.

Tableau 12-AMDEC du broyeur Rod-Mill

Éléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effect sur le système	Mode de détection	F	D	G	C _R
Coussinet en métal blanc	Limiter les frottements entre le tourillon et le palier	Usure	Usure du revêtement du tourillon (matière antifriction); infiltration des particules solides entre tourillon et coussinet; débordement de la goulotte d'alimentation (problème d'exploitation)	Grand jeu fonctionnel entre tourillon et coussinet	Audible	2	2	4	16
Boulons des fixations des flasques d'alimentation et de décharge	Joindre les flasques d'alimentation et de décharge à la virole	Cassure	Grande vibration	Fonctionnement dégradé	Visuelle	1	1	4	4
Châssis	Supporter le broyeur	Déformation	Grande vibration	Fonctionnement dégradé	Visuelle	1	1	4	4

4.5. Recherche des causes des pannes par la méthode de 5 pourquoi

L'aspect multidisciplinaire de cette phase de réflexion est très déterminant. Nous avons fait appel aux mécaniciens de ligne réalisant les interventions et aux opérateurs qui sont en contact permanent avec la machine et interviennent en cas de panne. Le formalisme 5 pourquoi nous sert de fil conducteur dans l'identification des causes racines. Partant des symptômes qui justifient au premier abord les dysfonctionnements, la méthode en infère graduellement l'origine fondamentale (en répondant systématiquement à une question débutant par "pourquoi"). La phase prend fin lorsqu'on dispose d'éléments sur lesquels on peut agir pour atténuer la problématique. Ainsi, les symptômes ont été analysés et les conclusions sont les suivantes:

- Le coussinet en métal blanc se détériore à cause de l'usure du revêtement du tourillon (matière antifriction), infiltration des particules solides entre le revêtement du tourillon et coussinet, débordement de la goulotte d'alimentation (problème d'exploitation);
- Surcharge de la matière à broyer: inexpérience (nouveaux agents);
- Cassure des boulons des flasques (d'alimentation et de décharge) et déformation du châssis, vibration élevée, présence des balourds (perte de la matière d'une façon inégale), grand jeu fonctionnel entre tourillon et coussinet, usure du revêtement du tourillon (matière antifriction), infiltration des particules solides entre le tourillon et coussinet, débordement de la goulotte d'alimentation (problème d'exploitation).
- L'analyse par la méthode de 5 Why a relevé que l'inexpérience des opérateurs et la vétusté de la machine sont les causes prépondérantes ayant occasionnées toutes les défaillances constatées sur la machine.

4.6. Apport des actions des maintenanciers des usines de Shituru

Nous avons analysé le déroulement des actions de maintenance sur une période allant du 10 Mai 2022 au 13 Août 2022. Il en ressort que la problématique d'amélioration du rendement des actions de maintenance est un sujet qui fait débat compte tenu des différents facteurs qui entrent en jeu notamment:

L'aspect technique; L'aspect sécuritaire; L'aspect économique; Les agents de la maintenance.

1. Aspect technique

La gestion de la maintenance est le problème majeur qui en ressort. En effet les opérateurs se plaignent de l'arrêt des machines (défaillances), qui constitue un frein dans le processus de production et par conséquent, occasionne une perte importante. A cela s'ajoute le manque d'outillages pouvant palier à cette difficulté ainsi que l'indisponibilité des pièces de rechange qui handicape le dépannage qui, censé être provisoire, devient permanent. Cela dénote le l'inattention due à une motivation non consistante des maintenanciers, dégradation prononcée des certains organes tels que: les roulements, joints d'étanchéité, boulons des fixations des flasques d'alimentation et de décharge, et de l'absence d'une planification des activités de maintenance.

2. Aspect sécuritaire

L'aspect sécuritaire au sein des usines Shituru est de très bas niveau, on note une présence de moyen de prévention par des panneaux de signalisation: ce qui est déjà à saluer. Mais le véritable problème ici est le non-respect des consignes, les outils ne sont pas adaptés aux interventions et le manque d'appareils pour le prélèvement de la température et vibration. L'aspect santé et hygiène sont quasi inexistantes, il est menacé par diverses maladies suite à l'exposition des installations malpropres et aux travaux qui ne répondent pas aux normes requises.

3. Aspect économique

Durant la période allant du 03 Janvier 2021 au 02 Mai 2023, les heures supplémentaires s'élèvent à 5560 heures. Les temps techniques d'attente TTA = 9782 heures et de réparation TTR = 9259 heures.

a. Estimation des dépenses liées aux prestations des heures supplémentaires soient:

- Sh:taux horaire d'heures supplémentaires pour la MOE = 1,83 USD (y compris tous les avantages).
- Taux de paie GCM: 1553 Fc→1 USD
- Nombre d'agents MOE: 5 dont un agent classe 4

International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering

Vol. 12, Issue 1, pp: (30-44), Month: September 2024 - August 2025, Available at: www.noveltyjournals.com

- Taux horaire classe 4: 3,024 USD

MOE:1,83* 4448 = 8139,84 USD

Classe 4: 3,024*1112 = 3362,6USD

Voilà ce que la Gécamines a dépensée: 11502,52USD relatif à la période considérée.

4. Les agents de maintenance

La maintenance des machines aux usines de Shituru est de très bas niveau. Ceci se justifie par le manque: d’approvisionnement en outillages, des pièces de rechange, d’équipements appropriés, de formation professionnelle pour la remise à niveau, de motivation consistante des agents qui se traduit par l’inattention dans l’exécution des tâches.

4.7. Tableau de synthèse des causes prépondérantes des pannes

Nous résumons dans le tableau13 les principaux remèdes possibles élaborés à l’issue de ce diagnostic.

Tableau 13-Synthèse des causes prépondérantes des pannes

Causes racines	Remèdes possibles
L’inexpérience des opérateurs et la vétusté de la machine	<ul style="list-style-type: none"> • Formation des opérateurs et un recyclage après chaque 3 mois pour une remise à niveau • Remplacement progressif des sous-ensembles.

4.8. Tableau de synthèse des causes probables des pannes

Nous résumons dans le **tableau14** les principaux remèdes possibles élaborés à l’issus de ce diagnostic.

Déformation du châssis						
Cassure des boulons des fixations des flasques d’alimentation et de décharge						
Usure du coussinet en métal blanc						
Blocage des roues du réducteur de vitesse						
Défaut d’alignement de l’accouplement à grilles G.V						
Dégradation des joints d’étanchéités du coupleur Hydro-Flow						
Bruit anormal du moteur asynchrone						
Causes probables						Remèdes possibles
				*	Vétusté des roulements à billes	Remplacement des roulements à billes et respect de leur durée de vie (100.000 heures de fonctionnement)
				*	Vétusté des joints	Remplacement des joints:8000 HF
			*		Non-respect du couple de serrage des boulons d’attaches des olateaux d’accouplement.	Remplacement des boulons et utilisation de la clé dynamométrique pour respecter le couple de serrage.
			*		Surcharge de la matière à broyer: inexpérience (nouveaux agent).	Respecter la quantité de la matière à broyer ’40 à 45 tonnes/45 tonnes/heures).
*	*	*			Vibration élevée, présence des balourds (perte de la matière d’une façon inégale), grand jeu fonctionnel entre le revêtement du tourillon et coussinet, usure du revêtement du tourillon (matière antifricition), infiltration des particules solides entre le revêtement du tourillon et coussinet débordement de la goulotte d’alimentation(problème d’exploitation).	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement du coussinet en métal blanc - Remplacement des boulons des fixations des flasques d’alimentation et de décharge - Remettre les flasques de protection du tourillon - Remplacement du châssis

International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering

 Vol. 12, Issue 1, pp: (30-44), Month: September 2024 - August 2025, Available at: www.noveltyjournals.com

Ainsi la machine est dans la période de vieillesse ou usure, caractérisée par un taux de défaillance croissant jusqu'à l'obsolescence, ladite machine doit être remplacée par une autre, mais pour permettre à la Gécamines de continuer à produire avec la machine défaillante, nous proposons une politique de maintenance préventive systématique afin de garantir une bonne mise à la disposition.

5. DISCUSSION DES RESULTATS
Tableau 15-Interprétation des résultats:

i	PARAMETRE	VALEURS	DESIGNATIONS	INTERPRETATIONS
1	Υ	113 heures	Paramètre de position: - il indique le temps de début des défaillances	Pour $\Upsilon = 113$ heures, ce que le Rod-Mill n'a connu aucune défaillance entre $t=0$ h et $t= 113$ heures
2	B	1,259	Paramètre de forme: - il indique la phase de vie d'une machine	Pour $\beta=1,259>1$, le broyeur Rod-Mill est pendant la période de vieillesse ou usure caractérisée par un taux de défaillance croissant jusqu'à l'obsolescence.
3	$\lambda(t)$	0,001371061 heures	Taux de défaillance: - c'est la rapidité d'apparition des pannes - c'est aussi la probabilité de l'apparition d'une défaillance à un instant t.	La courbe en baignoire montre que λ croit brutalement ce qui traduit que le broyeur Rod-Mill est pendant la période de vieillesse
4	$\mu(t)$	0,001187 hures	Taux de réparation: - c'est un indicateur de l'aptitude d'un bien à être dépanné et/ ou réparé, c'est aussi un indicateur de l'efficacité de la maintenance dans la phase d'une intervention	Ce taux de réparation indique que chaque fois qu'il y a panne, les travaux d'entretien et de réparation ne sont pas efficaces.
5	MTBF	897 heures	Moyenne de temps de bon fonctionnement: - un TBF est temps entre la fin réparation et la défaillance suivante.	Le broyeur tricône est donc capable de fonctionner sans panne en moyenne 897 heures
6	MTTR	842 heures	Moyenne des temps techniques de réparation	Le broyeur Rod-Mill a été réparé en moyenne 842 heures
7	R(t)	42,62%	Fiabilité: - c'est la caractéristique indiquant une probabilité ou une proportion de succès	42,62% valeur inférieure à la moyenne, le broyeur Rod-Mill n'est pas fiable
8	D(t)	52%	Disponibilité: - capacité pratique d'un système à accomplir un service déterminé à un instant donné.	52% de disponibilité inférieure à la moyenne, dans la disponibilité du broyeur Rod-Mill est mauvaise

International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering

 Vol. 12, Issue 1, pp: (30-44), Month: September 2024 - August 2025, Available at: www.noveltyjournals.com
Tableau 16-Canevas de maintenance préventive systématique¹⁶

N°	Équipement et gammes opératoires	Périodicités	Spécialité responsable	
1	MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT			
	Contrôler la stabilité de la tension d'alimentation	mensuelle	Électricien	
	Contrôler la stabilité de la fréquence du réseau	Mensuelle		
	Contrôler l'intensité absorbée	Mensuelle		
	Contrôler l'état des roulements	mensuelle	Mécanicien	
	Contrôler la fixation du moteur	Mensuelle		
	Contrôler le niveau de vibration	mensuelle		
2	COUPLEUR HYDRO-FLOW			
	Contrôler le niveau d'huile et la qualité	journalière	Mécanicien	
	Vérifier l'étanchéité des joints	journalière		
	Contrôler l'état de la roue pompe et roue turbine	Mensuelle		
	Contrôler la fixation du coupleur	Mensuelle		
	Contrôler l'état de liaison avec le réducteur de vitesse	Mensuelle		
	Nettoyage du coupleur	Semestrielle		
	Lubrification	journalière		
3	ACCOUPLLEMENT A GRILLES			
	Vérifier l'état et le positionnement des plateaux	Journalière	Mécanicien	
4	REDUCTEUR DE VITESSE			
	Vérification de la qualité et niveau d'huile	Journalière		
	Contrôler l'état des roues dentées	Mensuelle		
	Vérification des roulements	Mensuelle		
	Contrôle du niveau de vibration	Mensuelle		
	Nettoyage du réducteur de vitesse	Semestrielle		
	Lubrification	hebdomadaire		
5	BROYEUR Rod-Mill			
	Paliers	Contrôler l'état des paliers et fixation	Mécanicien	
	Tourillon	Contrôler l'état des tourillons		
	Virole	Vérificatin de l'état de la virole		
	Châssis	Contrôler l'état du châssis		
	Couronne dentée	Vérifier l'état et le graissage de la couronne dentée		
	Coussinet en métal blanc	Vérifier l'état du coussinet en métal blanc et la lubrification par huile		
	Coussinet en mi carta	Vérifier l'état du coussinet en mi carta et la lubrification par eau		
	Flasques d'alimentation et de décharge	Contrôler l'état et serrage des boulons		
	Goulotte d'alimentation	Vérifier l'état et serrage des boulons		
	Pignon d'entraînement	Contrôler l'état et le graissage du pignon d'entraînement		
	Veiller à la propreté des équipements du broyeur Rod-Mill		Journalière	Opérateurs
	Arrêt pour travaux de maintenance: entretien général		Chaque le 30 du mois	

¹⁶ Jérémie LAURENS, Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique (Sd)

6. CONCLUSION

Cette étude a été conduite dans le but de mettre à la disposition des maintenanciers un outil permettant d'analyser le comportement des équipements industriels sur une période considérée en s'appuyant sur les documents historiques de la machine à étudier. Dans notre étude, nous avons pris un cas précis, celui des installations de broyage humide des usines de Shituru équipées de deux broyeurs tricône et Rod-Mill et dont le second a fait l'objet de notre étude.

Après avoir exploité la fiche historique des pannes constitué des 11 échantillons qui couvre une période 28 mois, nous avons à l'aide de la méthode statistique de Pareto repéré les organes qui tombent le plus souvent en panne.

Les calculs relatifs à la détermination des indicateurs de performance ont donné les résultats suivants: $Y=113$ heures, $n=889$ heures, $\beta=1,259$, $\lambda(t)=0,00137$ panne par heure, $R(t)=42,62\%$ et $D(t)=52\%$, ces valeurs nous ont permis d'avoir une idée sur l'état de l'équipement, le comportement et envisager des actions préventives rationnelles et compétitives de maintenance. La démarche relative à la détermination des causes racines des pannes s'est appuyée sur deux méthodes: AMDEC et 5 Why. Comme le principe l'exige, nous avons associé à notre étude les ingénieurs en charge de maintenance et de l'exploitation.

REFERENCES / BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] A.BOULANGER, Vers les zéro pannes avec la maintenance conditionnelle, éditions AFNOR, 1988, Paris.
- [2] ABID K.. Etude AMDEC d'un broyeur à boulets types unidan, 2014.
- [3] Ahmed Brahim A, Optimisation du plan de amintenance, 2016, P23-36.
- [4] ANSIL/HL, Centrifugal Pumps-Nomenclature, Définitions. Application et Opération, SD.
- [5] B. MECRIN, Maintenance: concepts et définitions. Techniques de l'ingénieur: Référence MT9030, 2007.
- [6] BASILE Q.: " modification de la fiabilité des Equipements Mécaniques", 2001.
- [7] BELAOUR A et SALIMA. "F.M.D". Univesité Constantine I, 2014.
- [8] DUCHEMIN G " Maintenance des machines et moteurs", 2002, Paris.
- [9] Frédéric T, cours de maintenance, enseignant-chercheur en gestion des risques département management de système/HEI haute étude d'ingénieur, Sd, P25-33.
- [10] Frédéric TOMALA " hautes études d'ingénieurs HEI", 2017
- [11] Gaundiam, My: "MTN des équipements industriels", 2008, Paris.
- [12] GOUDIAM, M "Maintenance des Equipements Industriels",2008,Paris
- [13] H.P RAMELLA, Maintenance des turbines à vapeur. Techniques de l'ingénieur, Référence BM 4186, 2002.
- [14] J.C. FRANCASTEL. Externalisation de la maintenance, Stratégies, méthodes et contrats. Édition DUNOD, 2001.
- [15] Jérémy LAURENS, Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique SD.
- [16] Logiciel Weibull-a-V4-1. Excel version 2018.
- [17] LYONNET ,Stratégie des maintenances des machines, 2006, Paris.
- [18] LYONNET P: "Ingénierie de la fiabilité", Edition Tcc et Doc, Lavoisier, 2006, Paris.
- [19] MECRIN, Maintenance: concepts et définitions. Technique de l'ingénieur, 2007.
- [20] MONCHY F "Maintenance: Définitions et Méthodes", 2002,Paris.
- [21] Monchy F: "MTN" "définition et méthodes", 2002,Paris.
- [22] MORLEY R " Maintenance Prédictive", Masson, 1992, Paris.
- [23] Morley RK: "Maintenance prédictive", Masson, 1992,Paris.
- [24] MULAPI L "Notes de cours de technique de Maintenance", Ed Mutuelle desEtudiants. Faculté Polytechnique. Université de KINSHASA, 2015 (R.D.C inédit)
- [25] Théodore Wildi et Sybille G électrotechnique, 4^{ème} Édition de BOECK, 2005,.