



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم الإلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance industrielle

OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR FIABILITE (CAS DE LA MINE D'OUENZA)

Par

MELLOUK AYMEN et CHABBI KHALED

Devant le jury :

Rais Khaled	MCB	Président	Université Larbi TebessiTébessa
Taleb Mounia	MCA	Encadreur	Université Larbi TebessiTébessa
Rechach Abd ElKrim	MCB	Examineur	Université Larbi TebessiTébessa

Promotion 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) **سأبي خالد**
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 107491094 و الصادرة بتاريخ
المسجل بمعهد المناجم
قسم الكتروميكانيك
و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر)، عنوانها:


Optimisation de la maintenance par fiabilité

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2023-06-08

08 جوان 2023

إمضاء المعني (ة)






مدير المعهد
و رئيس
إمضاء المعني (ة)
تيسمسيلت

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) **ملوك أيمن** الصفة : طالب
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: **792109** و الصادرة بتاريخ **2023-02-19**
المسجل بمعهد المناجم قسم الكتروميكانيك

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر)، عنوانها :

Optimisation de la maintenance par fiabilité

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

08 جوان 2023

التاريخ: 2023-06-08

إمضاء المعني (ة)

M. Mellouk



Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

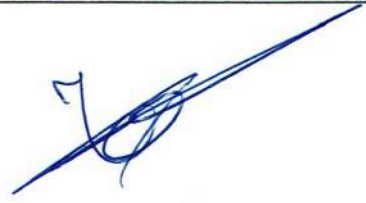
1--Chabbi khaled-----

2-Mellouk aymen-----

Niveau : ----Master- Option : -- -----Maintenance industrielle-

Thème : **Optimisation de la maintenance par la fiabilité (cas de la mine de Ouenza)**

Nom et prénom de l'encadreur : --Taleb Mounia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Tous les chapitres	



Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le :

Fiche de critique

Noms et prénoms des étudiants :

- 1-----
- 2-----
- 3-----

Niveau : ----- Option : -- -----

Thème :-----

Concernant la forme :-----

Concernant le fond :-----

Décision :-----

Signature de l'enseignant-----

Remercîment

Nous tenons tout d'abord remercier ALLAH de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail

Nous souhaitons la bienvenue aux jurys qui vont prendre part à notre soutenance.

Nous remercions les travailleurs de la mine de l'Ouenza pour leurs conseils et leur accompagnement durant notre stage pratique.

Nous tenons aussi à remercier nos Enseignants qui ont fait de leur mieux pour nous transmettre leurs précieuses connaissances.

Par la même occasion, nous tenons à remercier vivement notre encadreur Madame Taleb Mounia qui nous a porté aide et assistance lors l'élaboration de ce travail par sa constante disponibilité, ses critiques constructives ainsi que ses bonnes suggestions qui ont été d'une grande importance

Dédicace

Je tiens à remercier ma mère, mon père et mon frère Houssam et toute ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes études. Sans leur amour et leur encouragement, je n'aurais jamais pu atteindre mes objectifs.

Et aussi je voudrais exprimer ma gratitude envers mon encadreur Taleb Mounia pour son soutien et ses conseils tout au long de mes études. Grace à ses connaissances et son expertise, j'ai pu mener à bien mon projet de fin d'étude. Je suis reconnaissant de l'avoir eu comme superviseure.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, avant tout et partout, que j'aime et souhaite les avoir toujours à mes côtés. A la plus merveilleuse mère, que j'aime du fond du cœur qui m'a tout donnée depuis mon enfance, qu'Allah le tout-puissant la protège. Au plus adorable et gentil père au monde, qui m'a tout donné sans rien recevoir en parallèle, que je remercie infiniment de ces services. A mes très chers frères Walid et Ali. A ma très chère petite sœur Dhikra. A mes oncles et mes tantes. A mes cousins et cousines. A mes amis sans exceptions. Je dédie ce modeste travail. A mon encadreur: Taleb Mounia

Résumé

Dans notre travail, nous avons entrepris différentes étapes afin d'analyser et de résoudre les problèmes de défaillance au sein de la mine d'Ouenza se focalisant sur trois engins (chargeuse, camion et bulldozer). Tout d'abord, nous avons minutieusement examiné l'historique de défaillance de chaque engin, dans une deuxième étape nous avons fait appel à la loi de Pareto pour classer les pannes par priorité. Ce qui nous a révélé que les défaillances mécaniques représentaient le pourcentage le plus élevé parmi les différents types de pannes. Nous avons donc concentré nos efforts sur cette catégorie.

Pour identifier les causes des défaillances mécaniques, nous avons ensuite utilisé le diagramme d'Ishikawa, plus connue sous le nom de diagramme causes à effets. Cette analyse a révélé que les principaux facteurs contribuant à ces dysfonctionnements étaient à la fois la main-d'œuvre et la méthode de travail. Souhaitant approfondir notre étude sur les défauts mécaniques, nous avons appliqué la loi de Weibull, qui nous a permis de constater des fluctuations dans la fiabilité des machines, en particulier dans le cas des camions.

Notre objectif principal dans cette étude était de réduire les coûts en minimisant les défauts et en augmentant la fiabilité et la productivité des machines. Grâce à nos résultats, nous avons pu identifier la principale raison des pannes mécaniques fréquentes, ce qui nous a donné la base nécessaire pour proposer des solutions concrètes visant à réduire ces dysfonctionnements et donc à optimiser la maintenance de nos équipements en se basant sur la fiabilité, objectif de notre travail.

ملخص

في عملنا ، اتخذنا خطوات مختلفة لتحليل وحل مشاكل الأعطال داخل منجم الوزنة مع التركيز على ثلاث آلات (المحمل ، شاحنة وجرافة). أولاً ، قمنا بفحص تاريخ الفشل لكل آلة بعناية ، وفي الخطوة الثانية استخدمنا قانون باريتو لتصنيف حالات الفشل حسب الأولوية ، مما كشف لنا أن الأعطال الميكانيكية تمثل أعلى نسبة بين أنواع الأعطال المختلفة. لذلك ركزنا جهودنا على هذه الفئة.

لتحديد أسباب الأعطال الميكانيكية ، استخدمنا بعد ذلك مخطط إيشيكافا ، المعروف باسم مخطط السبب والنتيجة. أظهر هذا التحليل أن العوامل الرئيسية التي ساهمت في حدوث هذه الاختلالات كانت القوة العاملة وطريقة العمل. رغبة في تعميق دراستنا للعيوب الميكانيكية ، طبقنا قانون ويبيل، الذي سمح لنا بمراقبة التقلبات في موثوقية الآلات ، خاصة في حالة الشاحنات.

كان هدفنا الرئيسي في هذه الدراسة هو تقليل التكاليف عن طريق تقليل العيوب وزيادة موثوقية الماكينة وإنتاجيتها. بفضل نتائجنا ، تمكنا من تحديد السبب الرئيسي للأعطال الميكانيكية المتكررة ، مما أعطانا الأساس اللازم لاقتراح حلول ملموسة تهدف إلى تقليل هذه الأعطال وبالتالي تحسين صيانة معدّاتنا على أساس الموثوقية والغرض من عملنا.

Abstract

In our work, we undertook different steps to analyze and solve failure problems within the Ouenza mine, focusing on three machines (loader, truck, and bulldozer). First, we carefully examined the failure history of each machine. In a second step, we used the Pareto law to classify failures by priority, which revealed that mechanical failures represented the highest percentage among different types of failures. We concentrated our efforts on this category. To identify the causes of mechanical failures, we then used the Ishikawa diagram, also known as the cause-and-effect diagram. This analysis revealed that the main factors contributing to these malfunctions were both labor and work method. Wanting to deepen our study on mechanical defects, we applied the Weibull law, which allowed us to observe fluctuations in machine reliability, especially in the case of trucks. Our main objective in this study was to develop a maintenance plan to reduce the number of failures and improve the reliability of machines.

Table de matière

INTRODUCTION GENERAL.....	01
Chapitre I : généralité maintenance	
1. INTRODUCTION.....	03
2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE D'APRES LA ROUSSE.....	03
3. DEFINITION DE LA MAINTENANCE D'APRES L'AFNOR (NF X 60-010)...	03
4. L'IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE.....	04
5. ROLE DE LA MAINTENANCE.....	05
6. LES OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE.....	06
7. LES TYPES DE MAINTENANCE.....	07
7.1. LA MAINTENANCE PREVENTIVE.....	07
7.1.1. LA MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE.....	07
7.1.2. LA MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE.....	08
7.1.2.1. LA MAINTENANCE PREDICTIVE.....	09
7.1.3. L'OPERATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE.....	09
7.2. LA MAINTENANCE CORRECTIVE (NF EN 13306 X 60-319).....	10
7.2.1. MAINTENANCE PALLIATIVE.....	10
7.2.2. MAINTENANCE CURATIVE.....	10
7.2.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE.....	11
7.2.4. OPERATIONS DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE.....	11
7.3. LA MAINTENANCE AMELIORATIVE.....	12
7.3.1. LES OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE AMELIORATIVE.....	12
7.3.2. LES OPERATION DE LA MAINTENANCE AMELIORATIVE ...	12
7.4. L'ORGANIGRAMME DE LA MAINTENANCE.....	13
8. OUTILS DE LA MAINTENANCE.....	14
9. LA POLITIQUE DE MAINTENANCE.....	14
10. NIVEAUX DE MAINTENANCE.....	15
11. L'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE.....	15

11.1. LES DIFFERENTES METHODES D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE.....	16
11.1.1. LA METHODE DE L'INDUSTRIE AERONAUTIQUE M.S.G-3...	16
11.1.2. LA METHODE D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR LA FIABILITE (OMF).....	16
11.1.2.1. DEFINITION DE L'OMF.....	17
11.1.3. METHODE TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE.....	17
12. CONCLUSION.....	18

Chapitre II :la sureté de fonctionnement

1. INTRODUCTION.....	19
2. HISTORIQUE.....	19
3. TAXONOMIE.....	20
4. DEFINITION.....	21
5. CONCEPT FMDS.....	21
5.1. FIABILITE.....	22
5.2. MAINTENABILITE.....	22
5.3. LA DISPONIBILITE.....	23
5.3.1. TYPES ET QUANTIFICATION DE DISPONIBILITE.....	23
5.4. LA SECURITE.....	24
6. TEMPS DE FIABILITE, MAINTENABILITE ET DISPONIBILITE.....	24
7. L'APPROCHE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT.....	25
8. OBJECTIVE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT.....	25
9. COUT DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT.....	25
10. METHODES D'ANALYSE DE SURETE DE FONCTIONNEMENT.....	26
11. CONCLUSION.....	27

Chapitre III : les concepts et les lois de fiabilité

1. INTRODUCTION.....	28
2. CONCEPTS DE DEFAILLANCE.....	28
2.1. LA DEFAILLANCE D'APRES LA NORME AFNOR NF X600-10.....	28
2.2. CAUSE DE DEFAILLANCE.....	29
2.3. CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES.....	30
2.4. MODES DE DEFAILLANCES.....	31
2.5. LES DEFERENTES PHASES DU CYCLE DE VIE D'UN BIEN.....	32

3.	CONCEPT FIABILITE.....	33
	3.1. DEFINITION DE FIABILITE.....	33
	3.2. TYPES DE FIABILITE.....	33
4.	FIABILITE DES SYSTEMES.....	34
	4.1. SYSTEME.....	34
	4.2. EN SERIE.....	34
	4.3. EN PARALLELE.....	35
5.	LES INDICATEURS DE FIABILITE.....	35
	5.1. LE TAUX DE DEFAILLANCE	35
	5.2. MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURE).....	36
	5.3. MTTF(MEAN TIME TO FAILURE).....	36
6.	LES LOIS DE PROBABILITE UTILISEES EN FIABILITE.....	37
	6.1. LOIS DISCRETES.....	37
	6.1.1. LOI BINOMIALE.....	38
	6.1.2. LOI DE POISSON.....	38
	6.1.3. LOI DE BERNOULLI.....	39
	6.2. LES LOIS CONTINUES.....	39
	6.2.1. LOI EXPONENTIELLE $EXP(\lambda)$	40
	6.2.2. LOI DE WEIBULL $W(B; N)$	40
	6.2.3. LOI GAMMA $G(A; B)$	40
	6.2.4. LOI LOG-NORMALE $LOG N$	41
7.	OBJECTIFS ET INTERETS DE LA FIABILITE.....	41
8.	APPROCHE DE LA FIABILITE PAR LES PROBABILITES.....	41
9.	LA RELATION ENTRE LA FIABILITE ET LA MAINTENANCE.....	42
10.	CONCLUSION.....	44
	CHAPITRE IV : CAS ETUDE (CHARGEUSE, CAMION ET BULL)	
1.	HISTORIQUE.....	45
2.	PRESENTATION DE MANAL SPA.....	46
3.	LA MINE DE L'OUENZA.....	46
	3.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	46
	3.2. NATURE DU GISEMENT.....	47
	3.3. PROCEDURE DE TRAVAIL.....	47
4.	STRUCTURE DE MAINTENANCE AU SEIN DE LA MINE DE L'OUENZA..	48

4.1. LE DEPARTEMENT MAINTENANCE.....	49
4.2. LE DEPARTEMENT LOGISTIQUE.....	49
4.3. LE DEPARTEMENT ENTRETIEN CHAINE.....	49
5. PARC /CARRIERE.....	51
6. CONCLUSION.....	51
7. ETUDE THEORIQUE ET STATISTIQUE.....	52
7.1. CHARGEUSE.....	52
7.1.1. ETUDE D’HEURE D’ARRET PAR NATURE DE PANNE.....	53
7.1.2. ETUDE DU NOMBRE DES PANNES PAR NATURE.....	54
7.2. CAMION CARRIERE.....	55
7.2.1. ETUDE D’HEURE D’ARRET PAR NATURE DE PANNE.....	56
7.2.2. ETUDE NOMBRE DES PANNES PAR NATURE.....	57
7.3. BULL DOZER.....	58
7.3.1. ETUDE D’HEURE D’ARRET PAR NATURE DE PANNE.....	59
7.3.2. ETUDE NOMBRE ET NATURE DES PANNES.....	60
8. ENSEMBLE DES TROIS ENGIN.....	62
9. APPLICATION DE LA LOI DE PARETO (LOI DES 20-80).....	65
10. APPLICATION ISHIKAWA.....	68
11. APPLICATION LA LOI DE WEIBULL.....	70
12. LES ACTIONS PREVENTIVES ET CORRECTIVES A PRENDRE.....	75
13. RECOMMANDATIONS.....	77
CONCLUSION GENERAL.....	78

Table des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I.01 : Comparaison entre l'homme et la machine	04
Tableau I.02 : Les niveaux de maintenance	15

CHAPITRE III

Tableau III.01 : Classification des défaillances	30
Tableau III.02 : Les indicateurs de SDF	37

CHAPITRE IV

Tableau IV.01: Les engins disponibles au niveau la mine d'Ouenza	51
Tableau IV.02: Historiques des pannes chargeuse 990K/ N°07	53
Tableau IV.03: Historique de pannes CAMION 775G / N°1328	55
Tableau IV.04 : Historique de pannes de bull dozer	59
Tableau IV.05: Etude d'heures d'arrêt par nature de trois engins ensemble	61
Tableau IV.06: Etude nombre par nature de panne de trois engins ensemble	63
Tableau IV.07: Statistique d'heures d'arrêt de l'ensemble des engins	65
Tableau IV.08: Statistique nombre de panne d'ensemble des engins pendant 06 ans	67
Tableau IV.09: Les paramètres weibull de trois engins pendant 6 ans	70
Tableau IV.10: La fiabilité de trois engins pendant 6 ans	74
Tableau IV.11: Actions à entreprendre sur les trois machines	76

TABLE FIGURE

CHAPITRE I

Figure I.01 : Schéma de la fonction de maintenance	05
Figure I.02 : Schématisation des objectifs de la maintenance	06
Figure I.03 : Organigramme de la maintenance	13

CHAPITRE II

Figure II.01 : historique de la sûreté de fonctionnement	19
Figure II.02 : taxonomie de Sûreté de fonctionnement	20
Figure II.03 : composantes Sûreté de Fonctionnement	21
Figure II.04 : relation entre la disponibilité, la fiabilité et maintenabilité	23
Figure II.05 : Les durées caractéristiques de FMD	24

CHAPITRE III

Figure III.1 : TRIPTYQUE « FAUTE - DEFAUT – DEFAILLANCE ».	28
Figure III.2 : PANNE /DEFAILLANCE.	29
Figure III.3 : COURBE EN BAIGNOIRE : TAUX DE DEFAILLANCE.	32
Figure III.4 : CONFIGURATION SERIE.	34
Figure III.5 : CONFIGURATION PARALLELE.	35
Figure III.6 : L'IMPACT DE LA MAINTENANCE SUR LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS.	43

CHAPITRE IV

Figure IV.01 : historique de la mine	45
Figure IV.02 : Carte de localisation de la wilaya de Tébessa	46
Figure IV.03 : Procédure d'exploitation	48
Figure IV.04 : Organisation de la division maintenance	50
Figure IV.05 : Chargeuse Caterpillar 990K	52
Figure IV.06 : Evolution du temps d'arrêt de chargeuse 990K/ N°07	53
Figure IV.07 : Evolution du nombre de panne de chargeuse 990K/ N°07	54
Figure IV.08 : Camion Caterpillar 775G	55
Figure IV.09 : Evolution du temps d'arrêt de CAMION 775G / N°1328	56
Figure IV.10 : Evolution du nombre de panne de CAMION 775G / N°1328	57
Figure IV.11 : Bull dozer Caterpillar D10T2	58
Figure IV.12 : Evolution du temps d'arrêt de Bull dozer d10T2/ N°14	59

Figure IV.13 : Evolution du nombre de panne de Bull dozer d10T2/ N°14	60
Figure IV.14 : Heures d'arrêt par nature des trois engins ensemble	62
Figure IV.15 : Nombre par nature de pannes de trois engins ensemble	64
Figure IV.16 : Diagramme de Pareto des engins (heure d'arrêt)	66
Figure IV.17 : Diagramme de Pareto des engins (nombre des pannes)	67
Figure IV.18 : Diagramme d'Ishikawa (pannes mécanique)	69
Figure IV.19 : Application la loi de Weibull (chargeuse)	72
Figure IV.20: Application la loi de Weibull (camion)	73
Figure IV.21 : Application la loi de Weibull (bull dozer)	74
Figure IV.22 : Diagramme représente la fiabilité du trois engins pendant 6 ans	75

Abréviations

AFNOR	: Association Française de normalisation
NF	: Norme française
SDF	: La sûreté de fonctionnement
FDMS	: Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et la sécurité
F (t)	: Fonction de répartition
X	: Variable aléatoire non négative
MTTF	: Mean time to [first] failure
MTBF	: Mean time between failure
MDT	: Mean down time
MTL	: Moyenne des temps logistiques
MUT	: Mean up time
MTTR	: Mean time to repair
APD	: Analyse Préliminaire des Dangers
AMDE	: Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets
MDS	: Méthode du Diagramme de Succès
MTV	: Méthode de la Table de Vérité
MAC	: Méthode de l'Arbre des Causes
MCPR	: Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées
MACQ	: Méthode de l'Arbre des Conséquences
MDCC	: Méthode du Diagramme Causes-Conséquences
R(t)	: Fonction fiabilité
λ	: Le taux de défaillance
C_k^n	: Nombre de combinaisons de (k) défaillances pris parmi (n) essais
V(x)	: La variance
E(x)	: L'écart type
F(x)	: Fonction de densité
f(x)	: Fonction de répartition
β	: Paramètre de forme
N	: Paramètre de l'échelle
G	: Loi gamma
Log N	: Loi log-normale
A	: Valeur sur le tableau de Weibul

SPA : Société par action



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction

La maintenance joue un rôle essentiel dans la gestion et la performance des équipements industriels. Une maintenance efficace permet de minimiser les temps d'arrêt non planifiés, d'optimiser les coûts et d'améliorer la fiabilité des équipements. Cependant, la maintenance basée sur des stratégies traditionnelles peut être coûteuse et inefficace, car elle ne prend pas pleinement en compte la fiabilité réelle des équipements.

Dans ce mémoire d'étude intitulé "Optimisation de la maintenance par fiabilité", nous abordons l'importance d'adopter une approche basée sur la fiabilité pour la gestion de la maintenance industrielle. L'objectif principal de ce mémoire est de proposer une méthodologie et des outils permettant d'optimiser les activités de maintenance en se basant sur les caractéristiques de fiabilité des équipements.

Dans un premier temps, nous présenterons les principaux concepts liés à la maintenance basée sur la fiabilité. Nous examinerons les notions de fiabilité, de taux de défaillance, de durée de vie, ainsi que les différentes lois de probabilité utilisées pour modéliser le comportement des équipements dans le temps. Nous mettrons en évidence l'importance de la collecte et de l'analyse des données de défaillance pour évaluer la fiabilité des équipements.

Ensuite, nous aborderons les différentes stratégies de maintenance basée sur la fiabilité. Nous présenterons les approches préventive, prédictive et conditionnelle, ainsi que leurs avantages et leurs limites. Nous soulignerons l'importance de la planification des activités de maintenance en fonction des prédictions de défaillance et des priorités opérationnelles.

Dans la partie principale de ce mémoire, nous proposerons une méthodologie d'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité. Nous détaillerons les différentes étapes de cette méthodologie, de la collecte des données à l'analyse statistique, en utilisant le modèle de Weibull.

Enfin, nous présenterons des études de cas et des résultats obtenus à partir de l'application de cette méthodologie.

En conclusion, ce mémoire vise à démontrer que l'optimisation de la maintenance par fiabilité est une approche essentielle pour améliorer la gestion des équipements industriels. En prenant en compte la fiabilité réelle des équipements, les entreprises pouvant réduire les coûts de maintenance, augmenter la disponibilité des équipements et optimiser leur performance globale.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR
LA MAINTENANCE

1. Introduction

La maintenance n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité), ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatibles avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement

2. Définition de la maintenance d'après la rousse

Ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un matériel, un appareil, un véhicule, etc., dans un état donné, ou de lui restituer des caractéristiques de fonctionnement spécifiées. [1]

3. Définition de la maintenance d'après l'AFNOR (NF X 60-010)

La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal. [2]

Cette définition inclue les principaux concepts de la maintenance, qui sont :

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

Tableau I.01 : Comparaison entre l'homme et la machine

<i>Santé de l'homme</i>	<i>Santé des machines</i>
<i>Naissance</i>	<i>Mise en service</i>
<i>Connaissance De l'homme</i>	<i>Connaissance Technologique</i>
<i>Connaissance Des maladies</i>	<i>Connaissance Des modes de défaillance</i>
<i>Longévité</i>	<i>Durabilité</i>
<i>Carnet de santé</i>	<i>Historique machine</i>
<i>Dossier médical</i>	<i>Dossier machine</i>
<i>Diagnostic examens</i>	<i>Diagnostic Expertise</i>
<i>Visite médicale</i>	<i>Inspection</i>
<i>Bonne santé</i>	<i>Fiabilité</i>
<i>Connaissance Des traitements</i>	<i>Connaissance Des actions curatives</i>
<i>Traitement préventif</i>	<i>Entretien</i>
<i>Traitement Curatif</i>	<i>Dépannage</i> <i>Réparation</i>
<i>Opération</i>	<i>Rénovation</i> <i>Modernisation</i> <i>Echange standard</i>
<i>Médicament</i>	<i>Pièce de rechange</i>
<i>Réadaptation</i>	<i>Reconfiguration</i>
<i>Mort</i>	<i>Rebut</i>
<i>Médecine</i>	<i>Maintenance industrielle</i>

4. L'importance de la maintenance

La maintenance est importante pour l'industrie, ce qui paraît clair lors de l'occurrence des Pannes provoquant des arrêts non planifiés. Par conséquent, toute interruption au cours du fonctionnement cause, comme entre autres :

- Augmentation du coût de production ;
- Diminution de la marge du profit ;
- Rupture du stock ;
- Retard des livraisons ;
- Ajout des heures supplémentaires ;
- Absence de sécurité des opérateurs.

Donc, si on planifie et on prévoit des entretiens planifiés avant l'occurrence des pannes, on pourra surmonter ces conséquences. Pour ce faire, la partie suivante comprend des stratégies de maintenances.[3]

5. Rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées : [4]

- **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.
- **Prévisions à moyen terme** : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.
- **Prévisions à courts termes** : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation. Nous nous intéressons dans la démarche de cette thèse de la maintenance en moyens et long terme. [4]

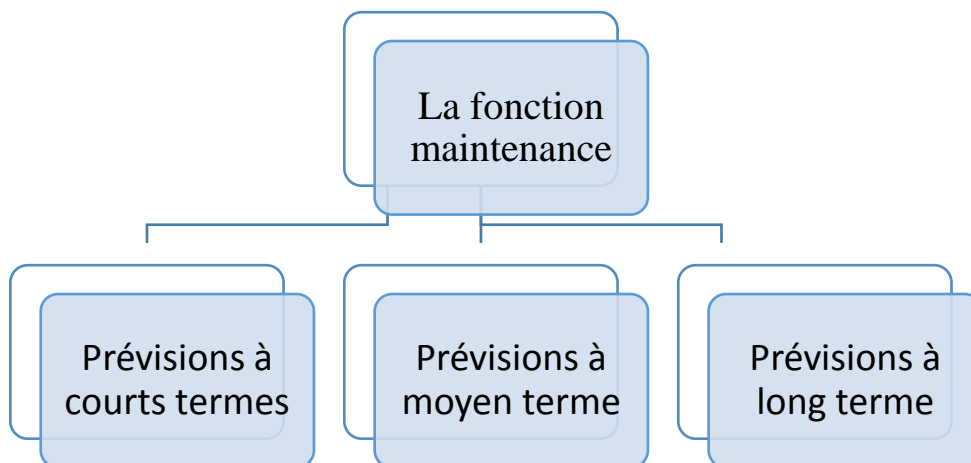


Figure I.01 : Schéma de la fonction de maintenance

6. Les objectifs de la maintenance

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'Assurer la disponibilité maximale des Équipements de production à un coût optimal. Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- Contribuer à assurer la production prévue ;
- Contribuer à maintenir la qualité du produit fabriqué ;
- Contribuer au respect des délais ;
- Rechercher des coûts optimaux ;
- Respecter les objectifs humains : formation, conditions de travail et sécurité ;
- Préserver l'environnement et économiser l'énergie ;
- Conseiller la direction pour le renouvellement du matériel ;
- Conseiller les responsables de fabrication pour une meilleure utilisation des équipements ;
- Améliorer les équipements de production pour faciliter la maintenance et augmenter la productivité.[5]

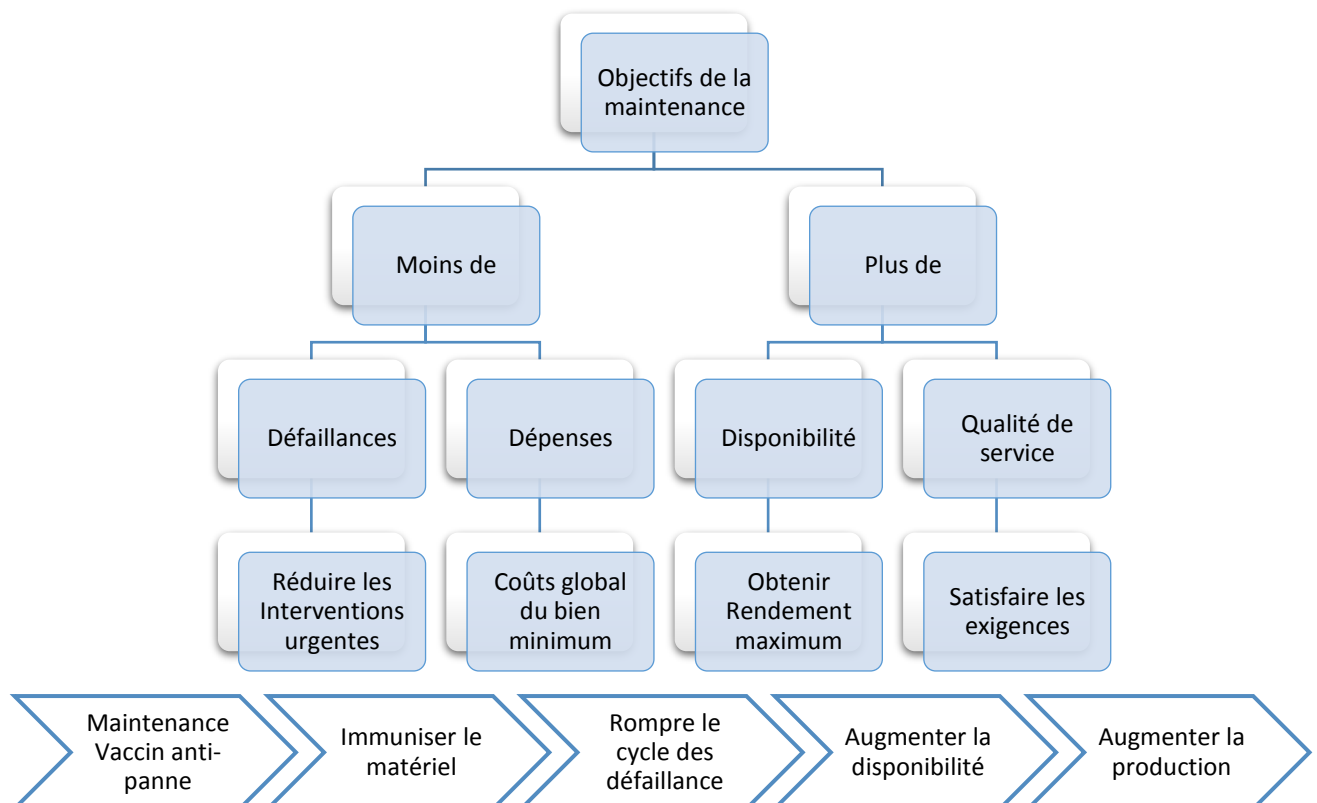


Figure I.02 : Schématisation des objectifs de la maintenance

7. Les types de maintenance

7.1. La maintenance préventive

Définition : « Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. »

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.[6]

But de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels ;
- Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc ;
- Diminuer le budget de la maintenance ;
- Supprimer les causes d'accidents graves.[6]

On a deux types de la maintenance préventive :

7.1.1. La maintenance préventive systématique

Définition : « Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. »

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Remarque : Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que :

- La quantité de produits fabriqués ;
- La longueur de produits fabriqués ;
- La distance parcourue ;
- La masse de produits fabriqués ;
- Le nombre de cycle effectué.

Conditions d'applications

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

Remarque : De plus en plus les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

Cas d'applications

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- Equipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée). Par exemples appareil de levage, extincteur (incendie), réservoir sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves. Par exemples : tout le matériel assurant le transport en commun des personnes, avion, trains, etc.
- Equipements ayant un coût de défaillance élevé. Par exemples : éléments d'une chaîne automatisée, systèmes fonctionnant en continu.

Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service. Par exemples : consommation excessive d'énergie, allumage et carburation déréglés pour les véhicules à moteurs thermiques.[6]

7.1.2. La maintenance préventive conditionnelle

Définition : Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (Autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), révélateur de l'état de dégradation du bien. [7]

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle parfois maintenance prédictive.

Conditions d'applications

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Les machines en question, c'est-à-dire touchées en certains point sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles Demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Cas d'application

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Et dans la maintenance conditionnelle on a :

7.1.2.1. La maintenance prédictive

Est une maintenance conditionnelle basée sur le franchissement d'un seuil prédéfini qui permet de donner l'état de dégradation du bien avant sa détérioration complète.

7.1.3. Opérations de la maintenance préventive

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).
- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.
- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de la première et de deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau.

Les trois premières opérations sont encore appelées « opérations de surveillance » Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut

maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage. [7]

7.2. La maintenance corrective (NF EN 13306 X 60-319)

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

- Maintenance effectuée après défaillance.

Défaillance : Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

7.2.1. Maintenance palliative

Dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

7.2.2. Maintenance curative

Réparation (donc durable) consistant en une remise en l'état initial.[8]

La maintenance corrective se base sur 2 types d'interventions :

- **Le dépannage** : Remise en état de fonctionnement effectué « in situ », parfois sans interruption du Fonctionnement de l'ensemble concerné. Le dépannage a un caractère provisoire. Les Dépannages caractérisent la maintenance palliative. Le palliatif est caractéristique du 2eme Niveau de maintenance.
- **La réparation** : Faite « in situ » ou en atelier de maintenance, parfois après dépannage. Elle a un caractère définitif. La réparation caractérise la maintenance curative. Le curatif est caractéristique du 2ème et 3ème niveaux de maintenance. [9]

7.2.3. Avantages et inconvénients de la maintenance corrective

Avantages :

- Dans certains la maintenance corrective est meilleure que la maintenance préventive point de vue couts.

Inconvénients :

- Coût de réparation important ;
- Peu de sécurité des travailleurs ;
- Stockage important des pièces ;
- Temps de réparation élevé ;
- Perte de production élevée.

7.2.4. Opérations de la maintenance corrective

Après apparition d'une défaillance, le maintenancier doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- **Test** : prendre les mesures de l'état actuel système affecté et les comparé à une référence.
- **Détection** : action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- **Localisation** : trouver les éléments ou les composants défaillant.
- **Diagnostic** : identification et analyse des causes de la défaillance.
- **Dépannage** : réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- **Contrôle** : s'assuré que le système est en bon fonctionnement après l'intervention.
- **Amélioration éventuelle** : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- **Historique** : enregistré ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure en cas ou la même panne apparaisse une autre fois. [9]

7.3. La maintenance améliorative

L'amélioration des biens d'équipement est un ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise (norme NF EN 13306). On apporte donc des modifications à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, etc. La maintenance améliorative est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse : l'amélioration doit être rentable. [10]

7.3.1. Les objectifs de la maintenance améliorative

- L'augmentation des performances de production ;
- L'augmentation de la fiabilité (Diminuer les fréquences d'interventions) ;
- L'amélioration de la maintenabilité (Amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ;
- La standardisation de certains éléments ou sous-ensemble ;
- L'augmentation de la sécurité des utilisateurs.

7.3.2. Les opérations de la maintenance améliorative

- **La rénovation**

Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

- **La reconstruction**

Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

- **La modernisation**

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que dans celui d'une reconstruction. La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu pour certains de ses sous-ensembles ou organes à la pratique d'un échange standard [10].

7.4. L'organigramme de la maintenance

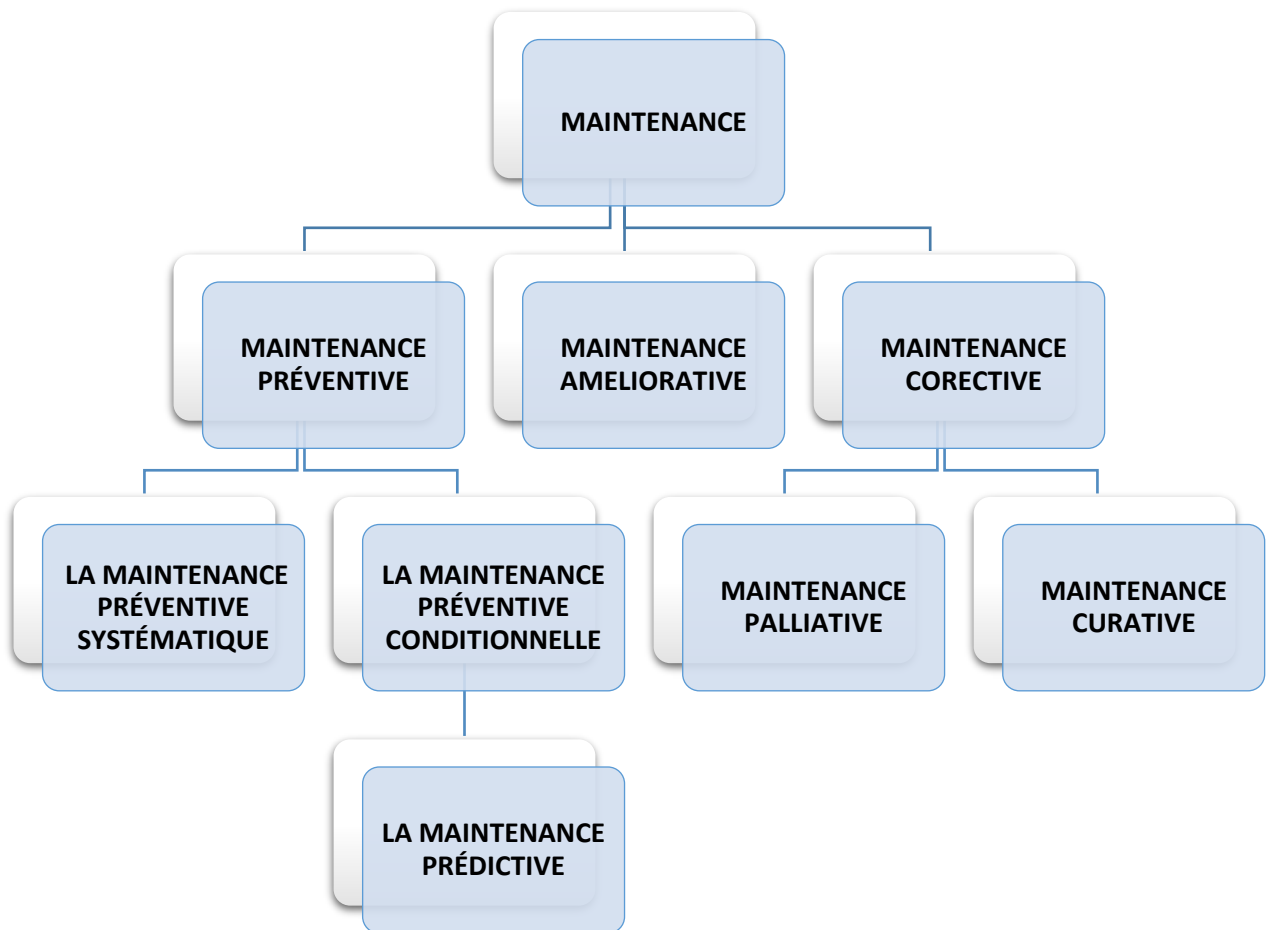


Figure I.03 : Organigramme de la maintenance

8. Outils de la maintenance

Tout comme l'intervention technique, l'organisation et la gestion des activités de maintenance nécessitent l'emploi d'outils d'usage et de nature différente :

- **Outils mathématiques** : pour choisir les politiques de maintenance les mieux adaptées à chaque type d'équipement, déterminer les périodes d'intervention, connaître la fiabilité, maintenabilité, disponibilité, Probabilité, loi statistique, algèbres d'événement, analyses...)
- **Outils organisationnels** : pour faciliter la prise de décision (AMDEC, asymptotique, logigramme...), la mise en œuvre de la maintenance préventive (technique de contrôle), ou l'organisation des interventions (procédures et modes opératoires).
- **Outils informatiques** : pour la gestion des éléments maintenus, des ressources et des budgets (GMAO) ou pour l'aide à la décision. [11]

9. La politique de maintenance

Selon l'association française de normalisation (AFNOR) une politique de maintenance consiste à fixer les orientations (méthodes, programmes, budgets ... etc.) dans le cadre des objectifs fixés par les responsables de l'entreprise, selon un politique choisi dans le cadre de l'optimisation des coûts de production les orientations privilégient [12] :

- La disponibilité qui est l'aptitude d'une entité à accomplir ces fonctions requises dans des conditions données à un instant ou pendant un intervalle de temps en supposant la fourniture des moyens extérieurs soit assuré ;
- La sécurité du personnel et des biens de maintes dangers liés au fonctionnement et aux actions de maintenance ;
- La qualité de la production tout en protégeant l'environnement ;
- L'optimisation des coûts de la maintenance

10. Niveaux de maintenance

Ils sont au nombre de 5 et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise, selon le type de bien à maintenir.

Tableau I.02 : Les niveaux de maintenance [13]

NIVAUX	TYPES DE TRAVAUX	PERSONELLE D'INTERVENTION	MOYENES
Première niveau	Réglage simple prévus par le constructeur de moyen d'organe accessibles sans aucun démontage d'équipements, Ou échange d'élément accessibles en toutes sécurité.	Pilote ou conducteur (exploitant) du système sur place	Outillage léger définie dans les instructions d'utilisation.
Deuxième Niveau	Dépannage par échange standard par d'éléments prévus à cet effet, ou d'opération mineures de maintenance préventive (ronds)	Technicien habilité sur place (qualification moyenne)	Outillage léger définie dans les instructions d'utilisation et pièce rechange disponibles sans délai.
Troisième niveau	Identification et diagnostique de panne, récupération par échanges des composants fonctionnel, réparation mécanique mineurs.	Technicien spécialisé sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, control...
Quatrième niveau	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Equipe encadre par un technicien spécialisé en atelier central.	Outillage général et spécialise, matériel d'essai, de contrôle...
Cinquième niveau	Travaux de rénovation de reconstruction ou réparation importantes confiée à un atelier central	Equipe complète et polyvalente en atelier central	Moyens proches à la fabrication

11. L'optimisation de la maintenance

L'optimisation de la maintenance se réfère au processus de maximisation de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité des équipements et des systèmes, tout en minimisant les coûts de maintenance. Cela peut impliquer l'utilisation de méthodes telles que la maintenance préventive, la maintenance conditionnelle, la maintenance prédictive et la maintenance corrective pour minimiser les temps d'arrêt imprévus, prolonger la durée de vie utile des équipements et garantir un fonctionnement sûr et fiable des systèmes.

11.1. Les différentes méthodes d'optimisation de la maintenance

11.1.1. La méthode de l'industrie aéronautique M.S.G-3

L'objectif majeur du MSG-3 (Maintenance Steering Groupe) est de définir la maintenance qui permet d'assurer la sécurité des avions. Si la sécurité est l'objectif premier, le transport aéronautique est fortement soumis aux lois du marché et le critère économique est aussi pris en compte. Il n'apparaît cependant pas comme l'objectif majeur de la méthode. Le principe du MSG-3 est d'organiser le choix des tâches de maintenance en fonction des conséquences des défaillances. Le but d'une action de maintenance préventive n'est pas directement d'assurer qu'un équipement soit en état de marche mais plutôt d'éviter les conséquences de son dysfonctionnement. Le cœur de la méthode est la logique de sélection des tâches de maintenance qui, en fonction des conséquences des défaillances, orientera vers les actions les plus efficaces et les plus économiques [14].

11.1.2. La méthode d'optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF)

Cette méthode a vu le jour dans l'industrie aéronautique civile et militaire américaine des années 1980, sous le nom de RCM (Reliability Centered Maintenance), dans le but de maîtriser les coûts d'exploitation des avions. Développée à partir de 1990, généralisée ensuite sur les centrales nucléaires puis mise en œuvre sur des systèmes considérés comme les plus importants vis-à-vis des critères de sûreté, de disponibilité et de coûts d'exploitation. La méthode a été adaptée pour être utilisée sur d'autres types d'installations (centrales thermiques au charbon, turbines à combustion, lignes de transport d'électricité, éoliennes...). Des sociétés prestataires de services en maintenance l'ont transférée à d'autres secteurs industriels (automobile, offshore...).

Cette approche permet de choisir une stratégie de maintenance préventive compte tenu d'objectifs de disponibilité, de sûreté et de coûts, en tenant compte des conséquences potentielles identifiées, à savoir l'occurrence des modes de défaillance et les effets sur le fonctionnement du système, ainsi que des données de retour d'expérience des dysfonctionnements de matériels [14][15].

11.1.2.1. Définition de l'OMF

On peut tenter de définir l'OMF en disant qu'il s'agit d'une méthode d'aide à la décision pour élaborer le programme de maintenance préventive d'une installation en respectant des contraintes et en optimisant des critères :

- Nature des contraintes à respecter :
 - La sécurité des personnes.
 - La préservation de l'environnement.
- Nature des critères à optimiser :
 - Disponibilité.
 - Coûts.
 - Qualité (préservation d'un bon niveau de qualité du produits).

11.1.3. Méthode Total Productive Maintenance (TPM)

Appelée aussi méthodes japonaise ou méthode centrées sur l'organisation et la recherche de bonnes pratiques. Nakajima [16] définit la TPM comme une approche où tous les employés participent à la maintenance préventive par des activités d'équipes. C'est la définition qui est adoptée d'emblée dans la littérature sur la TPM. Il ajoute que le terme " Total " de TPM a trois significations : le rendement global des installations, un système global de réalisation et une participation de tout le personnel. La TPM vise à modifier la manière de penser des employés vis-à-vis de la maintenance et à améliorer leur niveau de connaissance [17].

Pour notre cas, nous avons adopté la deuxième méthode, c'est-à-dire l'optimisation de la maintenance par fiabilité. Nous avons calculé les indicateurs de fiabilité : le taux de défaillance et le moyen de temps de bon fonctionnement (MTBF) en utilisant la méthode de Weibull, après avoir classé les pannes par la loi de Pareto et nous avons terminé notre étude par le calcul de la fiabilité

Conclusion

A la fin de ce chapitre on remarque que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents et est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qu'elle réalise doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

CHAPITRE II LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

1. Introduction

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée la science des défaillances, elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d'avancées sont le fruit du retour d'expérience et des rapports d'analyse d'accidents.

2. Historique

1940 -1950 : une discipline se développe sous le nom de « théorie de la fiabilité », suite à la comparaison des fréquences des pannes des avions utilisés pendant la deuxième guerre mondiale. Elle est appliquée à l'électronique dans l'aéronautique, la défense et le nucléaire.

1960 - 1970 : généralisation de cette approche probabiliste à d'autres composants : mécaniques, hydrauliques, électriques, puis aux hommes, aux logiciels... et développement de nouvelles méthodes (APR, Arbres de défaillances (ADD), AMDE...) permettant de maîtriser les risques.

1980 : Formalisation de l'approche globale de la sûreté de fonctionnement dans le cadre de la conception des systèmes complexes et l'apparition de plusieurs approfondissements qui se manifestent dans le développement : des bases de données de fiabilité, des méthodes d'analyse et de modélisation, des logiciels de calculs, des logiciels de modélisation, ...etc. [18].

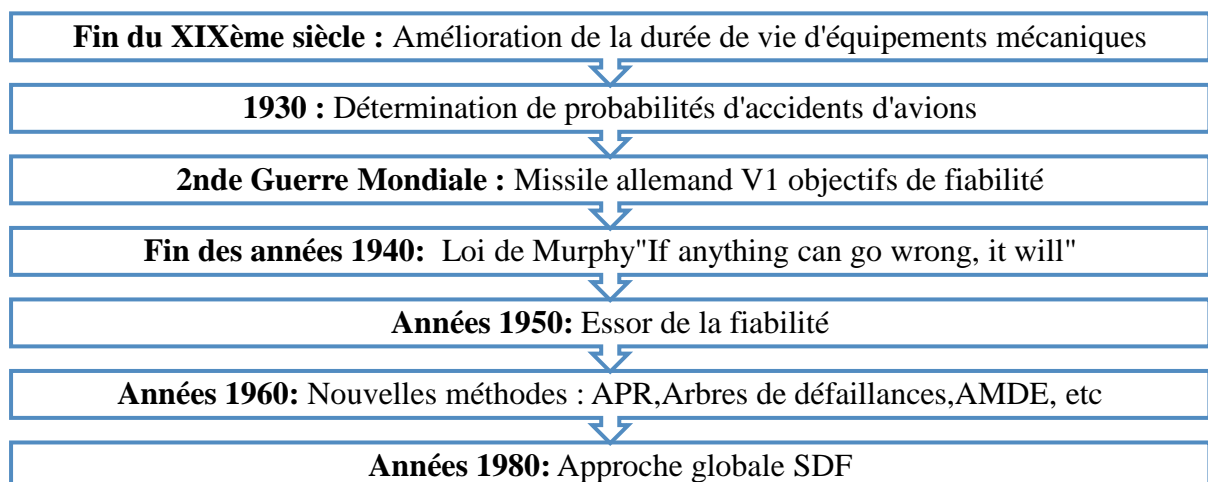


Figure II.01 : Historique de la sûreté de fonctionnement [19]

3. Taxonomie

La sûreté de fonctionnement manipule un certain nombre de concepts que nous précisons dans cette partie en donnant des définitions précises. La sûreté de fonctionnement peut être vue comme étant composée des trois éléments suivants :

- **Attributs** : points de vue pour évaluer la sûreté de fonctionnement ;
- **Entraves** : évènements qui peuvent affecter la sûreté de fonctionnement du système ;
- **Moyens** : moyens pour améliorer la sûreté de fonctionnement.[20]

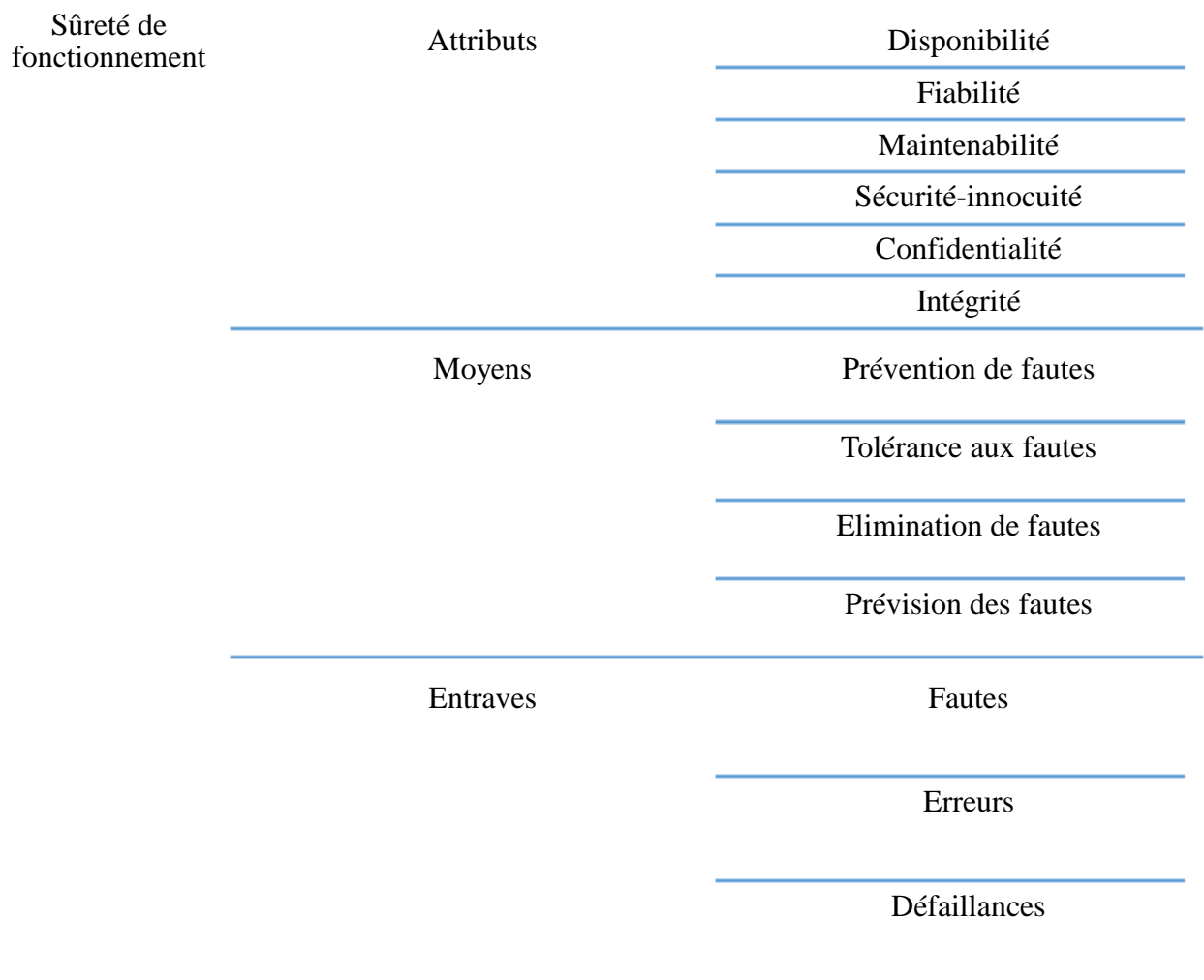


Figure II.02 : Taxonomie de Sûreté de fonctionnement

4. Définition

La sûreté de fonctionnement (dependability en anglais) d'un système (Sdf) est défini comme la qualité du service délivré par un système, qualité telle que les utilisateurs de ce service puissent placer une confiance justifiée dans le système qui le délivre. Son objectif est connu et maîtriser les risques de dysfonctionnement des produits et des systèmes complexes, et en particulier leur fiabilité en mettant en œuvre des méthodes prévisionnelles, expérimentales et opérationnelles appropriées. Elle est caractérisée par quatre principales composantes : Fiabilité (Reliability), Maintenabilité (Maintainability), Disponibilité (Availability) et la Sécurité (Safety) et se nomme alors FMDS (RAMS).

En plus, l'évolution technologique a contribué à l'apparition d'autres attributs à savoir : la qualité, le facteur humain et l'ergonomie. Cette discipline intervient non seulement au niveau de systèmes déjà construits mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation des systèmes [21]

5. Concept FMDS

La sûreté de fonctionnement (SDF) regroupe les activités d'évaluation de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces propriétés sont différentes mais complémentaires. [22]

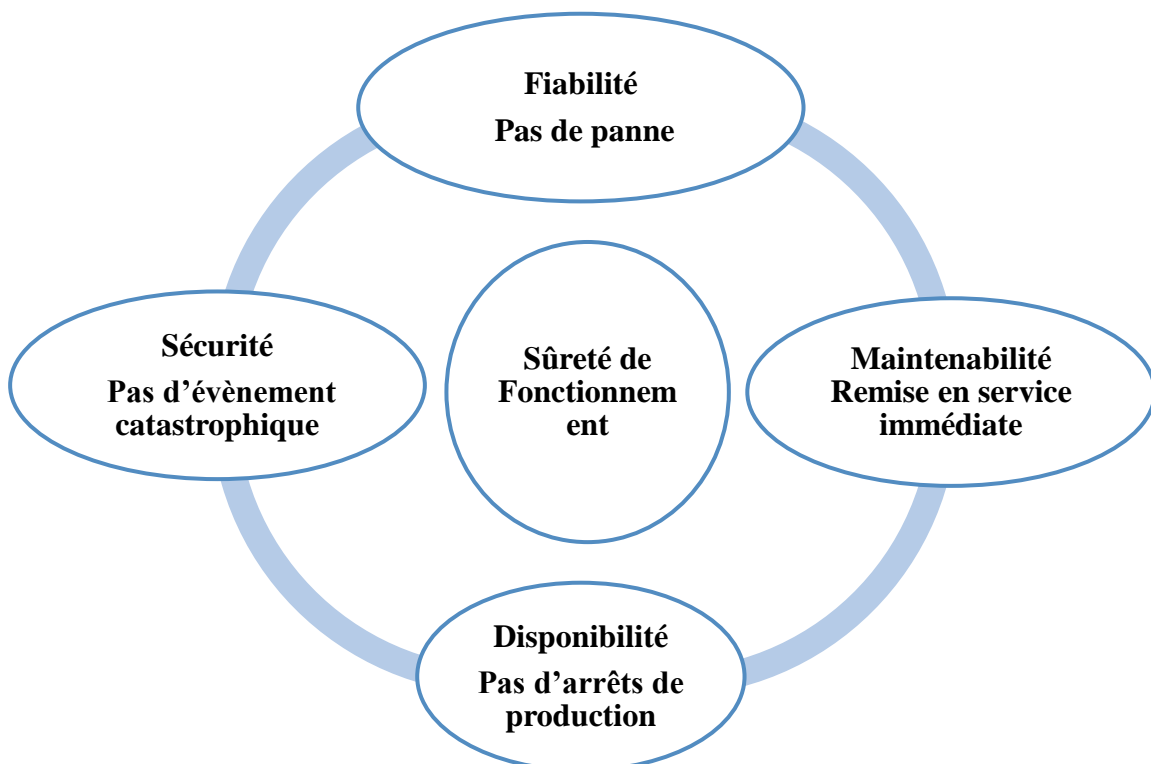


Figure II.03 : Composantes Sûreté de Fonctionnement

5.1. Fiabilité

C'est l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un temps donné (NF EN 13306) ou une caractéristique d'un bien, exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné (NF X 60-500) ; La notion de temps peut prendre La forme de nombre de cycles effectués (machine automatique), de distance parcourue (matériel roulant) et de tonnage produit (équipement de production) [23].

Un équipement n'est fiable que s'il subit peu d'arrêts pour cause de panne. La notion de fiabilité s'applique pour les systèmes réparables (équipements industriel ou domestique) ou pour les systèmes non réparables (lampes, composants électroniques, autres composants jetables).

La fonction fiabilité, notée $R(t)$, représente la probabilité qu'un élément fonctionne sans défaillance pendant l'intervalle $[0, t]$.

$$R(t) = 1 - F(t) = P(X > t) \quad (\text{II.1})$$

Avec : $F(t)$: Fonction de répartition qui est la probabilité que l'élément tombe en panne avant l'instant t ,

X : Variable aléatoire non négative qui est assimilé à la durée de vie de cet élément. [23].

5.2. Maintenabilité

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise.

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. [24]

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore **M**oyenne des **T**emps **T**echniques de **R**éparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pannes}}{\text{nombre des pannes}} \quad (\text{II.2})$$

5.3. La disponibilité

C'est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné. En supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.[25]

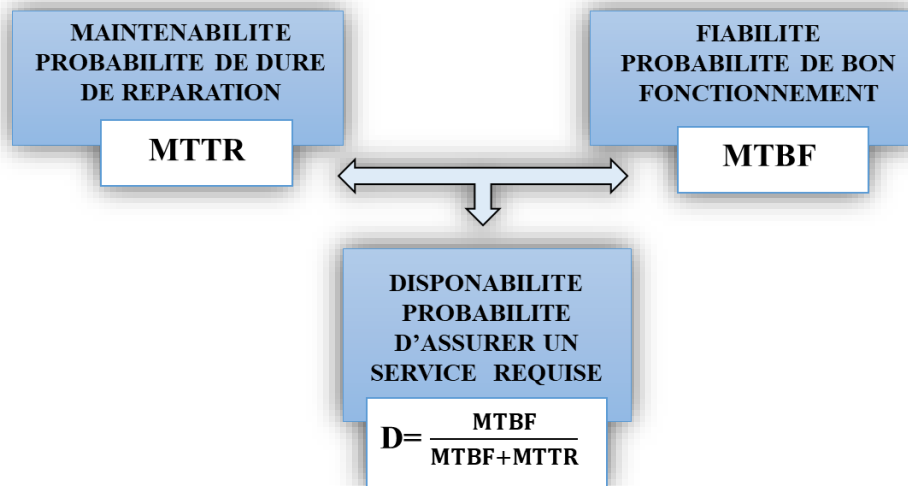


Figure II.04 : Relation entre la disponibilité, la fiabilité et maintenabilité

5.3.1. Types et Quantification de disponibilité

Il existe deux types :

➤ **Disponibilité intrinsèque :**

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales. Elle est exprimée par :

$$D_i = \frac{MUT}{MUT + MTTR} \quad (II.3)$$

➤ **Disponibilité opérationnelle :**

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur. Le calcul de D_o fait appel aux paramètres MUT, MTTR et MTL sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation). [25]

$$D_o = \frac{MUT}{MUT + MTTR + MTL} = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (II.4)$$

5.4. La sécurité

C'est l'aptitude d'un system à ne pas connaitre de panne considéré comme catastrophique pendant une dure donnée. Nous pouvons Distinguer les mesures de sécurité par leur mode d'action

➤ **Sécurité passive :**

La sécurité passive désigne tous les éléments mis en jeu afin de réduire les conséquences d'un accident lorsque celui-ci n'a pu être évité. Elle agit par sa seule présence, sans intervention humaine ni besoin en énergie (exemple bâtiment de confinement, cuvette de rétention... etc.). Cependant, il ne faut pas réduire la sécurité passive a la limitation des conséquences des accidents (l'isolation électrique est une mesure passive est préventive)

➤ **Sécurités actives :**

La sécurité active désigne tous les éléments mis en jeu afin d'éviter les accidents elle nécessite une action, une énergie et un entretien (exemple : détecteur, vannes, etc.) la sécurité d'une installation repose sur l'utilisation de ces deux modes d'action. Une préférence est donnée au mode passif quand il est techniquement possible. Des critères de qualité sont exigés pour le mode actif, notamment la tolérance à la première défaillance : doublement de l'organe de sécurité (redondance). La sécurité fonctionnelle reste l'un des moyens les plus importants pour la prise en compte des risques. D'autres moyens de réduction ou d'élimination des risques, tels que la sécurité intégrée dans la conception, sont également d'une importance essentielle.[26]

6. Temps de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

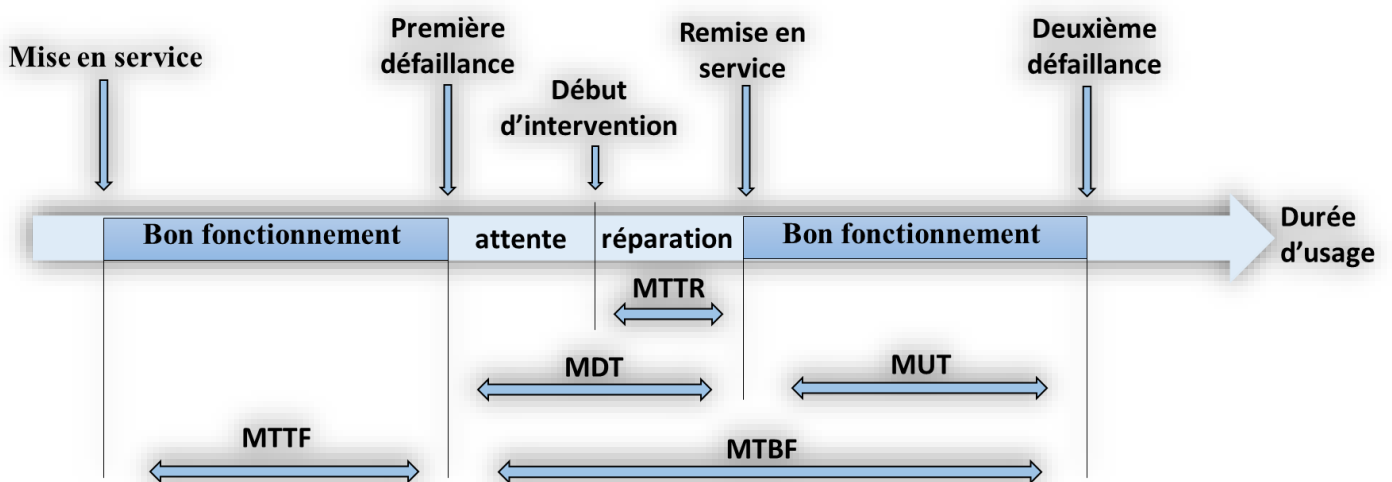


Figure II.05 : Les durées caractéristiques de FMD

En fait, les grandeurs portées par le graphe sont des durées (TBF) auxquelles on fait correspondre des moyennes (MTBF) obtenues par exploitation statistique $m(t)$ ou probabiliste $E(t)$ des n durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés sont d'origine anglo-saxonne et correspondent aux notions suivantes :

- **MTTF (mean time to [first] failure)** : temps moyen avant-première défaillance ;
- **MTBF (mean time between failure)** : temps moyen entre deux défaillances successives ;
- **MDT ou MTI (mean down time)** : temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre ;
- **MTL** : moyenne des temps logistiques ;
- **MUT (mean up time)** : temps moyen de disponibilité ;
- **MTTR (mean time to repair)** : temps moyen de réparation.[27]

7. L'approche de la sûreté de fonctionnement

- **Identifier** : les défaillances de la manière la plus exhaustive possible,
- **Prioriser** : l'importance des risques que ces défaillances impliquent,
- **Prévoir** : D'un point de vue du système, il faudra prévoir les défaillances,
- **Mesurer et Capitaliser** : Au cours de la vie du système il faudra savoir mesurer les défaillances et capitaliser ces observations,
- **Maitriser** : Le but final étant bien sûr de maitriser ces défaillances. Au sens large, la Sûreté de fonctionnement est considérée comme la science des défaillances et des pannes [30]

8. Objectif de la sûreté de fonctionnement

L'objectif de la Sdf est d'atteindre l'idéal de la conception de système : zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut (et même zéro maintenance).

La Sdf est un domaine d'activité qui propose des moyens pour augmenter la fiabilité et la sûreté des systèmes dans des délais et avec des coûts raisonnables.[31]

9. Cout de la sureté de fonctionnement

Le cout d'un haut niveau de sureté de fonctionnement est très onéreux. Le concepteur doit faire des compromis entre les mécanismes de sureté de fonctionnement nécessaires et les couts économiques. Les systèmes qui ne sont pas surs, pas fiables ou pas sécurisés peuvent être rejetés par les utilisateurs. Le cout d'une défaillance peut être extrêmement élevé. [28]

10. Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement

Une analyse prévisionnelle de sûreté de fonctionnement est un processus d'étude d'un système réel de façon à produire un modèle abstrait du système relatif à une caractéristique de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Les éléments de ce modèle seront des événements susceptibles de se produire dans le système et son environnement, tels par exemple :

- Des défaillances et des pannes des composants du système ;
- Des événements liés à l'environnement ;
- Des erreurs humaines en phase d'exploitation.

Le modèle permet ainsi de représenter toutes les défaillances et les pannes des composants du système qui compromettent une des caractéristiques de Sdf.

Afin d'aider l'analyste, plusieurs méthodes d'analyse ont été mises au point. Les principales sont

- **APD** : Analyse Préliminaire des Dangers ;
- **AMDE** : Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets ;
- **MDS** : Méthode du Diagramme de Succès ;
- **MTV** : Méthode de la Table de Vérité ;
- **MAC** : Méthode de l'Arbre des Causes ;
- **MCPR** : Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées ;
- **MACQ** : Méthode de l'Arbre des Conséquences ;
- **MDCC** : Méthode du Diagramme Causes-Conséquences. [29]

11. Conclusion

A la fin de ce chapitre on trouve que La sûreté de fonctionnement est un terme générique basé beaucoup plus sur la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des systèmes, elle est un facteur décisif dans les choix de stratégie technologique, économique et sociétale d'un projet.

CHAPITRE III
LE CONCEPT ET LES LOIS
DE FIABILITE

1. Introduction

La fiabilité fait l'objet, ces dernières années, d'un intérêt croissant, d'abord pour ses applications importantes en technologies industrielles, en analyse de survie, etc. D'autre part, elle connaît un développement théorique conséquent, en raison de son intérêt dans des problèmes de modélisation stochastique.

Ce chapitre concerne l'étude de la théorie de la fiabilité, en commençant par des notions de défaillance, définition de la fiabilité ainsi que les grandeurs qui la caractérisent. Nous verrons que ces paramètres pourront être estimés.

2. Concepts de défaillance

2.1. La défaillance D'après la norme AFNOR NF X600-10

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques.[30]

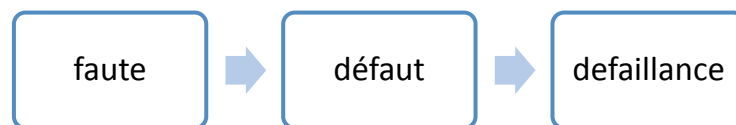


Figure III.01 : Triptyque « faute - défaut – défaillance » [31]

- **Faute** : elle peut être physique (interne ou externe) ou due à l'utilisateur
- **Défaut** : au départ, il est latent, car on ne s'en aperçoit pas tout de suite. Il devient ensuite effectif La défaillance est la conséquence d'un défaut, dont la cause est une faute.[31]

Remarque : Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état.

- **La panne**

État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.[30]

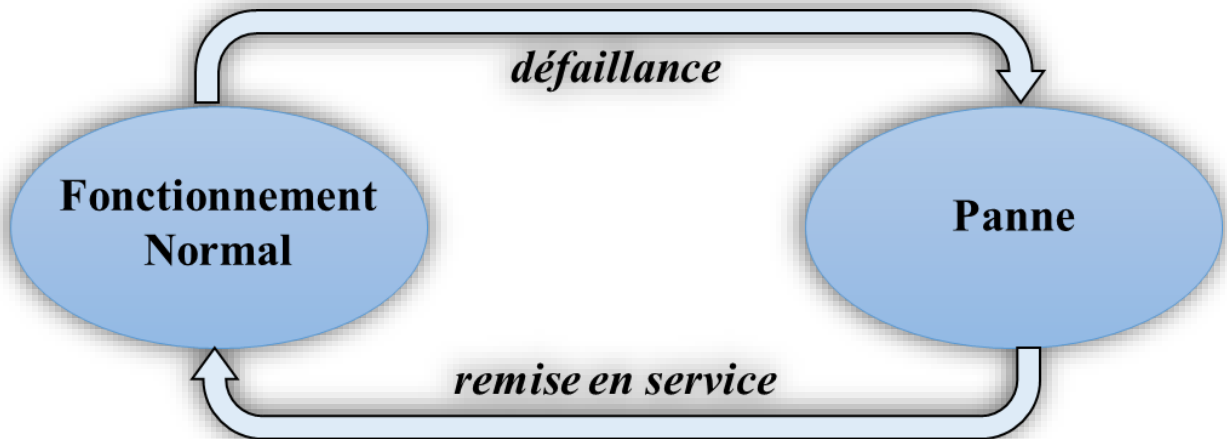


Figure III.02 : Panne /Défaillance

2.2. Cause de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Il existe deux types de causes conduisant à une défaillance :

- **Défaillances de causes intrinsèques** : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure et par vieillissement sont des défaillances intrinsèques.
- **Défaillance de causes extrinsèques** : défaillances de mauvais emploi, par fausses manœuvres, dues à la maintenance, conséquences d'une autre défaillance. [32]

2.3. Classification des défaillances

La calcification d'une défaillance peut se faire en fonction des critères suivant (norme X60-500) :

Tableau III.01 : Classification des défaillances [43]

Défaillance		
Norme de classement	Type de défaillance	Définition
En fonction de la vitesse d'apparition	Défaillance progressive	Evolution dans le temps de certaines caractéristiques d'une entité
	Défaillance soudaine	Evolution quasi instantanée des caractéristiques d'une entité
En fonction de l'instant d'apparition	Défaillance a fonctionnement	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise est utilisée
	Défaillance a l'arrêt	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise n'est utilisée
	Défaillance a la sollicitation	Se produit au moment où la fonction requise sollicité
En fonction de degrés d'importance	Défaillance partielle	Entraine l'inaptitude d'une entité a accomplir certaine fonction requise
	Défaillance totale	Entraine l'inaptitude totale d'une entité à accomplir certaine fonction requise
En fonction de la vitesse d'apparition et du degré d'importance	Défaillance par dégradation	Qui est à la fois progressive et partielle
	Défaillance catalectique	Qui est à la fois soudaine et complète
En fonction du cause	Défaillance par faiblesse inhérente	Due à la conception ou à la fabrication de l'entité
	Défaillance par emploi inapproprié	Les contraintes appliquées dépassent la possibilité de l'entité
	Défaillance par fausse manœuvre	Opération incorrecte dans l'utilisation de l'entité
	Défaillance par vieillissement	Dégradation dans le temps des caractéristiques de l'entité
En fonction de son origine	Défaillances interne à l'entité	L'origine est attribuée à l'entité elle-même
	Défaillance externe a l'entité	L'origine est attribuée à des facteurs externes à l'entité elle-même
	Défaillance critique	Susceptible de causer des dommages (aux personnes, biens, environnement)

En fonction des conséquences	Défaillance majeure	Affecte une fonction majeure de l'entité
	Défaillance mineure	N' Affecte une fonction majeure de l'entité
En fonction de leur caractère	Défaillance systématique	Liée d'une manière certaine à une cause
	Défaillance reproductible	Peut-être provoquée à volonté en simulant ou reproduisant la cause
	Défaillance non reproductible	La cause ne reproduit jamais la défaillance

2.4. Modes de défaillances

Il est important d'introduire le concept du mode de défaillance : « un mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée » [33].

Ainsi, à chaque défaillance des équipements, on associe des modes de défaillance et des causes de défaillance ; les modes de défaillance sont générés par leurs causes, un mode de défaillance représentant l'effet (ou les effets) par lequel (ou lesquels) se manifeste la cause de défaillance. Les défaillances d'un équipement ont des effets sur les fonctions de celui-ci, le mode de défaillance sera dénommé du nom de l'effet. Un mode de défaillance peut intervenir de quatre manières différentes :

- Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser.
- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
- Fonction intempestive : la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.

Chaque équipement ou système peut posséder plusieurs modes de défaillance. A titre d'exemple, on considère un moteur, Les principaux modes de défaillance sont :

- Le moteur ne s'arrête pas sur ordre.
- Le moteur ne marche pas sur ordre.
- Le moteur marche sans ordre.
- Le moteur arrêté sans ordre.
- Le moteur ne donne pas la puissance requise
- Le moteur donne plus de puissance que celle choisie.

2.5. Les différentes Phases du Cycle de Vie d'un bien

La fiabilité des systèmes, des sous-ensembles et des composants est souvent décrite par la courbe caractéristique dite en "baignoire". Elle décrit l'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps t . Elle comprend trois phases, chacune avec un sens de variation différent.

- **Phase de jeunesse** : $\lambda(t)$ décroît rapidement c'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections de montage.
- **Phase de maturité** : $\lambda(t)$ est pratiquement constant est la période de vie utile ou la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimale l'équipement.
- **Phase de vieillesse** : $\lambda(t)$ croît rapidement. C'est la période d'obsolescence, à dégradation accélérée. Souvent, on trouve une usure mécanique de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain point de $\lambda(t)$, le matériel est mort. [34]

Le graphe représentant la variation du taux de défaillance, appelé « courbe en baignoire », possède trois allures différentes selon le matériel mécanique, matériel électrique ou matériel électronique

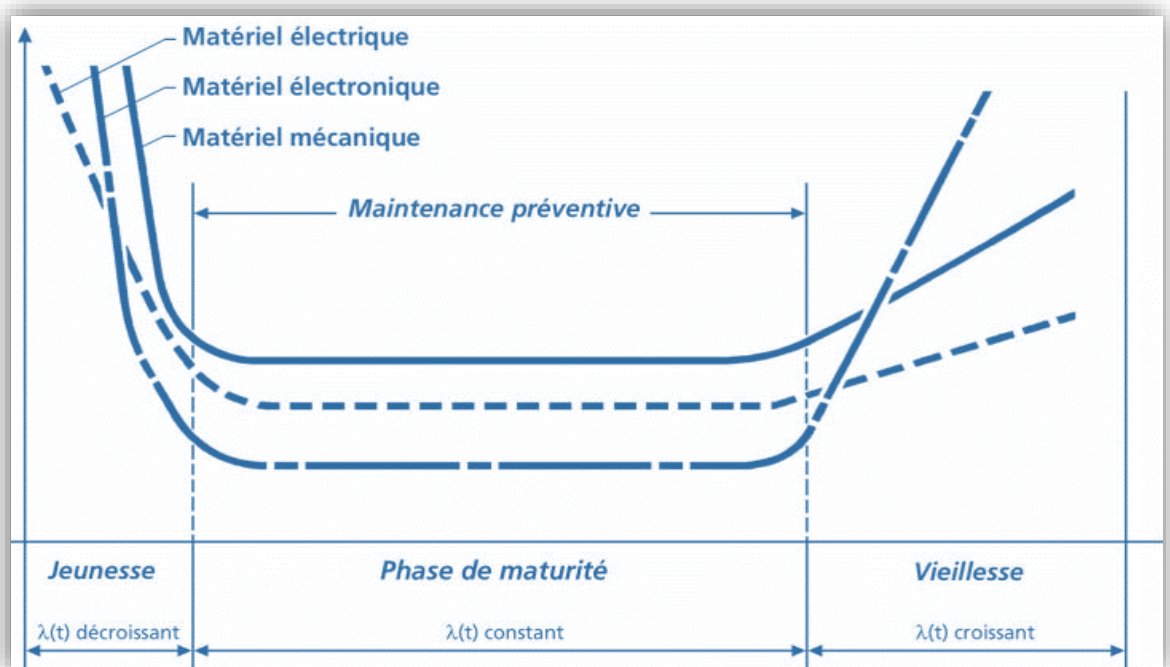


Figure III.03: Courbe en baignoire : taux de défaillance [34]

Les courbes du taux de défaillances figure ont une même forme générale mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie du système étudié :

- Electrique
- Electronique
- Mécanique

3. Concept fiabilité

3.1. Définition de fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée. C'est la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans des conditions données pendant l'intervalle de temps $[0, t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant initial. [35]

Ou bien c'est la probabilité d'être encore en service à l'instant t . Et la probabilité d'avoir une durée de vie T supérieure a t . [36]

$$R(t)=P [E \text{ non défaillante sur } [0, t]] =P(T>t) \quad (\text{III. 01})$$

3.2. Types de fiabilité

On distingue trois types [35]:

- **La Fiabilité prévisionnelle**

C'est la fiabilité calculée sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données du projet et de la fiabilité estimée des composants.

- **La fiabilité estimée " Intrinsèque "**

C'est la fiabilité d'un dispositif mesurée au cours d'essais spécifiques, effectués dans le cadre d'un programme d'essais entièrement définis.

- **La fiabilité opérationnelle**

La fiabilité opérationnelle est la fiabilité mesurée sur un des dispositifs en exploitation normale ; elle dépend des conditions réelles d'utilisation et de support logistique, notamment la maintenance.

4. Fiabilité des systèmes

4.1. Système

C'est un ensemble d'éléments interdépendants orientés vers la réalisation d'une fonction. Chaque système peut être décomposé en sous-système, en composants et en éléments. Pour la mise au point d'un système nous distinguons les étapes:

- Définir le système: cette étape consiste à préciser les fonctions du système (conception de base, sous-ensemble, composants et éléments en plus des relations entre les différentes composantes).
- Identifier les paramètres et les critères d'évaluation (quand le système fonctionne et quand le système ne fonctionne pas).
- Considérer les possibilités de maintenance.
- Modélisation du système.
- Evaluation des performances : mettre le système en opération, observer son comportement et comparer les résultats obtenus avec ceux qui ont été prévus. Faire les recommandations et les corrections au niveau de conception, de la fabrication et de l'implantation.[37]

La Fiabilité de systèmes constitués de plusieurs composants :

4.2. En série

La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des habilités respectives R_1, R_2, R_3, R_n de chaque composant. [35]

$$R_s = R_1 * R_2 * R_3 * \dots * R_n \quad (\text{III.02})$$

Si les n composants sont identiques avec une même fiabilité R , la formule sera la suivante :

$$R_s = R^n \quad (\text{III.03})$$



Figure III.04 : Configuration série

4.3. En parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment. Si, F_i est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée R_i est son complémentaire. [35]

$$- F_i = 1 - R_i \quad (\text{III.04})$$

$$- R_s = 1 - F_s = 1 - \prod_{i=1}^n F_i \quad (\text{III.05})$$

$$- R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (\text{III.06})$$

F_i représentant la fiabilité associée.

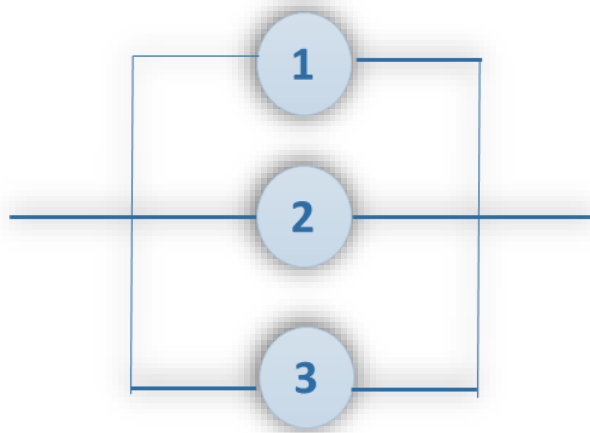


Figure III.05: Configuration parallèle

5. Les indicateurs de fiabilité

5.1. Le taux de défaillance λ

C'est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) ; un produit doit accomplir de manière satisfaisante une Fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné. L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t, noté $\lambda(t)$, défini sur est la suivante

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} + \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (\text{III.07})$$

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances. [38]

$$\lambda = \frac{\text{NOMBRE TOTAL DE LA DEFAILLANCES PANDANT LE SERVIS}}{\text{DUREE TOTAL DE BON FONCTIONNEMENT}} \quad (\text{III.08})$$

Le taux de défaillance λ est défini comme étant l'inverse de temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) [39] :

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (\text{III.09})$$

5.2. MTBF (Mean Time Between Failure)

Est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances.

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{temps de bon fonctionnement entre les (n) pannes}}{\text{nombre des (n) pannes}} \quad (\text{III.10})$$

Mathématiquement le MTBF c'est l'espérance E :

$$\text{MTBF} = E(t) = - \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \lim_{n \rightarrow +\infty} \int_0^x t f(t) dt \quad (\text{III.11})$$

Si λ est constant :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{III.12})$$

5.3. MTTF (Mean Time to Failure)

C'est le temps moyen de fonctionnement jusqu'à l'occurrence de la première défaillance [39]:

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{III.13})$$

D'autres indicateurs de la SDF sont mentionnés sur le tableau N°02

Tableau III.02 : Les indicateurs de SDF [37]

Indice	Description
N	Nombre des pannes.
λ	Taux de défaillance moyen en panne/unité d'usage.il est souvent supposé constant.
MTTF	Moyenne des temps de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance, dont la date d'arrivée est peu significative de la suite.
MTBF	Calculée à partir d'une moyenne statistique d'un échantillon de n durées TBF.
R(t)	Fonction fiabilité. C'est la fiabilité stricte définie comme la probabilité de bon fonctionnement d'un système à l'instant, déterminée comme précédemment a partir d'un modèle probabilité ajusté a un échantillon.
$\lambda (t)$	Fonction taux de défaillance. Déduire de la fonction R(t), c'est un bon indicateur du comportement temporel du système (jeunesse, maturité, vieillesse). En d'autres termes, c'est la vitesse à laquelle les défaillances se produisent.

6. Les lois de probabilité utilisées en fiabilité

On distingue deux types

- Lois discrètes
- Lois continues

6.1. Lois discrètes

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans N c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes.

Parmi les lois discrètes on peut citer :

- Loi Uniforme
- Loi de Bernoulli
- Loi Binomiale
- Loi Binomiale négative
- Loi Géométrique
- Loi Hypergéométrique
- Loi de Poisson [38]

Lois plus usuelles :

6.1.1. Loi binomiale

Si une défaillance a une probabilité (P) de survenir, la probabilité de la voir apparaître k fois en (n) essais est [40] :

$$P(k) = P(x=k) = C_k^n p^k (1-p)^{n-k} \quad (\text{III.14})$$

- $P(x=k)$: Probabilité pour que la défaillance se produise (k) fois
- p: probabilité pour que la défaillance se produise au cours d'un seul essai.
- C_k^n : nombre de combinaisons de (k) défaillances pris parmi (n) essais

Remarques :

- Un dispositif a une probabilité (P) d'être défaillant donc (1-P) d'être au bon fonctionnement.
- Nous sommes en présence d'une loi discrète puisque la variable aléatoire (k) ne peut prendre que des valeurs entières.
- L'espérance mathématique est $= n \cdot p$ (III.15)
- La variance $V(x) = n \cdot p \cdot (1-p)$ (III.16)
- L'écart type $E(x) = \sqrt{n \cdot p \cdot (1-p)}$ (III.17)

6.1.2. Loi de Poisson

Si le nombre moyen d'occurrences dans un intervalle de temps fixé est λ , alors la probabilité qu'il existe exactement k occurrences (k étant un entier naturel, $k = 0, 1, 2, \dots$) est :

$$p(k) = P(x=k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (\text{III.18})$$

- e : est la base de l'exponentielle ($e \approx 2,718\dots$) ;
- k!: est la factorielle de k ;
- λ : est un nombre réel strictement positif.

On dit alors que X suit la loi de Poisson de paramètre λ , noté (λ) Actuellement, on utilise la loi de Poisson beaucoup dans les télécommunications (pour compter le nombre de communications dans un intervalle de temps donné), le contrôle de qualité statistique (nombre de défauts en SPC), la description de certains phénomènes liés à la désintégration radioactive, etc. ... [41]

6.1.3. Loi de Bernoulli

Soit un univers constitué de deux éventualités, S pour succès et E pour échec $=\{E, S\}$ sur lequel on construit une variable aléatoire discrète, « nombre de succès » telle qu'au cours d'une épreuve: [38]

Si (S) est réalisé, $X = 1$

Si (E) est réalisé, $X = 0$

L'expression de la fonction de fiabilité s'écrit :

$$P(X = 0) = q \quad (\text{III.19})$$

$$P(X = 1) = p \quad (\text{III.20})$$

$$(p + q = 1) \quad (\text{III.21})$$

6.2. Les lois continues

- La loi du Khi deux
- La loi de Birnbaum-Saunders
- La loi Gamma
- Loi Inverse Gamma
- La loi logistique
- La loi log-logistique
- La Loi de Cauchy
- La loi de Student
- La loi Bêta
- La loi exponentielle
- La loi de Fisher
- La Loi normal
- La loi Log normale
- La loi de Weibull [38]

Lois plus usuelles :

6.2.1. Loi exponentielle $\exp(\lambda)$

Une loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$ modélise la durée de vie d'un élément sans mémoire, ou sans vieillissement (le fait que l'élément ait duré pendant t unité de temps ne change rien à son espérance de vie à partir du temps t). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à l'apparition d'une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances. [42]

- Fonction de densité : $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, x \geq 0$ (III.22)

- Fonction de répartition : $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ (III.23)

- Fiabilité : $R(x) = e^{-\lambda x}, x \geq 0$ (III.24)

- Taux de défaillance : $\lambda(x) = \lambda$ constant (III.25)

6.2.2. Loi de Weibull $W(\beta; \eta)$

La loi de Weibull est définie par un paramètre de forme $\beta > 0$ et un paramètre d'échelle $\eta > 0$. Elle est souvent utilisée en mécanique pour caractériser le comportement d'un élément dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β :

- Période de jeunesse ($\beta < 1$),
- Période de vie utile ($\beta = 1$),
- Période d'usure ou vieillissement ($\beta > 1$).

- Fonction de répartition : $F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}, x \geq 0$ (III.26)

- Fonction de densité : $f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}, x \geq 0$ (III.27)

- Fiabilité : $R(T) = e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}, x \geq 0$ (III.28)

- Taux de défaillance : $\lambda(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta}\right)^{\beta-1}, x \geq 0$. [42] (III.29)

6.2.3. Loi Gamma $G(\alpha; \beta)$

La loi Gamma est définie par un paramètre de forme $\alpha > 0$ et un paramètre d'échelle $\beta > 0$. Elle est utilisée pour modéliser le temps de défaillance d'un élément.

- Fonction de densité : $f(x) = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}} x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, x \geq 0$ (III.30)

- Taux de défaillance :
$$\lambda(x) = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}} x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \int_x^\infty \Gamma(\alpha) f(t) dt}, x \geq 0 \quad (\text{III.31})$$

Avec :
$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\alpha-1} dt \quad (\text{III.32})$$

La fonction de répartition de la loi gamma n'a pas d'expression explicite, ce qui est de même pour la fiabilité. Si $X \rightarrow G(\alpha = 1 ; \beta = \frac{1}{\lambda})$ alors $X \rightarrow e^{-\lambda x}$ (III.33)

Γ : est la fonction gamma. [42]

6.2.4. Loi log-normale Log N ($\mu ; \sigma^2$)

Une variable aléatoire continue et positive est distribuée selon une loi log-normale si son logarithme est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est utilisée en fiabilité pour modéliser les défaillances par fatigue.

- Fonction de densité :
$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{III.34})$$

- Fiabilité :
$$R(x) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right) \quad (\text{III.35})$$

Où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite. [42]

7. Objectifs et intérêts de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement d'un système. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants informatiques, etc. [35]

8. Approche de la fiabilité par les probabilités

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée.

- **Probabilité** : c'est le rapport entre le nombre des cas favorables divisé par le nombre des cas possibles

- **Fonction requise** : ou accomplir une mission ou rendre le service attendu. La définition de la fonction requise implique un seuil d'admissibilité en dessus duquel la fonction n'est plus remplie.
- **Conditions d'utilisation** : définition des conditions d'usage, c'est à dire l'environnement et ses variations, les contraintes mécaniques, chimiques, physiques, etc. Il est évident que le même matériel placé dans deux contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.
- **Période de temps** : définition de la durée de mission.[37]

9. La relation entre la fiabilité et la maintenance

Tous les équipements d'une installation industrielle sont soumis à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement. Face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratiquer une maintenance corrective, mais on n'évite pas ainsi les conséquences des pannes que l'on subit. Une attitude plus défensive consiste à mettre en œuvre une maintenance préventive destinée à limiter, voire à empêcher, ces défaillances, mais on court alors le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles. Devant cette situation, le responsable de maintenance ne doit plus se contenter de surveiller et de réparer, il doit envisager des stratégies. Une part de son travail consiste à prévoir les événements et à évaluer les différentes alternatives qui s'offrent à lui pour trouver la solution optimale, ou tout au moins pour s'en rapprocher. Les forces dont il dispose, limitées par ses moyens techniques et financiers, doivent être placées aux bons endroits. C'est dans ce contexte que la maintenance s'est dotée de méthodes qui considèrent à la fois, et plus ou moins, la technique et l'organisation. Les industries de processus en général appliquent des démarches alliant une évaluation des risques, une analyse du retour d'expérience, et une logique de sélection de tâches de maintenance.

La figure présente la construction des défiants types de maintenance en ce qui concerne la fonction de la fiabilité ($R(t)$) et la durée de vie utile de l'équipement.

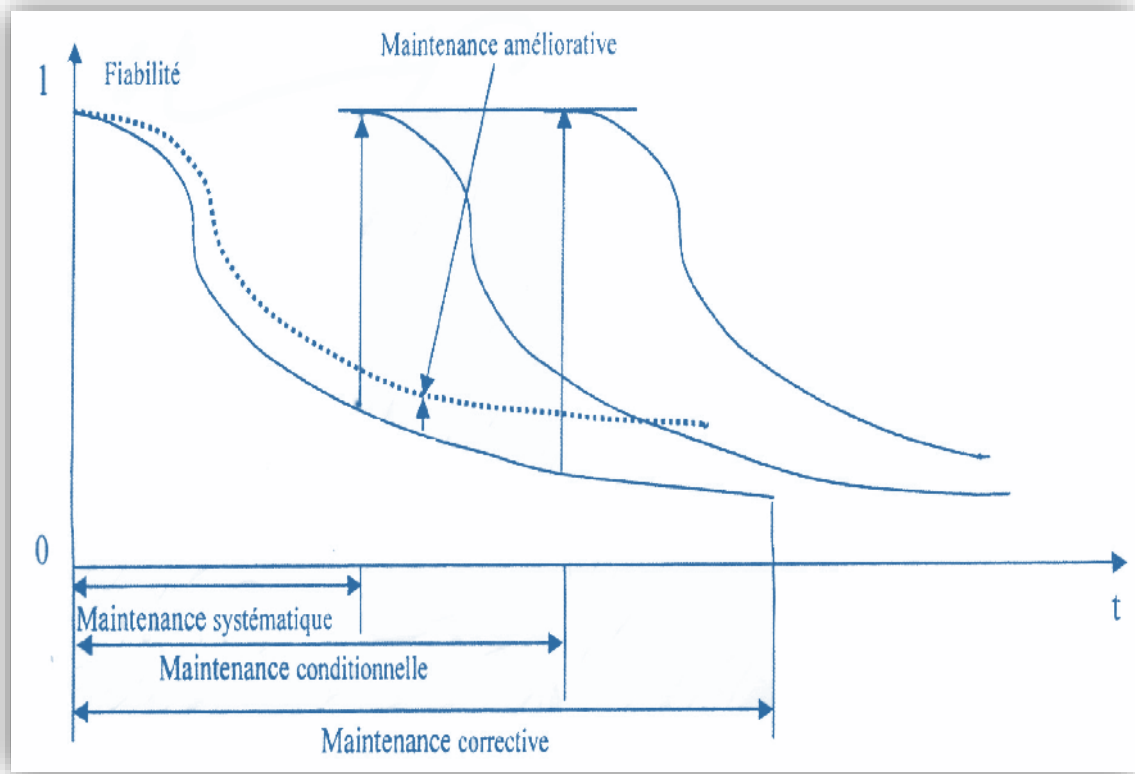


Figure III.06: L'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements. [37]

10. Conclusion

Nous avons vu que la fiabilité est une caractéristique essentielle des systèmes techniques, qui se mesure en termes de probabilité de défaillance ou de temps moyen entre défaillances. Nous avons également vu que la fiabilité peut être affectée par de nombreux facteurs, tels que la conception, la fabrication, l'utilisation, la maintenance, l'environnement et les conditions de fonctionnement.

CHAPITER IV
ETUDE DE CAS
(CHARGEUSE, CAMION
ET BULL)

1. Historique

Les mines de l'Ouenza et de Boukhadra ont commencé leur activité respectivement en 1921 et 1925. Durant l'époque coloniale, la production de ces mines était destinée exclusivement à l'exportation jusqu'à l'indépendance de l'Algérie, voire jusqu'à 1967 avec une moyenne de 03 millions de tonnes de minerai de fer exporté à destination de l'Europe, de l'Asie et l'Amérique. Depuis 1967, date de la nationalisation des mines, ces dernières ont été confiées à la SONAREM (Société nationale de recherche et d'exploitation minières). Jusqu'en 1983, date de la restructuration de la SONAREM, il y a eu création de plusieurs filiales par spécialité, dont FERPHOS, chargée de l'exploitation des mines de fer et de phosphate. En 2001, dans le cadre d'un partenariat, ces deux mines ont été cédées au partenaire ISPAT du groupe L.N.M (Lakshmi Niwas Mittal), qui les a exploitées pendant une quinzaine d'années. Le départ de ce partenaire en 2016 a donné lieu à la création de MFE SPA (Groupe MANAL SPA). [44]

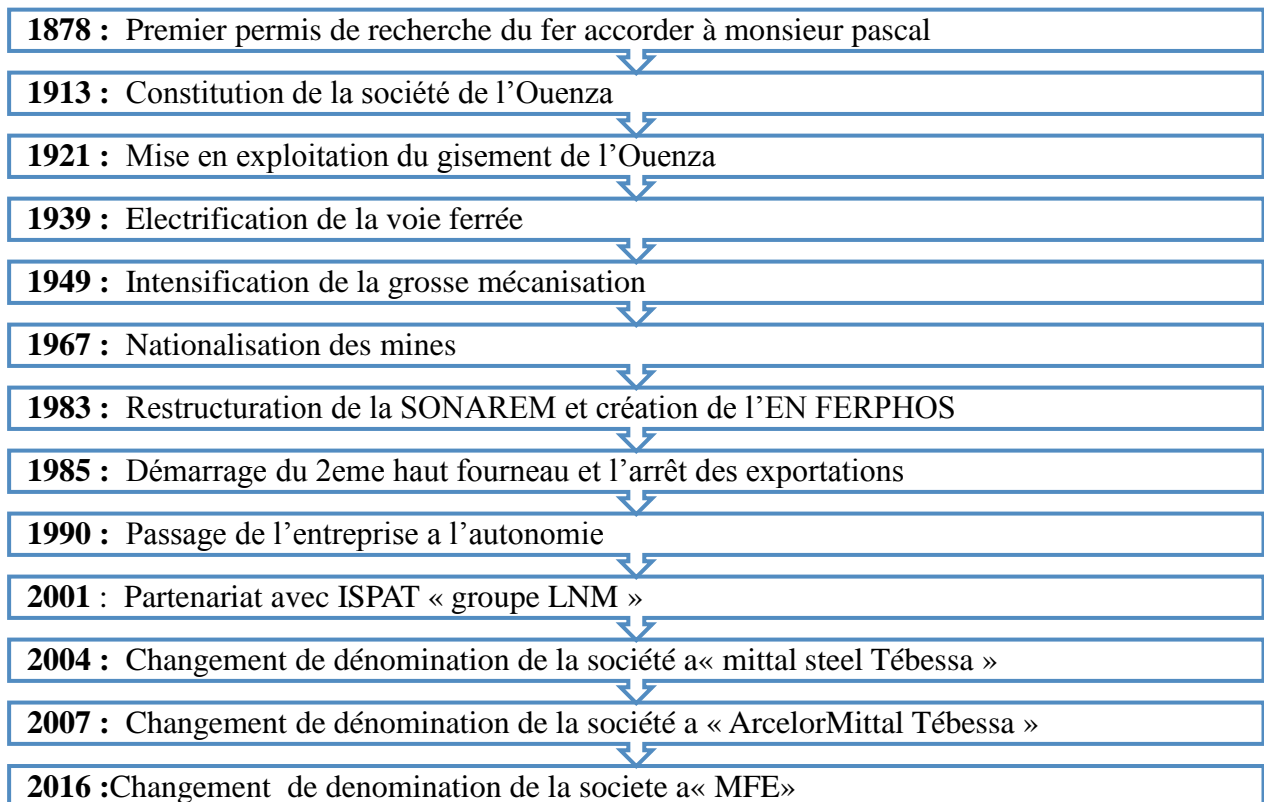


Figure IV.01 : Historique de la mine

2. Présentation de MANAL SPA

Le groupe MANAL est une Spa créée en février 2011 et dotée d'un capital social de 5 milliards de dinars. Spécialisé dans le domaine de la Recherche, Exploration, Développement, Exploitation du domaine minier et la commercialisation de produits miniers, le groupe se compose de (09) entités :

- Société des mines de phosphate (SOMIPHOS) ;
- Société des mines de Fer (SOMIFER) ;
- Société des mines de Fer de l'est (MFE) ;
- Entreprise nationale de sel (ENASEL) ;
- Entreprise nationale de l'OR (ENOR) ;
- Entreprise nationale des granulats (ENG) ;
- Entreprise nationale de marbre (ENAMARBRE) ;
- Office nationale de recherches géologiques et minières (ORGM) ;
- Entreprise nationale des produits miniers non-ferreux (ENOF).[45]

3. La mine de l'Ouenza

3.1. Situation Géographique

Le gisement de Ouenza est situé à l'extrême nord-est de l'Algérie à proximité de la frontière algéro-tunisienne ; à 120 KM sud-est du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (Annaba) auquel il est relié par une ligne de chemin de fer et à 75 Km du chef-lieu de la Wilaya de Tébessa. (Fig.02) [46]



Figure IV.02 : Carte de localisation de la wilaya de Tébessa [46]

3.2. Nature du gisement

Il est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie, il fut découvert en 1878, son exploitation remonte à 1921.

Le réseau hydrographique est peu abondant en ressources aquifères, les principaux cours d'eau sont : Oued-Mellague et Oued El-Ksab dont les débits sont irréguliers et varient selon la saison et la quantité de précipitation (pluviométrie).

La couverture végétale est pauvre et représentée essentiellement par des petites forêts de pins d'Alep. A ce titre, la population de la région vit généralement de l'activité minière et de l'élevage d'ovins et de caprins.

Le gisement de l'Ouenza est encaissé dans le calcaire aptiens. L'allure principale du gîte correspond à un alignement minéralisé qui débute un peu plus au nord est du pic (cote 1235), s'étend sur une longueur de 5 Km dont l'exploitation a engendré sa division en plusieurs quartiers du nord est vers le sud-ouest : Douamis, Hallatif, Conglomérats, St Barbe, et les deux chagoura Nord et Sud de la grande structure anticlinale avec le quartier Zerga.

Au-dessus du niveau hydrostatique, l'oxydation des carbonates au contact de l'air a donné naissance à l'hématite au-dessous, le minerai sous forme de sidérite (carbonate de fer).[47]

3.3. Procédure de travail

D'après les tournées et visites effectuées au niveau de la mine de l'Ouenza, la procédure d'exploitation appliquée dans cette mine comprend plusieurs étapes à savoir :

- Extraction de niveau de fer à ciel ouvert par la foration et l'abattage à l'explosif ;
- Chargement par pelles et chargeuses sur camions ;
- Alimentation des stations de concassage par camions ;
- Criblage et concassage ;
- Reprise sous concasseurs et acheminés vers le dépôt de stockage par convoyeur à Bande ;
- Expédition du niveau de fer par voies ferrées (train) vers le complexe d'El-Hadjar.

[47]

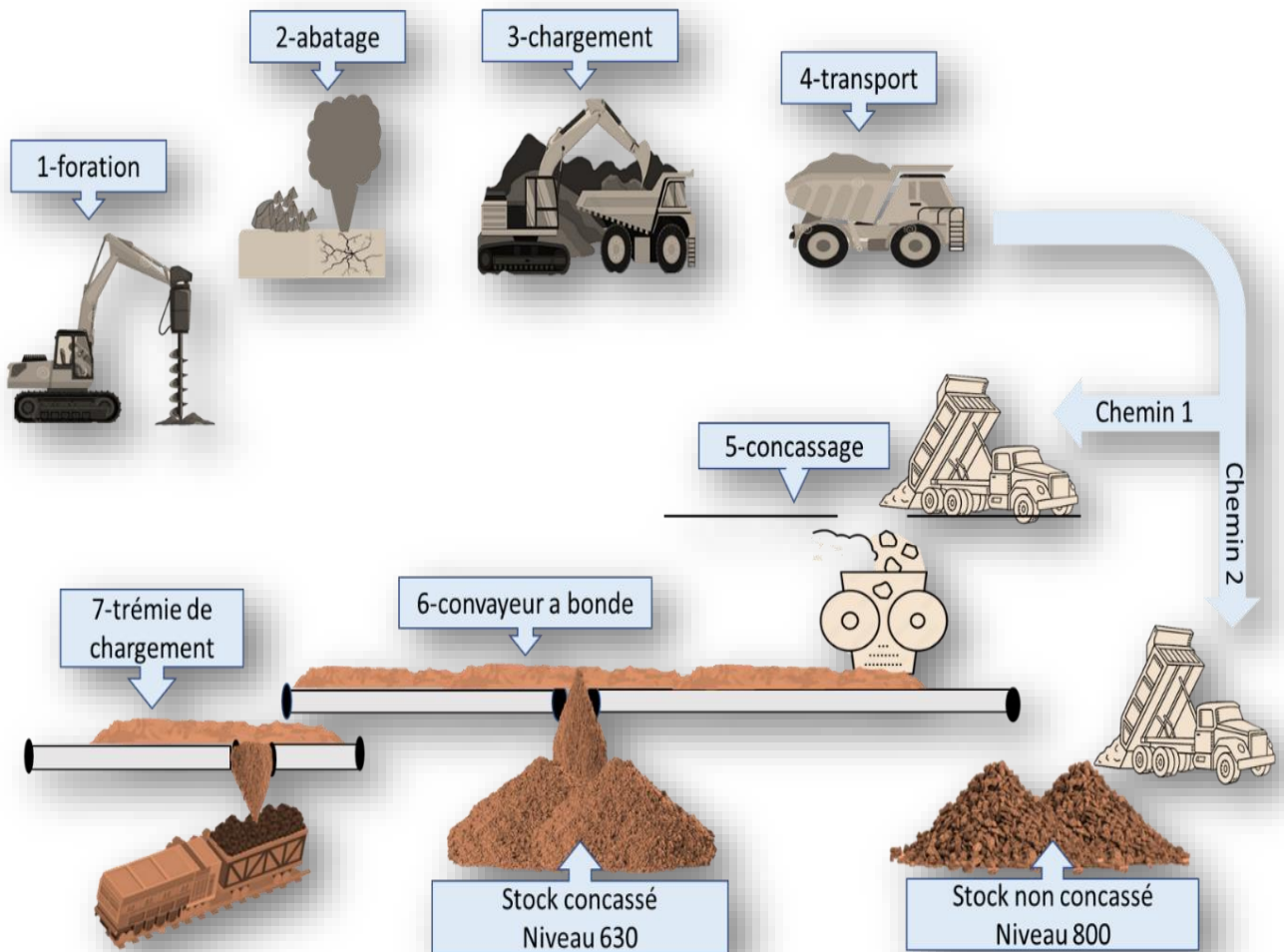


Figure IV.03 : Procédure d'exploitation

4. Structure de maintenance au sein de la mine de l'Ouenza

La Division Maintenance est organisée de la manière suivante :

A sa tête hiérarchique un Chef de Division Maintenance qui est sous l'autorité directe du directeur de la mine, qui dirige et coordonne avec trois chefs des départements dont :

- Le département matériel roulant.
- Le département logistique.
- Le département Entretien chaine.

4.1. Le Département Maintenance

Est organisé de la manière suivante :

A sa tête hiérarchique un chef de département qui est sous l'autorité directe du chef de division maintenance, qui dirige et coordonne avec des responsables de services qui sont :

- Le chef de service entretien matériel roulant.
- Le chef de service entretien engins de chantiers extérieurs.
- Le chef de service MRO/routier.
- Le chef de service électrique.

4.2. Le Département Logistique

Est organisé de la manière suivante :

A sa tête hiérarchique un chef de département qui est sous l'autorité directe du chef de division maintenance, qui dirige et coordonne avec des responsables de services qui sont :

- Le chef de service Bureau de Méthodes.
- Le chef de service Ateliers centraux.
- Le chef de service Rénovation châssis.
- Le chef de service Magasin et Gestion des Stocks

4.3. Le Département Entretien chaîne

Est organisé de la manière suivante :

A sa tête hiérarchique un chef de département qui est sous l'autorité directe du chef de division maintenance, qui dirige et coordonne avec des Responsables de services qui sont :

- Le chef de service Entretien concasseur 803.
- Le chef de service Entretien concasseur 660.
- Le chef de service Entretien trémie de chargement.

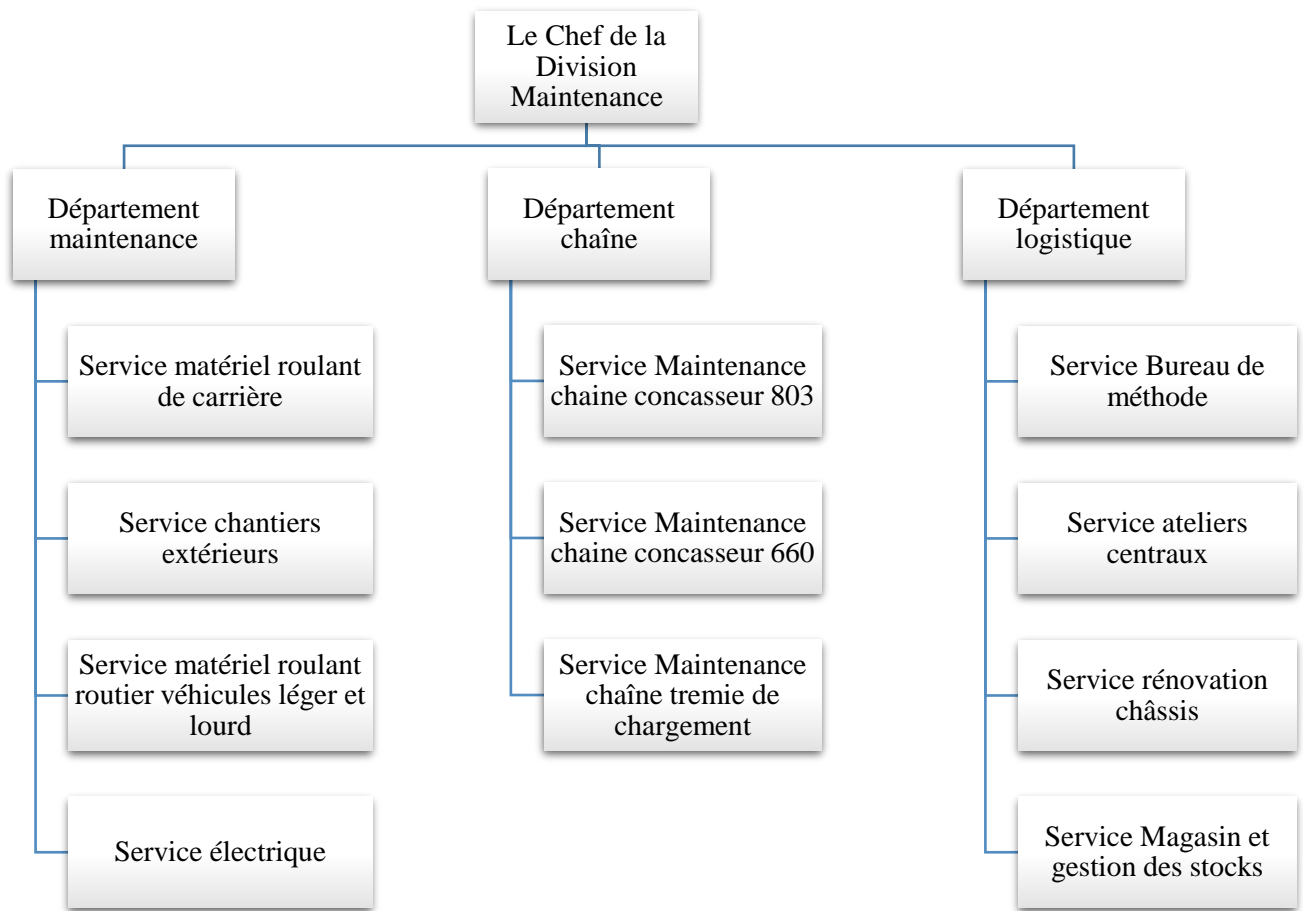


Figure IV.04 : Organisation de la division maintenance

Dans le cadre de notre étude on focalise notre recherche sur le département maintenance comme suit :

❖ **Département Maintenance**

- **Mission :** Cette structure a pour missions :
 - L'entretien.
 - La réparation.
 - Maintien d'une disponibilité requise des équipements de carrière de soutien, et des installations de concassage.

- **Relations hiérarchiques :** Le chef de département est placé sous l'autorité directe du chef de division maintenance de la mine. Cette structure est composée de quatre grands services :
 - Service matériel roulant MRO/carrière.
 - Service engins chantiers extérieurs.
 - Service MRO/ routier.
 - Service électrique.

5. Parc /Carrière

Tableau IV.01 : Les engins disponibles au niveau la mine d'Ouenza [47]

Engin	Nombre
Camions de carrière	14
Chargeuse	3
Bull	6
Niveleuse	4
Pelles de rechargement	5
Sondeuses d'abattage	4

6. Conclusion

Cette partie sur la présentation générale de l'entreprise fournit une description complète, de ses activités, de son organisation et de son environnement. Il fournit des informations sur l'historique de l'entreprise, sa mission, ses valeurs, ses produits et services, sa structure organisationnelle. La présentation générale de l'entreprise est utile pour les parties prenantes qui cherchent à comprendre l'organisation et son fonctionnement.

7. Etude théorique et statistique

7.1. Chargeuse

La Chargeuse sur pneus 990 Cat a fait ses preuves dans les mines, les carrières et les sites industriels du monde entier. La Chargeuse sur pneus 990K redéfinit les niveaux de performances, de sécurité, de confort du conducteur et d'efficacité. [48]



Figure IV.05: Chargeuse Caterpillar 990K

Il existe deux chargeuses sur pneus opérationnelles au niveau de la mine de Ouenza

Dans notre étude nous avons choisi la chargeuse 990K/ N°07 ont été faite avec l'assistance du bureau des méthodes de l'entreprise, l'historique de pannes de cet équipement est représenté dans le tableau N°02

Tableau IV.02 : Historiques des pannes chargeuse 990K/ N°07

Historique des pannes								
Engin	ANNEES	Heure. Marche	Heure. D'arrêt	Nombre Panne	NATURE DE PANNE			
					MEC	ELC	HYD	Autres
Cat Chargeuse N°=07	2018	5274.5	565,5	3	275	0	80	210,5
	2019	5309	1148,5	7	0	50	381	717,5
	2020	5222.5	1186,5	18	0	80	455	651,5
	2021	2897	4733	23	2400	5	1200	1128
	2022	6154.5	2475,5	32	1055	0	400	1020,5
	2023 /2mois	1012.5	403,5	4	0	10	180	213,5
Totale	5 années et 2 mois	25870	10512, 5	87	3730	145	2696	3941,5

NB : Nous avons constaté que la Mine de Ouenza a pris en charge d'autres natures de pannes que nous avons cités dans le tableau ci-dessus, à titre indicatif, dans la colonne autre et qui représente les pannes pneumatiques, convertisseur, châssis, ...etc.

7.1.1. Etude d'heure d'arrêt par nature de panne

En se basant sur les heures d'arrêt et la nature de pannes de chargeuse 990K/ N°07 de production durant les 06 dernières années, le présent graphe a été tracé

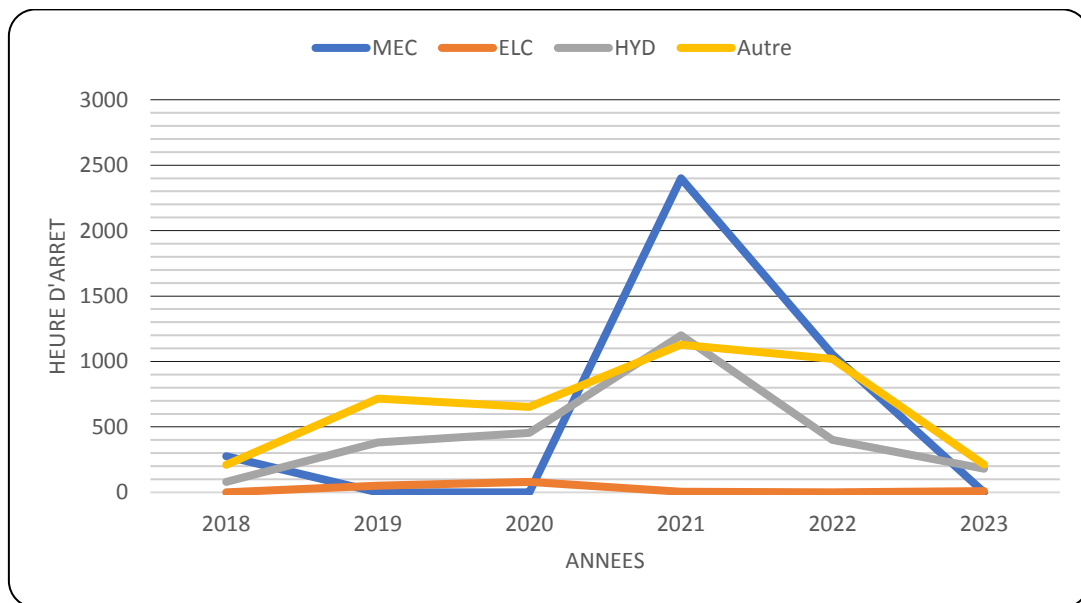


Figure IV.06 : Evolution du temps d'arrêt de chargeuse 990K/ N°07

❖ **Analyse**

Le graphe (fig.06) représente les heures d'arrêts et la nature des pannes de la chargeuse 990K/ N°07 pendant 6 ans. D'après le graphe, on constate :

- Les pannes mécaniques ont été la principale cause d'arrêt en 2018, avec 275 heures d'arrêt. Cependant, cette catégorie a diminué considérablement pendant les années (2019,2020) puis les heures d'arrêt croissent jusqu' à 2400 heure pour l'année 2021 et 1055 heures pour l'année 2022 atteignant un niveau presque nul après sept années.
- Les pannes électriques ont montré une augmentation régulière jusqu'en 2020, atteignant un pic de 80 heures d'arrêt. Par la suite, elles ont diminué pour atteindre 10 heures d'arrêt en 2023.
- Les pannes hydrauliques ont été relativement stables au cours des années, avec une légère diminution de 2019 à 2020, puis une augmentation jusqu'en 2021. Elles ont ensuite diminué en 2022 et 2023.
- Les autres pannes, ont montré une fluctuation générale avec une augmentation significative en 2019 et une diminution en 2020. Elles ont atteint un pic de 1128heures d'arrêt en 2021 avant de diminuer à nouveau.

7.1.2. Etude du nombre des pannes par nature

En se basant sur le nombre et la nature de panne de chargeuse 990K/ N°07 de production durant les 06 dernières années, le présent graphe a été tracé

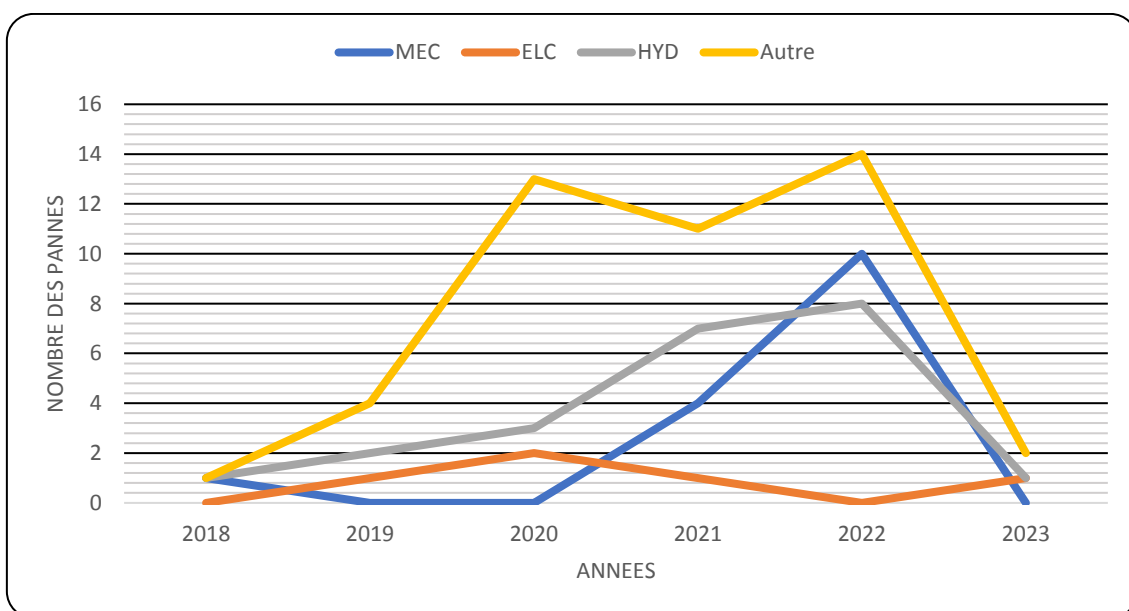


Figure IV.07 : Evolution du nombre de panne de chargeuse 990K/ N°07

❖ Analyse

Le graphe (fig.07) représente les heures d'arrêts et la nature des pannes de la chargeuse 990K/ N°07 pendant les 6 ans. D'après le graphe, on constate que :

- Les pannes mécaniques ont montré une augmentation progressive jusqu'en 2022, atteignant un sommet de 10 pannes cette année, puis elles ont diminué à zéro en 2023.
- Les pannes électriques ont connu des fluctuations d'une année à l'autre, avec une faible augmentation de 2018 à 2020 (4 pannes), puis une diminution en 2021 et 2023 (2 pannes).
- Les pannes hydrauliques ont également montré des fluctuations, avec une augmentation générale jusqu'en 2022, atteignant un sommet de 8 pannes cette année-là, puis une légère diminution en 2023.
- Les autres pannes ont augmenté de manière significative d'année en année, atteignant un pic en 2022 avec 14 pannes, puis elles ont diminué légèrement en 2023.

7.2. Camion carrière

Le camion 775G de Cat, disposant d'une réputation solide et éprouvée dans le secteur des carrières et de la manutention des granulats, a été conçu en utilisant les technologies de commande de pointe, de façon virtuelle et sur site, afin de s'assurer que le tombereau de chantier est prêt à accomplir ses tâches. [48]



Figure IV.08 : Camion Caterpillar 775G

Il existe 12 camions de carrière opérationnelle au niveau de la mine d'Ouenza.

Pour faire notre étude nous avons choisi le CAMION 775G / N°1328. Comme deuxième engin.

Tableau IV.03 : Historique de pannes CAMION 775G / N°1328

ENGIN	ANNEES	HEURE MARCH	HEURE D'ARRET	NOMBRE PANNES	NATURE DE PANNE			
					MEC	ELC	HYD	Autres
CAT CAMION 775G 1328	2018	5049	790,5	5	450	0	91	249,5
	2019	4385,5	220,5	7	155	0	35	30,5
	2020	5419,5	1068	24	700	10	120	238
	2021	6660	1251	24	710	0	155	386
	2022	6820	1698	27	900	0	118	680
	2023/ 2mois	733,5	682,5	7	400	0	0	282,5
Totale		29067,5	5710,5	94	3315	10	519	1866,5

7.2.1. Etude d'heure d'arrêt par nature de panne

En se basant sur les heures d'arrêt et la nature de pannes de CAMION 775G / N°1328 de production durant les 06 dernières années, nous avons élaboré le graphe suivant

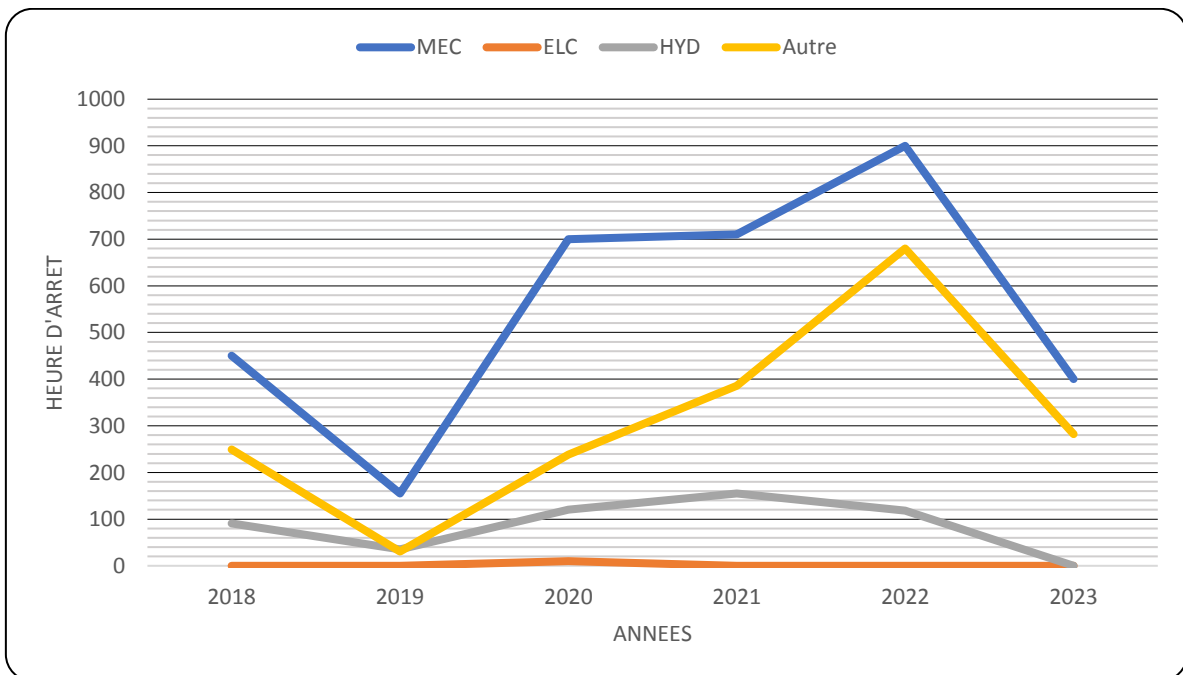


Figure IV.09 : Evolution du temps d'arrêt de CAMION 775G / N°1328

❖ **Analyse**

Selon ce graphe (fig.09) on constate :

- Les heures d'arrêt pour les pannes mécaniques ont augmenté de manière générale de 2018 à 2022, atteignant un pic en 2022 avec 900 heures d'arrêt, puis ont diminué en 2023.
- Les pannes électriques ont montré des valeurs relativement faibles et stables au cours de toutes les années, à l'exception de 10 heures d'arrêt en 2020.
- Les heures d'arrêt pour les pannes hydrauliques ont connu des fluctuations d'une année à l'autre, atteignant un maximum en 2021 avec 155 heures d'arrêt.
- Les autres pannes ont montré une augmentation significative de 2018 à 2022, atteignant un sommet en 2022 avec 680 heures d'arrêt, puis ont diminué en 2023

7.2.2. Etude nombre des pannes par nature

En se basant sur le nombre et la nature de pannes de CAMION 775G / N°1328 de production pendant les 06 dernières années, le présent graphe a été tracer

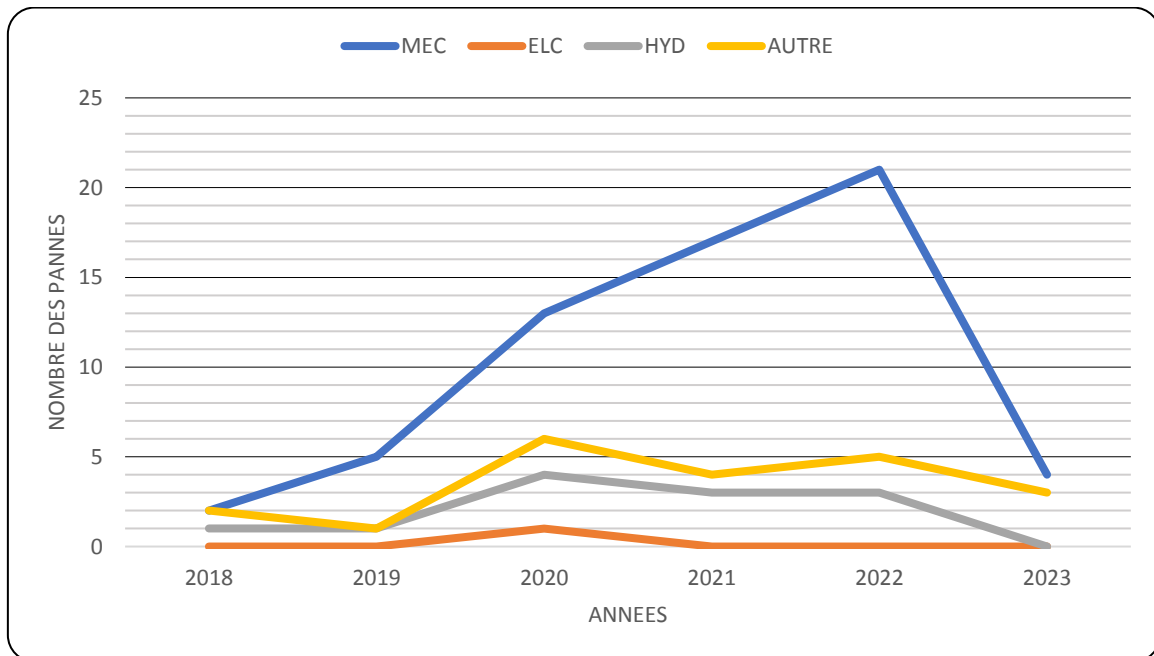


Figure IV.10 : Evolution du nombre de panne de CAMION 775G / N°1328

❖ Analyse

Le graphe (fig.10) représente le nombre des pannes par nature de CAMION 775G /N°1328 pendant 6 ans. D'après le graphe, on constate que

- Les pannes mécaniques ont montré une tendance générale à la hausse, atteignant un sommet en 2022 avec 21 pannes, puis diminuant légèrement en 2023.
- Les pannes électriques ont été relativement stables avec peu ou pas de pannes signalées dans toutes les années, à l'exception d'une panne en 2020 avec une seule panne.
- Les pannes hydrauliques ont montré une certaine variabilité d'une année à l'autre, avec une légère augmentation en 2020(4 pannes) et une diminution progressive par la suite.
- Les autres pannes ont également montré une certaine variabilité de 1 à 6 pannes, avec une augmentation en 2020, une diminution en 2021, puis une augmentation à nouveau en 2022 et une diminution en 2023

7.3. Bull dozer

Le bulldozer Cat D10T2 est le mélange parfait de puissance, de confort et de polyvalence, avec des fonctionnalités de pointe qui offrent des performances optimales et une productivité élevée. Il est suffisamment flexible pour être utilisé sur des chantiers de construction lourds et suffisamment robuste pour être utilisé sur des sites miniers. [48]



Figure IV.11 : Bull dozer Caterpillar D10T2

Il existe quatre Bull dozer opérationnelles au niveau de la mine d'Ouenza

Dans notre étude nous avons choisi Bull dozer d10T2/ N°14

Tableau IV.04: historique de pannes Bull dozer d10T2/ N°14

Engins	ANNEES	Heure Marche	Heure D'arrêt	Nombre Panne	NATURE DE PANNE			
					MEC	ELC	HYD	Autre
Bull dozer D10T2/14	2018	5366	484	4	54	0	155	275
	2019	5353,5	590,5	6	30	12	70	478,5
	2020	4674	1519	12	0	20	600	899
	2021	4989,5	820	7	212	0	277	331
	2022	3887,5	1952,5	13	1000	44	70	838,5
	2023/2mois	728,5	215,5	2	0	0	0	215,5
Totale		24999	5581,5	44	1296	76	1172	3037,5

7.3.1. Etude d'heure d'arrêt par nature de panne

En se basant sur les heures d'arrêt et la nature de pannes de Bull dozer d10T2/ N°14 de production durant les 06 dernières années, le présent graphe a été tracé.

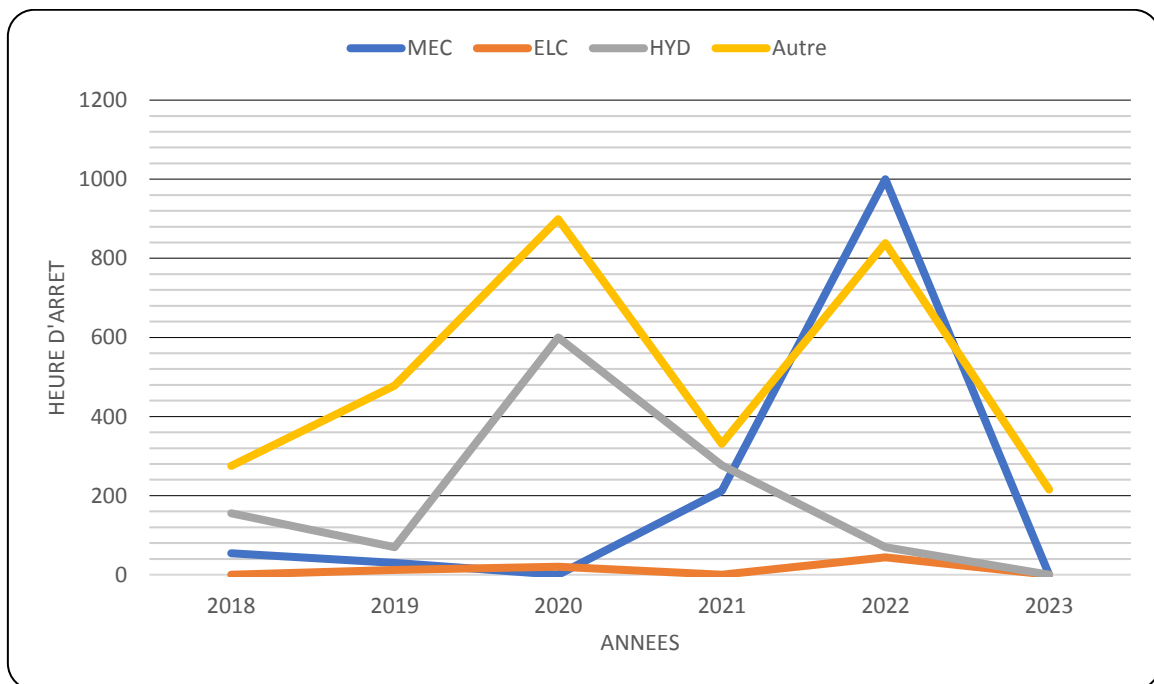


Figure IV.12 : Evolution du temps d'arrêt de Bull dozer d10T2/ N°14

❖ **Analyse**

Le graphe (fig.12) représente les heure d’arrêts et la nature des pannes de Bull dozer d10T2/ N°14 pendant 6 ans. D’après le graphe, en constate que

- Les heures d'arrêt pour les pannes mécaniques ont montré une certaine variabilité d'une année à l'autre, avec des valeurs relativement faibles dans la plupart des années. L’engin atteint le pic en 2022.
- Les heures d'arrêt pour les pannes électriques ont montré une augmentation des nombres d’heures quantifier a 12 en 2019, à 20 heures en 2020 puis atteint 44 heures en 2022.
- Les heures d'arrêt pour les pannes hydrauliques ont connu une augmentation significative en 2020 (600 heures), puis ont montré une diminution.
- Les heures d'arrêt pour les autres pannes ont atteint un sommet en 2020 (899 heures), puis ont montré une diminution en 2021 (331 heures) et 2023(215.5heures).

7.3.2. Etude nombre et nature des pannes

En se basant sur le nombre et la nature de pannes de Bull dozer d10T2/ N°14 de production pendant les 06 dernières années, le présent graphe a été tracé

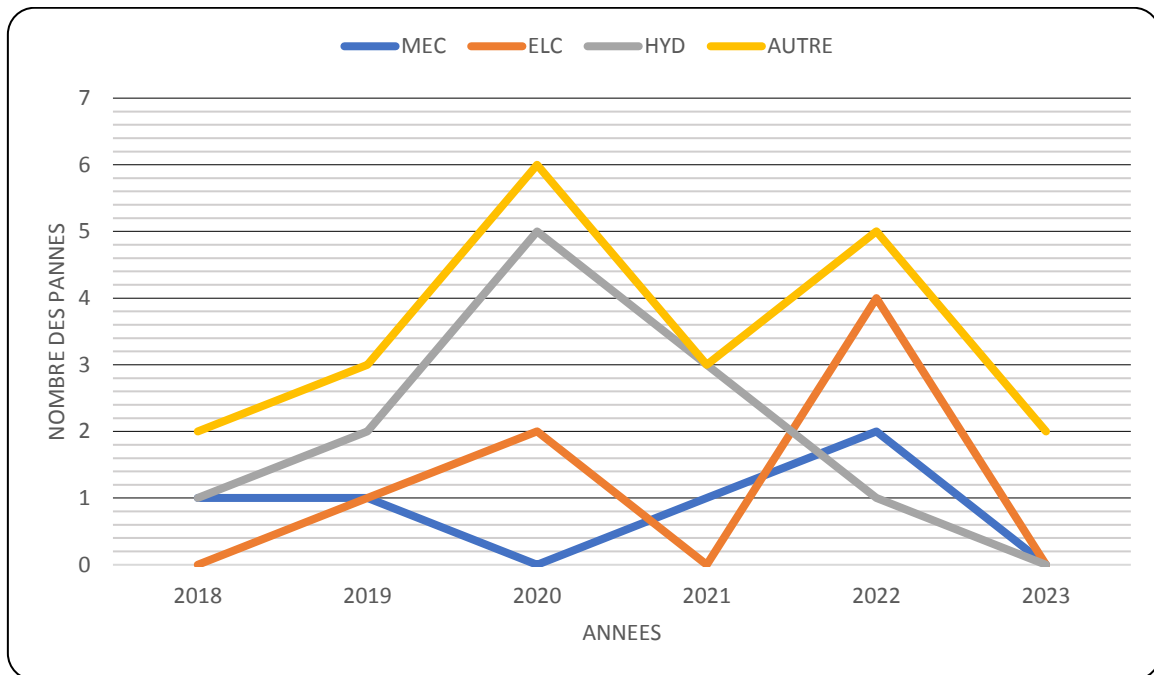


Figure IV.13 : Evolution du nombre de panne de Bull dozer d10T2/ N°14

❖ Analyse

Le graphe (fig.13) représente les nombres des pannes et la nature des pannes de Bull dozer d10T2/ N°14 Pendant 6 ans. D'après le graphe, on constate que :

- Les pannes mécaniques ont montré une certaine stabilité au fil des années, avec des valeurs relativement constantes, à l'exception d'une légère augmentation en 2022(2 pannes).
- Les pannes électriques ont également montré une stabilité globale, avec quelques fluctuations d'une année à l'autre.
- Les pannes hydrauliques ont augmenté progressivement de 2018 à 2022(5 pannes), puis ont dénués en 2023.
- Les autres pannes ont montré une variabilité d'une année à l'autre sans tendance claire.

8. Ensemble des trois engins

En se basant sur les heures d'arrêt et la nature des pannes des trois engins de production ensemble durant les 06 dernières années, le présent tableau a été réalisé (tableau N°05)

Tableau IV. 05 : Etude d'heures d'arrêt par nature de trois engins ensemble

Engin	MEC	ELC	HYD	Autre
Chargeuse	3730	145	2696	3941,5
Camion	3315	10	519	1866,5
Bull	1296	76	1172	3037,5
Totale	8341	231	4387	8845,5

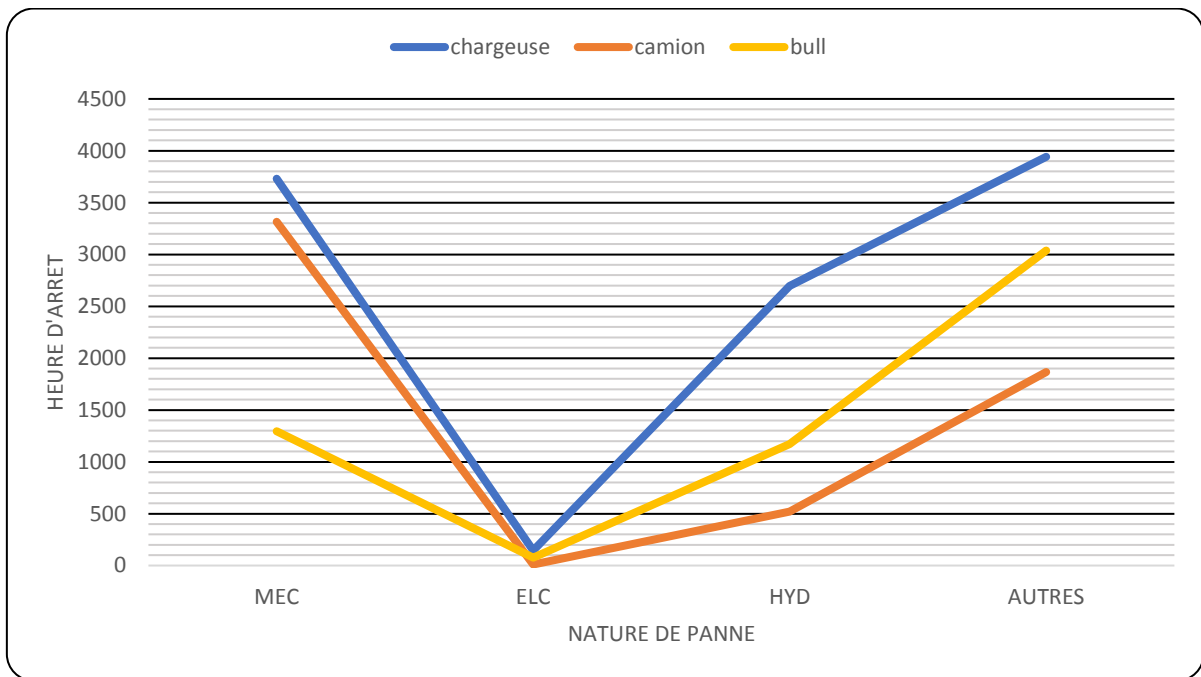


Figure IV.14 : Heures d'arrêt par nature des trois engins ensemble

❖ Analyse

Le graphe (fig.14) représente les heures d'arrêts et la nature des pannes des trois engins ensemble pendant les 6 ans. D'après ce dernier, on constate que :

- Les heures d'arrêt causés par les pannes mécanique sont plus élevées pour la chargeuse que le camion et le bull. On se met en évidence que le camion carrière est sujette à des problèmes mécaniques nécessitant un intérêt minutieux
- En ce qui concerne les arrêts dus à des problèmes électriques, le bull enregistre le nombre le plus élevé d'heures d'arrêt avec 76 heures, tandis que la chargeuse et le camion ne comptent que 145 heures et 10 heures respectivement. Cela indique que le bull est plus susceptible d'avoir des problèmes électriques par rapport aux autres engins.
- Pour les arrêts liés aux problèmes hydrauliques, la chargeuse enregistre le chiffre le plus élevé avec 2 696 heures, suivie par le bull avec 1172 heures et le camion avec 519 heures. Cela montre que la chargeuse et le bull rencontrent davantage de problèmes hydrauliques que le camion.
- En ce qui concerne les heures d'arrêt attribuées à d'autres raisons, la chargeuse enregistre le chiffre le plus élevé avec 3 941,5 heures, suivie par le bull avec 3 037,5 heures et le camion avec 1 866,5 heures. Ces chiffres indiquent qu'il y a une part importante d'heures d'arrêt pour des raisons non spécifiées, ce qui peut nécessiter une analyse plus approfondie pour identifier les causes exactes.
- Globalement, le total des heures d'arrêt pour les trois engins combinés est le plus élevé pour les problèmes non spécifiés, suivis par les problèmes mécaniques, hydrauliques et électriques. Cela souligne l'importance de surveiller et de comprendre les raisons des arrêts pour chaque type d'engin afin de mettre en place des mesures correctives appropriées et d'améliorer la disponibilité opérationnelle

En se basant sur le nombre et la nature de pannes de trois engins de production pendant les 06 dernières années, le présent tableau a été réalisé (tableau N°06)

Tableau IV.06 : Etude nombre par nature de panne de trois engins ensemble

Engin	MEC	ELC	HYD	Autre
Chargeuse	15	5	22	45
Camion	62	1	12	21
Bull	5	7	12	21
Totale	82	13	46	87

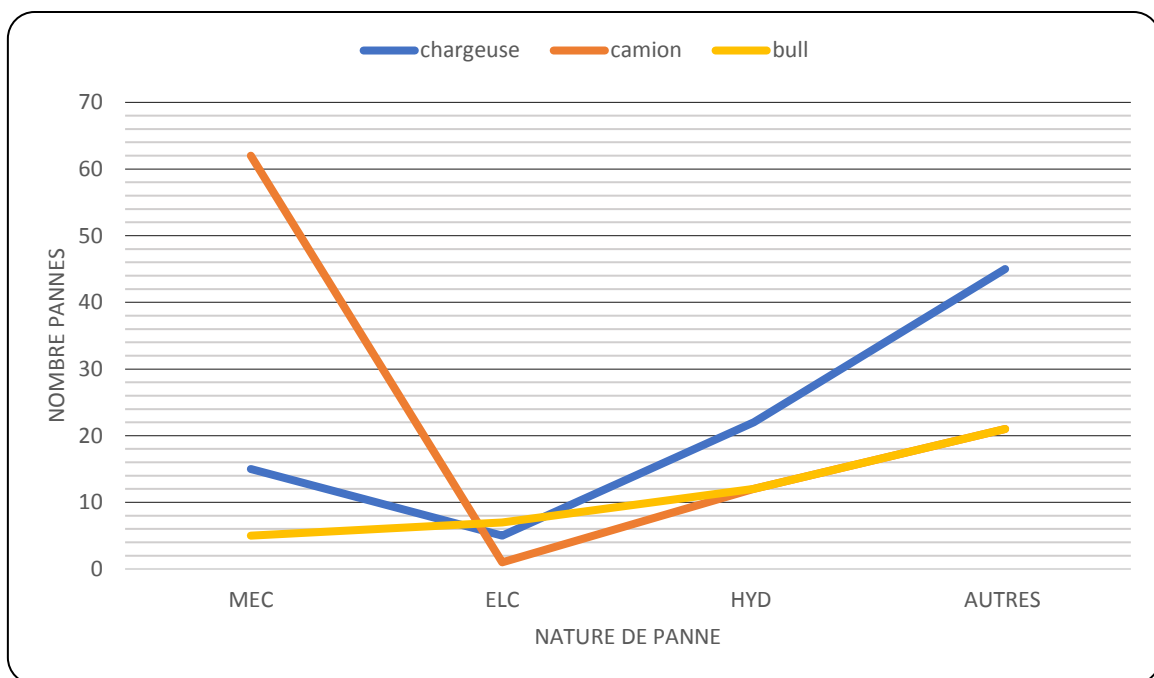


Figure IV.15 : Nombre par nature de pannes de trois engins ensemble

❖ **Analyse**

Le graphe (fig.15) représente le nombre et la nature des pannes de trois engins ensemble pendant 6 ans. D'après le graphe, on constate que :

- Les pannes mécaniques sont plus fréquentes pour le camion, avec un total de 62 pannes, suivi de la chargeuse avec 15 pannes et du bull avec 5 pannes. Cela signifie que le camion est plus sujet aux pannes mécaniques que les autres engins.
- En ce qui concerne les pannes électriques, le bull enregistre le nombre le plus élevé avec 7 pannes, suivi de la chargeuse avec 5 pannes et du camion avec seulement 1

panne. Cela indique que le bull est plus susceptible d'avoir des pannes électriques par rapport aux autres engins.

- Les pannes hydrauliques sont plus fréquentes pour la chargeuse, avec un total de 22 pannes, suivie du bull avec 12 pannes et du camion avec 12 pannes. Cela montre que la chargeuse e rencontrent davantage de pannes hydrauliques que le camion. et le bull.
- En ce qui concerne les pannes non spécifiées, la chargeuse enregistre le chiffre le plus élevé avec 45 pannes, suivie du camion avec 21 pannes et du bull chacun. Ces chiffres indiquent qu'il y a une part importante de pannes non spécifiées, nécessitant une analyse plus approfondie pour identifier les causes exactes.
- Globalement, le total des pannes pour les trois engins combinés est le plus élevé pour les pannes mécaniques, suivies des pannes hydrauliques et électriques.

9. Application de la loi de Pareto (loi des 20-80)

A partir des heures d'arrêt de l'ensemble des engins de production durant les 06 dernières années, on a réalisé le tableau suivant (tableau N°07)

Tableau IV.07 : Statistique d'heures d'arrêt de l'ensemble des engins

NATURE Pannes	Heure D'arrêt	Classement	Heure D'arrêt	Heure D'arrêt%	% ECD	Classement ABC
MEC	7211	AUTRE	8845,5	40,19%	40,19%	A
ELEC	231	MEC	7211	32,77%	72,96%	A
HYD	5717	HYD	5717	25,98%	98,94%	B
AUTRE	8845,5	ELEC	231	1,04%	99,98%	C

En se basant sur ce qui précède, le présent graphe a été obtenu

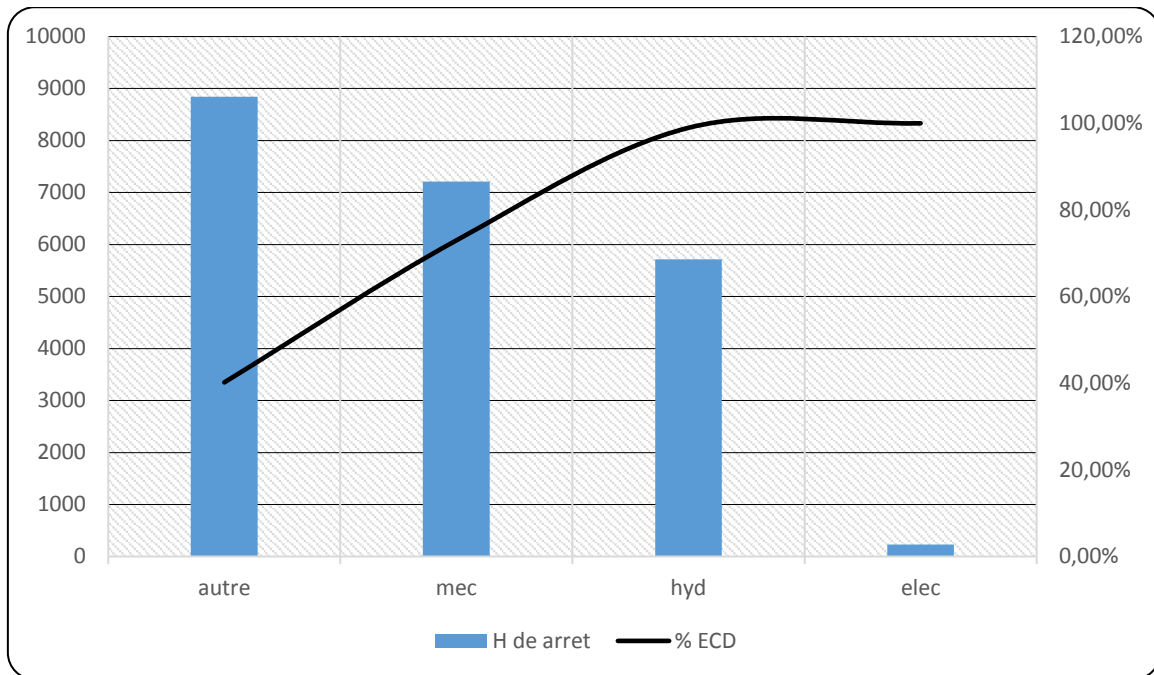


Figure IV.16 : Diagramme de Pareto des engins (heures d'arrêt)

❖ **Analyse**

En consultant le diagramme de Pareto (courbe ABC) (fig.16) on voit clairement que les pannes mécaniques dominent avec un de pourcentage 32.77% ce qui nécessite intérêt minutieux. Puis vient la panne hydraulique avec 25.98%. Enfin se classent les pannes électriques avec 1.04% classe C, nécessitant des interventions de moindre importance.

Pour le 2-ème indice, c'est à dire, le nombre de pannes de l'ensemble des engins de production durant les 06 dernières années, on a réalisé le tableau suivant (tableau N°08)

Tableau IV.08 : Statistique nombre de panne d'ensemble des engins pendant 06 ans

Nature de Pannes	Nombre De pannes	Classement	Nombre de pannes	N. P %	% ECD	Classement ABC
MEC	82	AUTRE	87	36,86%	36,86%	A
ELEC	13	MEC	82	34,75%	71,61%	A
HYD	54	HYD	44	22,88%	94,49%	B
AUTRE	87	ELC	13	5,51%	100,00%	C

En se basant sur ce qui précède, le présent graphe a été tracé

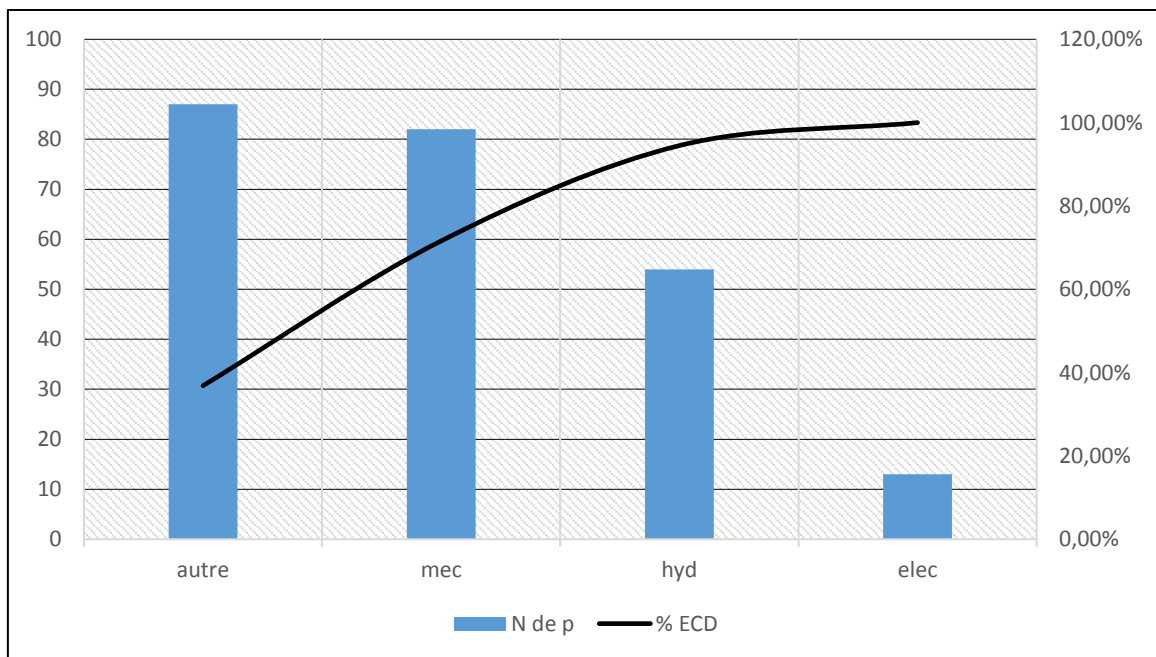


Figure IV.17 : Diagramme de Pareto des engins (nombre des pannes)

❖ **Analyse**

L'analyse du diagramme de Pareto (courbe ABC) (fig.17) révèle une prédominance des pannes mécaniques, représentant 34.75% de l'ensemble, ce qui nécessite une attention particulière. Ensuite, viennent les pannes hydrauliques avec 22.28%. Les pannes électriques, quant à elles, représentent seulement 5.51% du total, ce qui nécessite des interventions de moindre importance.

❖ Analyse générale

D'après les analyses fournies, il semble que les catégories "AUTRES" et "MEC" soient les plus problématiques en termes de temps d'arrêt et de nombre de pannes. La catégorie "ELCT" est la moins problématique, tandis que la catégorie "HYD" se situe entre les deux en termes d'importance.

La catégorie "AUTRES" regroupe une variété de types de pannes, ce qui contribue à une augmentation du temps d'arrêt et du nombre de pannes. Cette diversité de pannes rend leur résolution plus complexe, car elles nécessitent souvent des connaissances spécialisées et des interventions spécifiques.

10. Application Ishikawa

Cependant, les pannes mécaniques se distinguent comme étant les plus importantes parmi les catégories analysées. Elles représentent une part significative des pannes d'importance élevée, tant en termes de temps d'arrêt que de nombre de pannes. Les pannes mécaniques peuvent avoir des conséquences graves sur les opérations, entraînant des temps d'arrêt prolongés et des coûts de réparation élevés.

Dans le contexte des pannes mécaniques, l'utilisation du diagramme d'Ishikawa permet de décomposer les causes en différentes catégories, à savoir la main-d'œuvre, la méthode, le matériel, le milieu et la matière. En identifiant ces causes (5M), les organisations peuvent prendre des mesures correctives appropriées pour minimiser les pannes, améliorer la performance des équipements et augmenter la productivité.

Dans les prochaines étapes, nous allons réaliser ce diagramme déterminer les causes des pannes mécaniques, en répartissant leurs causes dans (5M). Cela nous permettra d'analyser en détail les causes contribuant aux pannes et de développer des solutions ciblées pour chaque catégorie

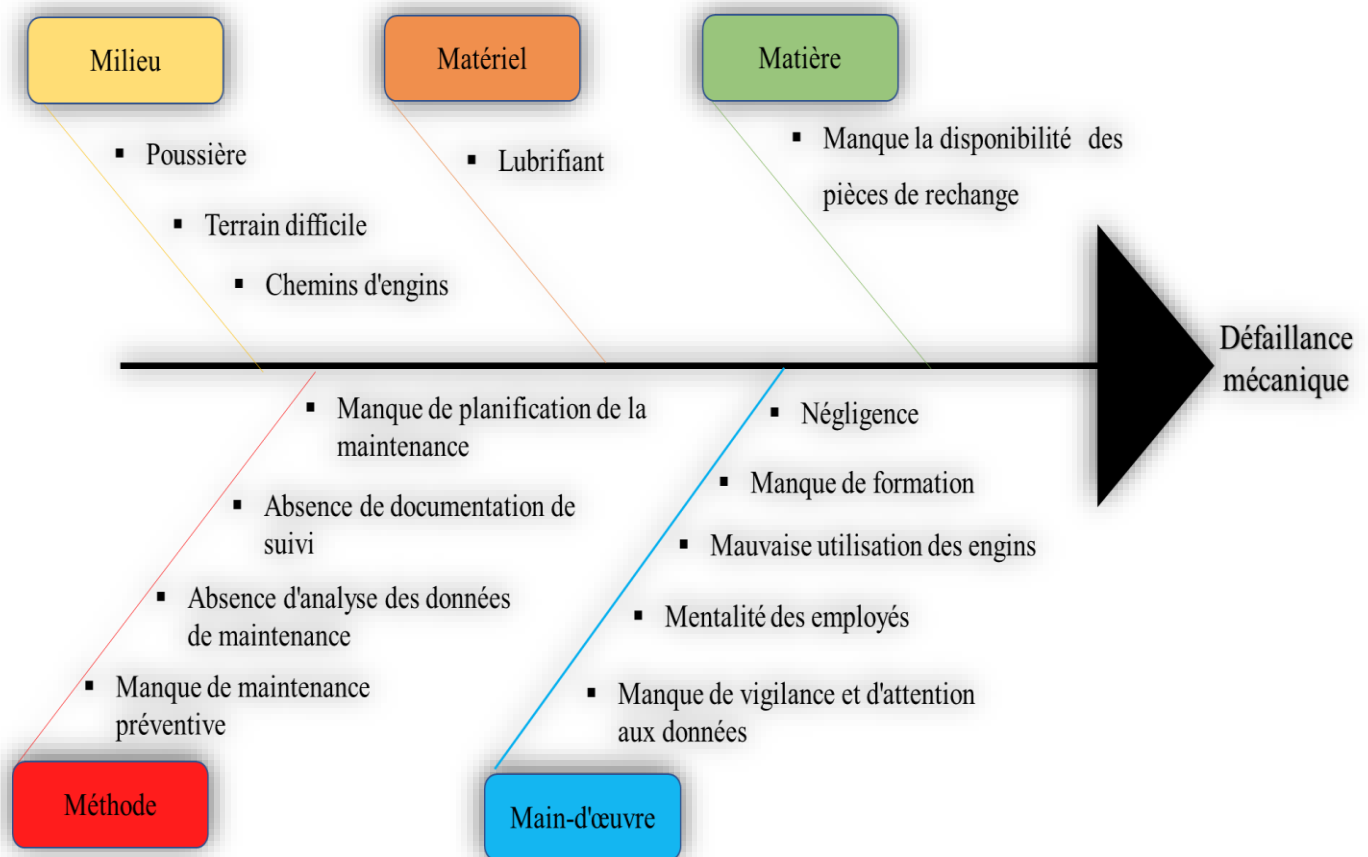


Figure IV.18 : Diagramme d'Ishikawa (pannes mécanique)

- **Main-d'œuvre**

Cette catégorie des causes est la plus considérable avec un taux estimé à 50% d'effets.

- Mentalité des employés : attitude conscience professionnelle du point de vue et engagement qualité et sécurité.
- Manque de formation : absence de connaissances et compétences nécessaires.
- Mauvaise utilisation des engins : manipulation incorrecte, surcharge, non-respect des spécifications.
- Négligence : manque d'attention ou de soin lors de la manipulation des équipements.
- Manque de vigilance et d'attention aux données : absence de suivi régulier des données de performance, de signaux d'alerte et de maintenance préventive.

- **Méthode**

La catégorie méthode agit avec un taux de 40%

- Manque de planification de la maintenance : absence de calendrier et de procédures de maintenance.
- Absence de documentation de suivi : manque de suivi de l'historique des équipements et d'informations sur les réparations effectuées.
- Absence d'analyse des données de maintenance : non-utilisation des données pour identifier les problèmes récurrents et les opportunités d'amélioration.
- Manque de maintenance préventive : absence de programmes réguliers de maintenance préventive.

- **Matérielle**

Pour ce type de cause, on l'a quantifié à 2% d'effet

- Lubrifiant : utilisation d'un lubrifiant inadéquat ou manque de lubrification adéquate.

- **Milieu**

Cette catégorie des causes contribue à un taux estimé à 5% d'effets.

- Poussière : accumulation de poussière de dans les équipements.
- Terrain difficile : utilisation dans des environnements exigeants avec des sols instables,
- Chemins d'engins : conduite sur des routes cahoteuses, présence d'obstacles ou de trous.

- **Matière**

Manque la disponibilité des pièces de rechange : Lorsqu'une pièce défectueuse doit être remplacée, il est essentiel d'avoir des pièces de rechange disponibles. S'ils ne sont pas disponibles en temps voulu, cela peut entraîner des temps d'arrêt prolongés, et ceci a été quantifié à 3%

11. Application la loi de Weibull

Tableau IV.09 : Les paramètres de Weibull de trois engins pendant 6 ans

Année		β	η	γ	MTBF	Fiabilité
Chargeuse	2018	4.3	3400	0	3094.578	0.513
	2019				5309	1
	2020				5222.5	1
	2021	2.6	660	0	586.21	0.479
	2022	1.8	620	0	551.359	0.445
	2023				1012.5	1
Camion carrière	2018	1.4	1900	0	1731.698	0.415
	2019	1	850	0	850	0.367
	2020	1.1	170	0	164.0347	0.382
	2021	1	200	0	200	0.367
	2022	0.95	190	0	194.4479	0.359
	2023	1.9	95	0	84.2992	0.450
Bull dozer	2018	1.5	3300	0	2979.075	0.424
	2019	3.55	3100	0	2791.335	0.502
	2020				4674	1
	2021	2	3100	0	2747.313	0.455
	2022	2.2	1550	0	1372.71	0.465
	2023				728.5	1

Les paramètres de Weibull

β : Paramètre de forme

η : Paramètre de l'échelle

γ : Paramètre de position

➤ Exemple pour la chargeuse en 2018

2018		
order i	TBF	Fi
1	1643	0,291
2	3631,5	0,708

Vu le nombre d'échantillons $N \leq 20$

On applique la loi du rang médian pour connaître la probabilité de l'ordre :

$$F_i = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

Donc :

$$F_i = \frac{1 - 0.3}{2 + 0.4} = 0.291$$

En se basant aux données précédentes on a réalisé la courbe suivante (fig.19)

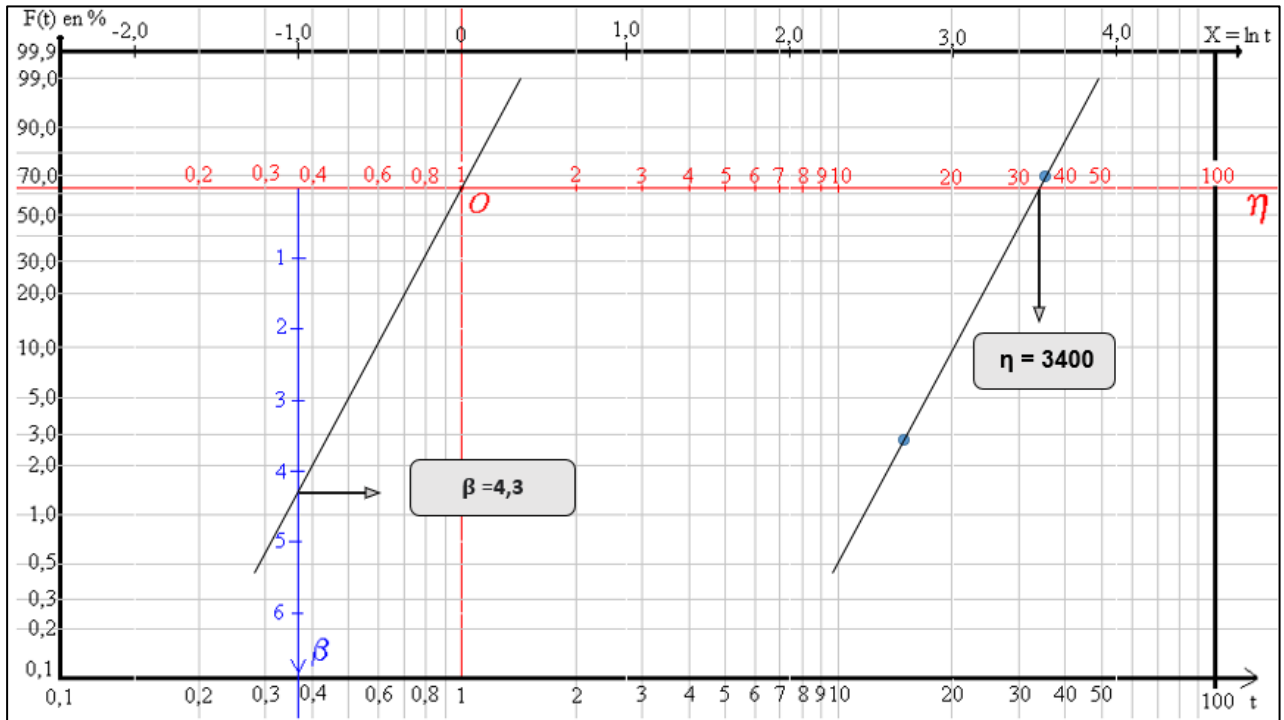


Figure IV.19 : Application la loi de Weibull (chargeuse)

➤ Exemple pour le camion carrière en 2018

2018		
Ordre i	TBF	F _i
1	718	0,205
2	1651	0,5
3	2680	0,794

Vu le nombre d'échantillons $N \leq 20$

On applique la loi du rang médian pour connaître la probabilité de l'ordre :

$$F_i = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

Donc :

$$F_i = \frac{1 - 0.3}{3 + 0.4} = 0.205$$

En se basant aux données précédentes on a réalisé la courbe suivante (fig.20)

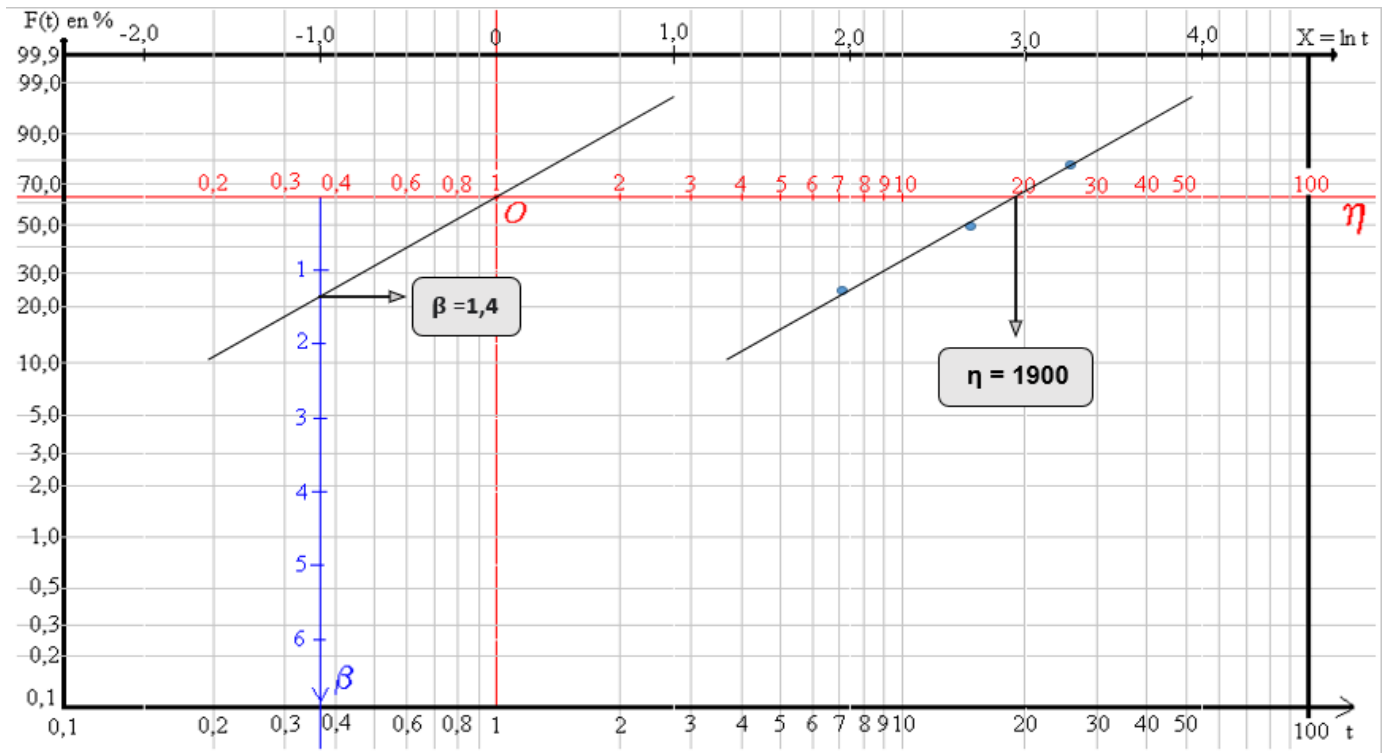


Figure IV.20: Application la loi de Weibull (camion)

➤ Exemple pour le Bull dozer en 2018

2018		
Order i	TBF	Fi
1	1626	0,291
2	3740	0,708

Vu le nombre d'échantillons $N \leq 20$

On applique la loi du rang médian pour connaître la probabilité de l'ordre :

$$F_i = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

Donc :

$$F_i = \frac{1 - 0.3}{2 + 0.4} = 0.291$$

En se basant aux données précédentes on a réalisé la courbe suivante (fig.21)

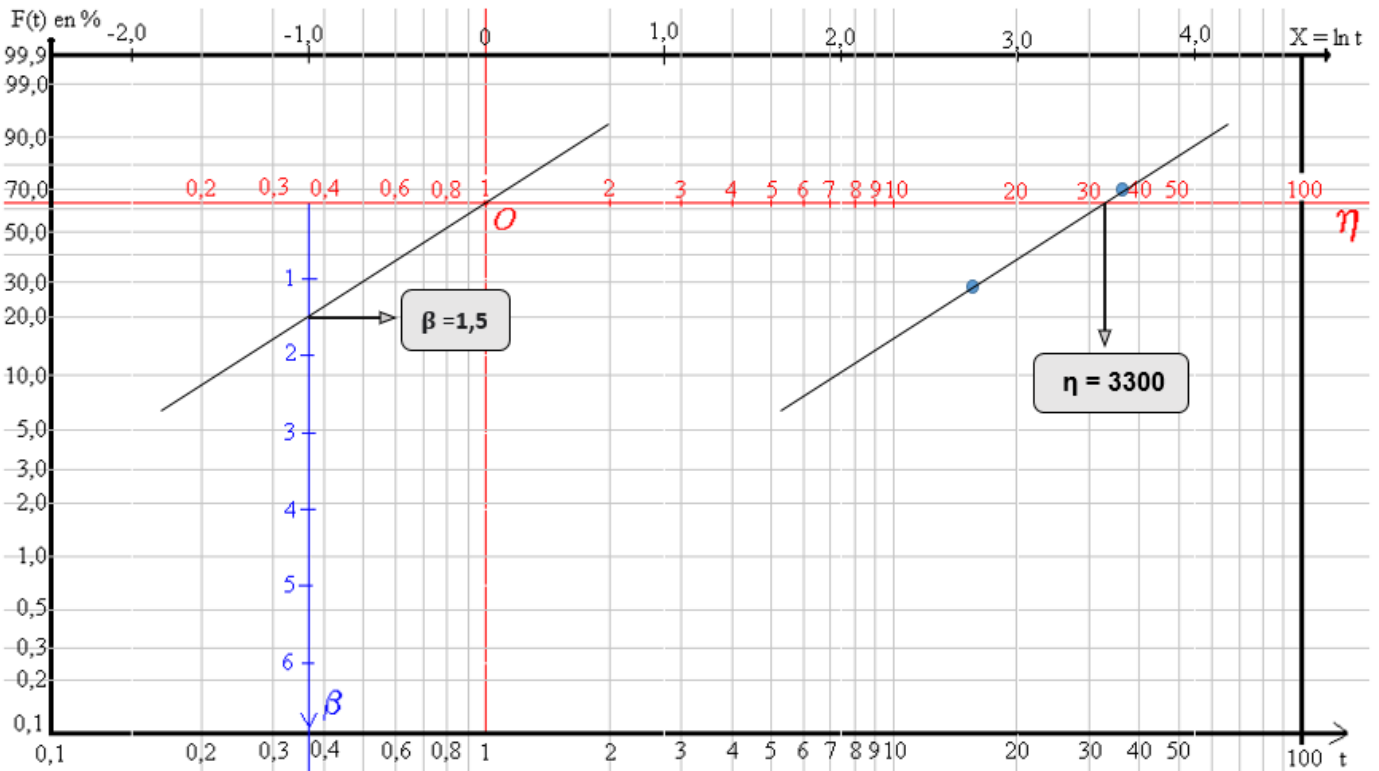


Figure IV.21 : Application la loi de Weibull (bull dozer)

D'après les graphes on détermine les paramètres de Weibull (Paramètre de forme β , Paramètre de l'échelle, Paramètre de position, MTBF T)

Remarque :

MTBF = A * N (A : valeur sur le tableau de Weibull)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-Y}{\eta}\right)^\beta}$$

Tableau IV.10 : La fiabilité de trois engins pendant 6 ans

Années	Chargeuse	Camion carrière	Bull dozer
2018	51.3%	41.5%	42.4%
2019	100%	36.7%	50.2%
2020	100%	38.2%	100%
2021	47.9%	36.7%	45.5%
2022	44.5%	35.9%	46.5%
2023	100%	45%	100%

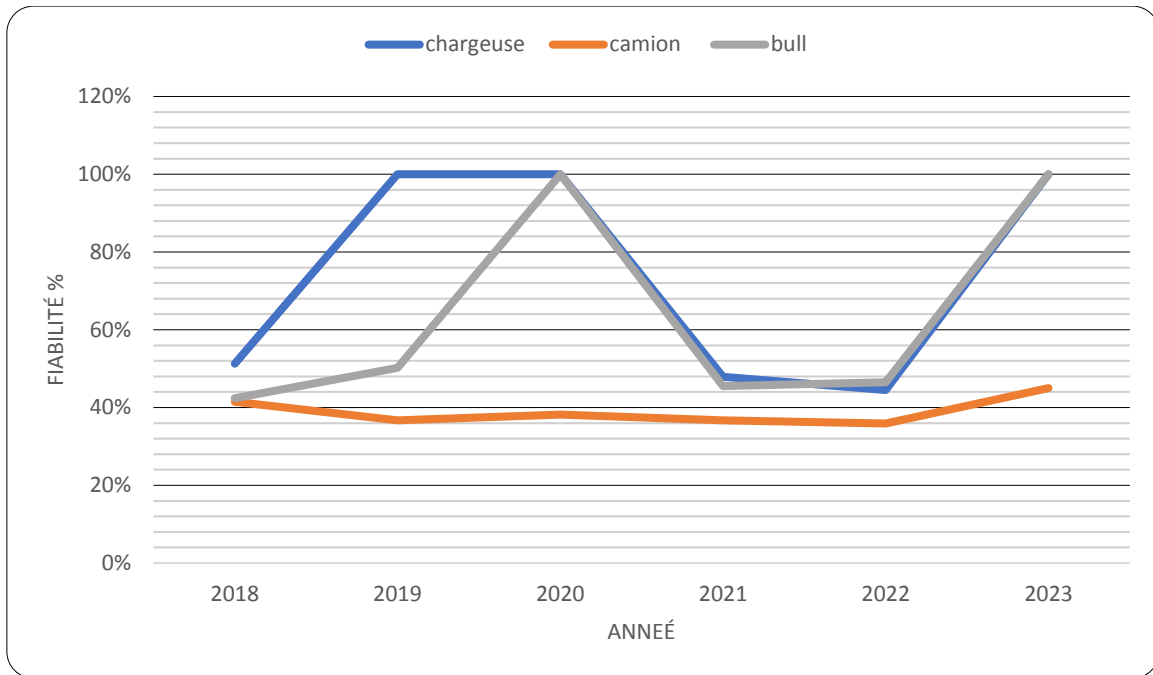


Figure IV.22 : Diagramme de la fiabilité des trois engins pendant 6 ans

❖ **Analyse**

D'après le graphique (fig.22) On note que la fiabilité de la chargeuse est estimée 53,1% en 2018, puis il connaît une augmentation pour atteindre 1 cas idéal de fiabilité en 2019 et 2020, ceci s'explique par un nombre nul en panne mécanique pour notre machine et le totale des pannes dans ce cas réside dans les autres catégories de panne (électrique, hydraulique et autres) puis il commence à décroître pour atteindre 47,9% en 2021, puis 44,5% en 2022.

On constate que la fiabilité du camion est 41.5 % en 2018, ensuite il diminuera a 36.7 % en 2019 pour devenir presque constant au cours des années restantes.

On note que la fiabilité du bulldozer en 2018 est estimée à 42,4%, puis elle remonte pour atteindre 50,2% au cours de 2019, puis remonte jusqu'à un pic pour atteindre 100% au cours de 2020, puis redescend à environ 46% au cours de 2021 et 2022.

12. Les actions préventives et correctives à prendre

Après avoir fait cette étude, nous recommandons quelques actions préventives et correctives nécessaires pour remédier aux différents problèmes rencontrés sur les trois machines, ainsi nous réduisons au maximum les défaillances que nous pouvons maîtriser ce qui se répercutent directement sur les couts de maintenance pour les diminuer et accroitre ainsi la fiabilité et la disponibilité des différents équipements étudiés à savoir la chargeuse, le bull et le camion. L'objectif final de cette étude est d'optimiser la maintenance de ces machines par la fiabilité.

Les actions à entreprendre pour les trois machines sont représentées sur le tableau N°11

Tableau IV.11 : Actions à entreprendre sur les trois machines

Les pannes mécanique		
Engin	Les causes	Solutions
Camion Carrière	Difficulté à gérer les machine modernes et Mauvaise compréhension d'engin	<ul style="list-style-type: none"> - Actualisation des connaissances - Formation interne et externe - Collaboration avec des experts
	Surutilisation ou mauvaise utilisation	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluation des compétences - Planification de la charge de travail - Formation conducteur
	Priorité d'atteinte des objectifs de la production au détriment de la maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborer un plan de maintenance dans l'entreprise et l'imposer - Donner suffisamment de temps aux personnels de maintenance pour préparer les machines
	Technique des réparations et d'intervention archaïque	<ul style="list-style-type: none"> - Adoption des technologie moderne - Evaluation des résultats - Documentation et suivi des performances - Communication et partage des connaissances - Encouragement de la culture de la maintenance préventive - Moyen d'intervention adéquat
Chargeuse	Manque pièce de rechange	<ul style="list-style-type: none"> - Planification et gestion des stocks de pièces de rechange - Planification de la demande - Analyse la fiabilité des pièces
	Dégradation de Système lubrification et refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des lubrifiant de qualité - Surveillance des températures - Nettoyage et détartrage - Inspection visuelle
	Négligence des employé	<ul style="list-style-type: none"> - Supervision et sensibilisation - Application de la réglementation
Bull dozer	La poussière fine	<ul style="list-style-type: none"> - L'arrosage - Nettoyage

13. Recommandations

A fin de ce travail, nous recommandons les points suivants :

- ✓ Élaborer un plan de maintenance en adéquation avec la mine
- ✓ Mettez des travailleurs comptants sur l'application de plan maintenance
- ✓ L'utilisation des types de maintenance nécessaires est conforme à la condition appropriée
- ✓ Organiser des formations spécialisées aux normes internationales ou nationales
- ✓ Organisation de la gestion des stocks
- ✓ Intégration de méthodes modernes et mise a la disposition d outil nécessaire
- ✓ Reconsidérer la politique de l'entreprise qui insiste sur la productivité au détriment de la maintenance
- ✓ Sensibilisé et motivé les employés pour qu'il soit rentable



**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion générale

A la fin de cette étude nous avons tiré les points suivants :

À travers une analyse approfondie et une synthèse des recherches existantes, cette mémoire met en évidence l'importance de la fiabilité dans les processus de maintenance et propose des méthodes et des outils pour l'optimisation de ces processus.

La conclusion générale de cette mémoire souligne les points clés suivants :

L'optimisation de la maintenance par fiabilité est une approche prometteuse pour améliorer la performance du système en assurant leur fonctionnement fiable, efficace et rentable. En adoptant des méthodes basées sur la fiabilité, en utilisant des techniques d'analyse avancées et en favorisant la collaboration entre les acteurs, il est possible de maximiser les avantages de cette approche et d'ouvrir la voie à une gestion plus efficace et plus proactive de la maintenance. En identifiant et en éliminant les défaillances potentielles, les stratégies de maintenance basées sur la fiabilité permettent de réduire les temps d'arrêt imprévus, les coûts de réparation et les risques pour la sécurité.

Les méthodes de maintenance traditionnelles, telles que la maintenance préventive basée sur les intervalles de temps, présentent des limitations en termes d'efficacité et de rentabilité. La transition vers des approches basées sur la fiabilité, telles que la maintenance prédictive et la maintenance conditionnelle, permet de mieux prendre en compte l'état réel des équipements et d'optimiser les activités de maintenance en fonction des besoins réels.

L'utilisation de techniques avancées d'analyse des données, telles que l'apprentissage automatique et l'analyse prédictive, est essentielle pour exploiter pleinement les avantages de la maintenance par fiabilité. Ces techniques permettent de recueillir, d'analyser et d'interpréter les données de manière proactive, ce qui facilite la détection précoce des défaillances, la planification efficace des activités de maintenance et l'optimisation des ressources.

La collaboration entre les différents acteurs, tels que les ingénieurs de maintenance, les opérateurs de systèmes et les fournisseurs de services, est cruciale pour la mise en œuvre réussie de l'optimisation de la maintenance par fiabilité. En favorisant l'échange d'informations, la communication et la coordination entre ces parties prenantes, il est possible de créer des stratégies de maintenance intégrées et holistiques qui maximisent la fiabilité tout en minimisant les coûts.

Pour notre cas, nous avons fait appel au modèle de Weibull pour calculer la fiabilité des trois machines pendant 6 ans, et nous avons abouti aux résultats suivants :

- La fiabilité du bull est égale 64.1 %
- La fiabilité du camion carrière est égale 39 %
- La fiabilité de la chargeuse est égale 73.95 %
- Les pannes les plus fréquentes touchant les trois équipements (bull doze, camion carrière, chargeuse) sont les pannes mécanique causées généralement par la main d'œuvre en plus des autre causes en particulier du coté méthode là mon application adéquate des méthodes de maintenance préventive.

Nous espérons que ce document servira d'une référence pour de futures études de fiabilité.

Bibliographie

CHAPITRE I

- [01] Larousse, www.larousse.fr/dictionnaires/francais/maintenance/48704
- [02] Jean HENGE. « Pratique de maintenance préventive », livre, (dunod).
- [03] BENAICHA Halima, « Analyse des stratégies de maintenance des Systèmes de production industrielle», Thèse Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Mohammed Boudiaf, Oran, 2015.
- [04] Zaidi, Cours : « Organisation des méthodes de maintenance ». Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, faculté des sciences et sciences appliquées d'Ain Beida.
- [05] EL MAKHFI Oussama ,EL-ALLAM Taoufik ,mise en place de la méthode amdec dans une chaine de production,
- [06] ISET Nabeul, Introduction à la maintenance, 2014.
- [07] Ouali M.S., Rezg N., Xie X., “Maintenance préventive”, Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), Vol. 36, No1, pp 97-116, 2002
- [08] <http://www.wikipidia.com/maintenance.html>
- [09] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/04/SOUAIAIA-HAKIM.pdf>
- [10] <https://fr.scribd.com/document/379391687/La-Maintenance-Ameliorative>
- [11] Mohamed Chouchéne, Mme BEN FRAJ Boutheina, Mme MERHEBEN Najoua « document de cour, Introduction a la maintenance », ISET Nabeul 2013/2014
- [12] AFNOR,FDX60-000, ‘‘maintenance industrielle , fonction maintenance’’
- [13] François Monchy,Jean-Pierre Vernier,MAINTENANCE ,Méthodes et organisations, 3 édition
- [14] A. Riali, A. Talbi. Ingénierie de la maintenance industrielle. Doctorants, Laboratoire de Productique, Energétique et D´développement Durable, Ecole Supérieure de Technologie
- [15] V. Zille. Mod´elisation et Evaluation des Stratégie de Maintenance sur des Système Multi-Composants. Thèse de Doctorat Université de Troyes, Institut Charles Delaunay, 28 Janvier 2009.
- [16] H. Kaffel, La maintenance distribuée : Concepts, ´évaluation, et mise en œuvre. Thèse de PhD en génie m´mécanique Université de Laval Quebec, Octobre 2001.

- [17] M.T. Hides,C.J. Bamber,J.M.Sharp , Factors affecting implementation of total productive maintenance. 1 Salon International de la maintenance Alger, pp. 1-19, 1991.er

CHAPITRE II

- [18] D.E.Fethallah, M.E.Benouis, L'évaluation de la disponibilité et de la fiabilité des composants réparables, Mémoire de Fin d'Etudes Master (LMD) de L'Université Dr. Tahar Moulay de Saida, 2018.
- [19] <https://fr.scribd.com/document/210220473/Surete-de-Fonctionnement>
- [20] Module de sûreté de fonctionnement, Claire Pagetti – ENSEEIHT, 3emeTR - option SE,10 décembre 2012
- [21] H. Hadj Mabrouk, Introduction à la sécurité et à l'analyse des risques technologiques et Humains, 3eme Symposium International sur la Maintenance et la Maitrise des Risques, Rabat, 2010.
- [22] KEROUAZ Ahmed et BOUAZIZ Abdelkarim, Etude et analyse des modes de défaillance d'un processus de production du céramique, Université Mohamed Seddik Ben Yahia - Jijel ,Promotion 2020
- [23] J. M. AUBERVILLE, Maintenance Industrielle, Ellipses, 2004.
- [24] R.LAGGOUNE. Fiabilité des systèmes. Béjaia,Université Abderahmane MiraBéjaia, master maintenance industrielle, Cours, 2018/2019
- [25] R.LABRECQUE, N.DESROCHERS, Organisation de la maintenance de la machinerie de production dans l'industrie manufacturière : Étude préliminaire, Secteurs de formation Électrotechnique Fabrication mécanique Mécanique d'entretien, Livre Québec,1999.
- [26] Ben mazouze mohamed nabile ,Domaine d application la sureté de fonctionnement ,univ Mohamed khaidher biskra,2021/2022
- [27] Dr. Belhadj Djilali Abdelkadir MCB à l'Université de chlef Année 2020, Maintenance et sûreté de fonctionnement
- [28] J. C. LAPRIE, Guide de la Sûreté de fonctionnement, Toulouse, Cepadues, page 369, 1995.
- [29] Enseignant : Dr M. Rezig , Sûreté de Fonctionnement et Maintenance, Université Mohamed Khider de Biskra

CHAPITRE III

- [30] <https://electrosttissemsilt.files.wordpress.com/2021/03/ch-ii-classification-des-defaillances-1.pdf>
- [31]
- [32] Cours 1 Généralités sur les défaillances, Module : Défaillance et outils d'analyse , M1 MIMST
- [33] Antonin Bougerol, Modes de défaillance induits par l'environnement radiatif naturel dans les mémoires DRAMs : étude, méthodologie de test et protection, Thèse de Doctorat,
- [34] Heng. J, pratique de la maintenance préventive, Dunod,2005
- [35] Ouaraab Numidia ,Dadi Sara, Analyse de la Fiabilité et Optimisation de la Maintenance Préventive du Systeme de Contrôle d'Accès , Université de Béjaïa, 2016
- [36] Le Digabel. S, Introduction a la abilite, Cours, Ecole Polytechnique Montreal, 2017.
- [37] Ali chabbi, gerti nasserou , mémoire fi d'étude master option maintenance industrielle ,2014/2015, univ mouhamed chrif msaadia ,soukahras .
- [38] Salima BELEULMI, FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE, UNIVERSITE Constantine ,2013/2014
- [39] Bellaouar.A, Beleulmi.S., Cours Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD), Université Constantine1, 2014
- [40] Lucien MEVA'A. Cours de maintenance et fiabilité industrielle,4GIM, 2019
- [41] Dr. Taleb Mounia, Fiabilité des systèmes, MCB à l'Université de Tébessa,2021/2022
- [42] Boukhezar Fahem,Hammouche Sabrina, Etude de fiabilité de la ligne de Fibre Optique Sonatrach (RTC Béjaia-RTH). 2015/2016
- [43] Taleb. M, Thèse present pat TALEB.M (2018). « Surveillance, détection et diagnostic des défaillances dans une cimenterie en vue l'obtention du doctor
- CHAPITRE IV**
- [44] https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_de_l%27Ouenza
- [45] https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/le_groupe_manal_603cb43e3b215.pdf
- [46] <https://www.wikiwand.com/fr/Ouenza>
- [47] Le directeur de ressource humaine. Mine d'ouenza.2023
- [48] <https://www.caterpillar.com>

Les annexes tableaux

Annex 01 : fiche technique Chargeuse Caterpillar 990K

Fiche technique	
poids	80.97 t
Largeur d` godet	4.61 m
Capacité du godet	8.6 m ³
Longueur de transport	13.07 m
Largeur de transport	4.45 m
Hauteur de transport	5.24 m
Vitesse de déplacement	24.5 km/h
Fabricant du moteur	Caterpillar
Type de moteur	C27 Acert
Puissance moteur	561 kW

Annex 02 : Fiche technique Camion Caterpillar 775G

Fiche technique	
poids	50.2 t
Capacité benne	42.2 m ³
Largeur de transport	4.411 m
Longueur de transport	10.151 m
Hauteur de transport	4.457 m
Vitesse de déplacement	66.9 km/h
Fabricant du moteur	Caterpillar
Puissance moteur	615 kW
Type de moteur	C27 Acert
Alésage du cylindre x course	137x152 mm

Annex 03 : fiche technique Bull dozer Caterpillar d10T2

Fiche technique	
Poids	70.2 t
Largeur de transport	3.736 m
Type de lame	U
Vitesse de déplacement	12.7 km/h
Type de moteur	C27 Acert
Longueur de transport	5.324 m
Hauteur de transport	4.356 m
Largeur chenilles caoutchouc	610 mm
Fabricant du moteur	Caterpillar
Puissance moteur	462 kW

Annex 04 : les Bull dozer opérationnelles dans l'entreprise d'Ouenza

BULL SUR CHENILLE							
N°	GENRE	MARQUE	TYPE	N° CHASSIS	FORCE	ANNEE	N°
1	BULL	CATERPILLAR	D 9T	RJS 00216	400 CV	2005	13
2	BULL	CATERPILLAR	D10T2	RAB00320	580CV	2017	14
3	BULL	CATERPILLAR	D10T2	RAB00323	580CV	2017	15
4	BULL	CATERPILLAR	D10T2	RAB00594	580CV	2020	16

Annex 05 :les chargeuses opérationnelles dans l'entreprise d'Ouenza

CHARGEUSE SUR PNEUS							
N°	GENRE	MARQUE	TYPE	N° CHASSIS	FORC E	ANNE E	N°
3	CHARGEUS E	CATERPILLA R	990K	DJK00259	766CV	2017	7
4	CHARGEUS E	CATERPILLA R	988H	BXY2305	354K W	2008	6

Annex 06 :les camions de carrière opérationnelles dans l'entreprise d'Ouenza

CAMION DE CARRIERE							
N°	GENRE	MARQUE	TYPE	N° CHASSIS	FORCE	ANNEE	N°
1	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00919	780CV	2017	1324
2	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00920	780CV	2017	1325
3	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00921	780CV	2017	1326
4	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00922	780CV	2017	1327
5	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00925	780CV	2017	1328
6	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00926	780CV	2017	1329
7	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00927	780CV	2017	1330
8	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM00928	780CV	2017	1331
9	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM01161	780CV	2020	1332
10	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM01162	780CV	2020	1333
11	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM01163	780CV	2020	1334
12	CAMION BENNE	CATERPILLAR	775G	RFM01174	780CV	2020	1335

Annex 07 : TBF chargeuse

2018		
order i	TBF	Fi
1	1643	0,291
2	3631,5	0,708
2019		
order i	TBF	Fi
1	5309	0,5
2020		
order i	TBF	Fi
1	5222,5	0,5
2021		
order i	TBF	Fi
1	288	0,129
2	485	0,314
3	582	0,5
4	744	0,685
5	798	0,87
2022		
order i	TBF	Fi
1	180	0,061
2	260,5	0,149
3	280	0,236
4	363	0,324
5	388	0,412
6	477	0,5
7	540	0,587
8	740	0,675
9	886	0,763
10	920	0,85
11	1120	0,938
2023		
order i	TBF	Fi
1	1012,5	

Annex 08 : TBF Camion carrière

2018		
order i	TBF	Fi
1	718	0,205
2	1651	0,5
3	2680	0,794
2019		
order i	TBF	Fi
1	80	0,109
2	230	0,265
3	413,5	0,421
4	492	0,578
5	1020	0,734
6	2150	0,89
2020		
order i	TBF	Fi
1	15	0,048
2	26	0,118
3	34	0,187
4	49	0,256
5	61	0,326
6	78	0,395
7	98	0,465
8	130	0,534
9	154,5	0,604
10	170	0,673
11	220	0,743
12	450	0,812
13	1431	0,881
14	2503	0,951
2021		
order i	TBF	Fi
1	20	0,038
2	27	0,092
3	32	0,146
4	48	0,201
5	56	0,255
6	75	0,309
7	80	0,364
8	90	0,418
9	126	0,472
10	147	0,527
11	190	0,581
12	210	0,635

13	280	0,69
14	374	0,744
15	420	0,798
16	950	0,853
17	1105	0,907
18	2430	0,961
2022		
order i	TBF	Fi
1	15	0,031
2	20	0,075
3	25	0,12
4	32	0,165
5	39	0,209
6	48	0,254
7	56	0,299
8	75	0,343
9	85	0,388
10	90	0,433
11	106	0,477
12	130	0,522
13	132	0,566
14	140	0,611
15	160	0,656
16	210	0,7
17	310	0,745
18	374	0,79
19	420	0,834
20	901	0,879
21	1402	0,924
22	2050	0,968
2023		
order i	TBF	Fi
1	33,5	0,129
2	45	0,314
3	75	0,5
4	100	0,685
5	480	0,87

Annex 09 :TBF bull dozer

2018		
order i	TBF	Fi
1	1626	0,291
2	3740	0,708
2019		

order i	TBF	Fi
1	2093,5	0,291
2	3260	0,708
2020		
order i	TBF	Fi
1	4674	0,5
2021		
order i	TBF	Fi
1	1668,5	0,291
2	3321	0,708
2022		
order i	TBF	Fi
1	780	0,205
2	1259	0,5
3	1848,5	0,794
2023		
order i	TBF	Fi
1	728,5	0,5

Annex 10 :table de weibull

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89667	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Annex 11 :Camion carrière

HEURE D AREET EN FONCTION DES ANNES				
annes	MEC	ELC	HYD	Autre
2018	450	0	91	249,5
2019	155	0	35	30,5
2020	700	10	120	238
2021	710	0	155	386
2022	900	0	118	680
2023	400	0	0	282,5
totale	3315	10	519	1866,5
Nombre des pannes en fonction d annes				
annees	MEC	ELC	HYD	AUTRE
2018	2	0	1	2
2019	5	0	1	1
2020	13	1	4	6
2021	17	0	3	4
2022	21	0	3	5
2023	4	0	0	3
totale	62	1	12	21

Annex 12 : Bull dozer

HEURE D AREET EN FONCTION DES ANNES				
annees	MEC	ELC	HYD	Autre
2018	54	0	155	275
2019	30	12	70	478,5
2020	0	20	600	899
2021	212	0	277	331
2022	1000	44	72	838,5
2023	0	0	0	215,5
totale	1296	76	1174	3037,5
Nombre des pannes en fonction d annes				
annees	MEC	ELC	HYD	AUTRE
2018	1	0	1	2
2019	1	1	2	3
2020	0	2	5	6
2021	1	0	3	3
2022	2	4	1	5
2023	0	0	0	2
totale	5	7	12	21

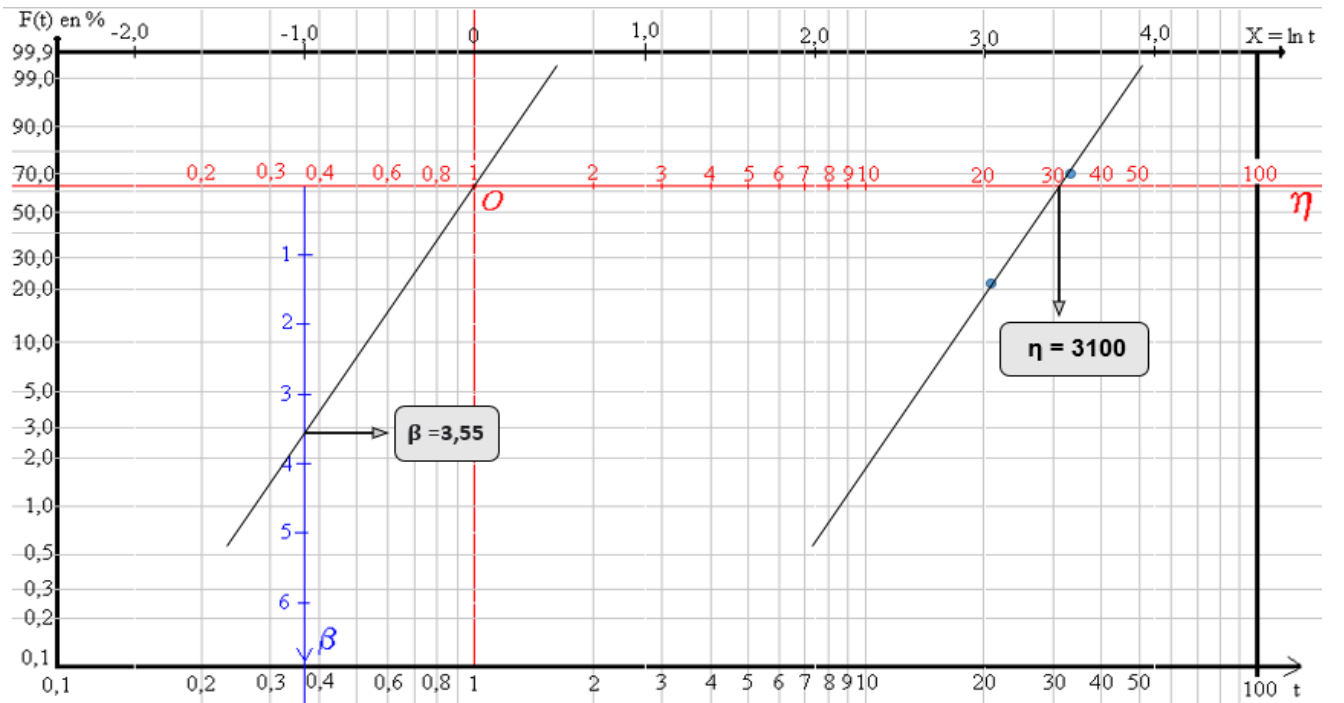
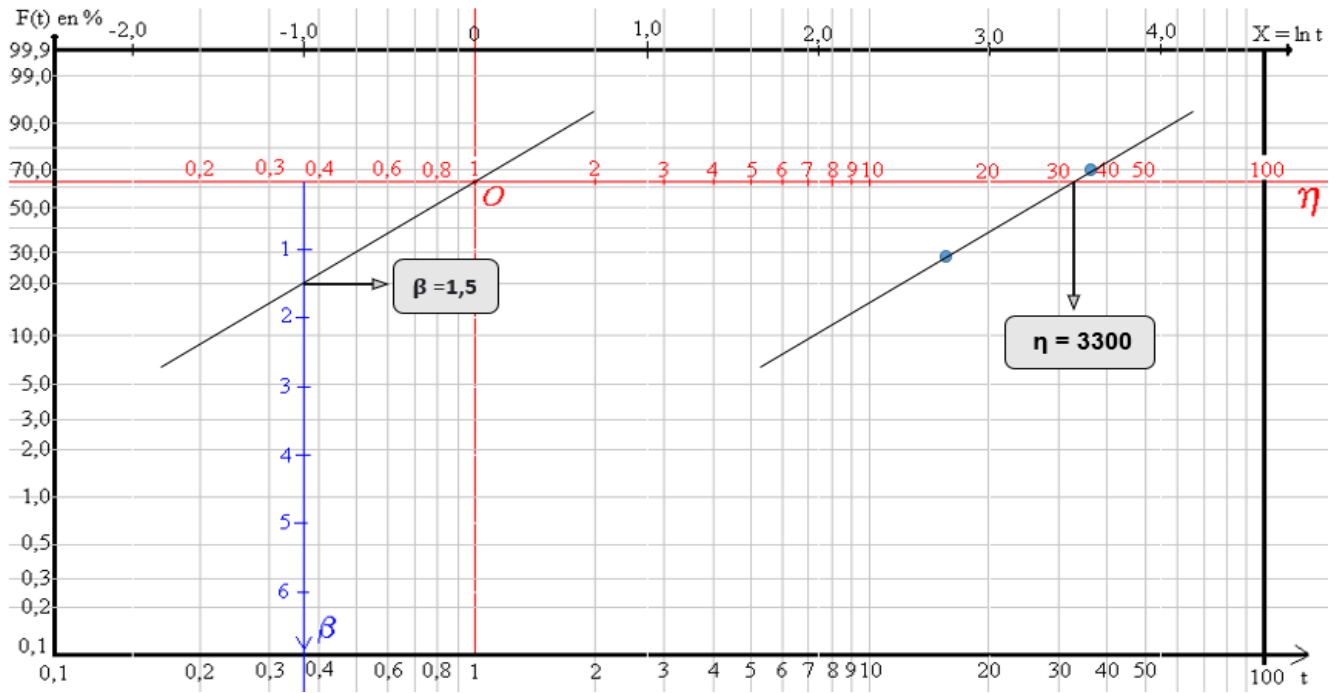
Annex 13 : Chargeuse

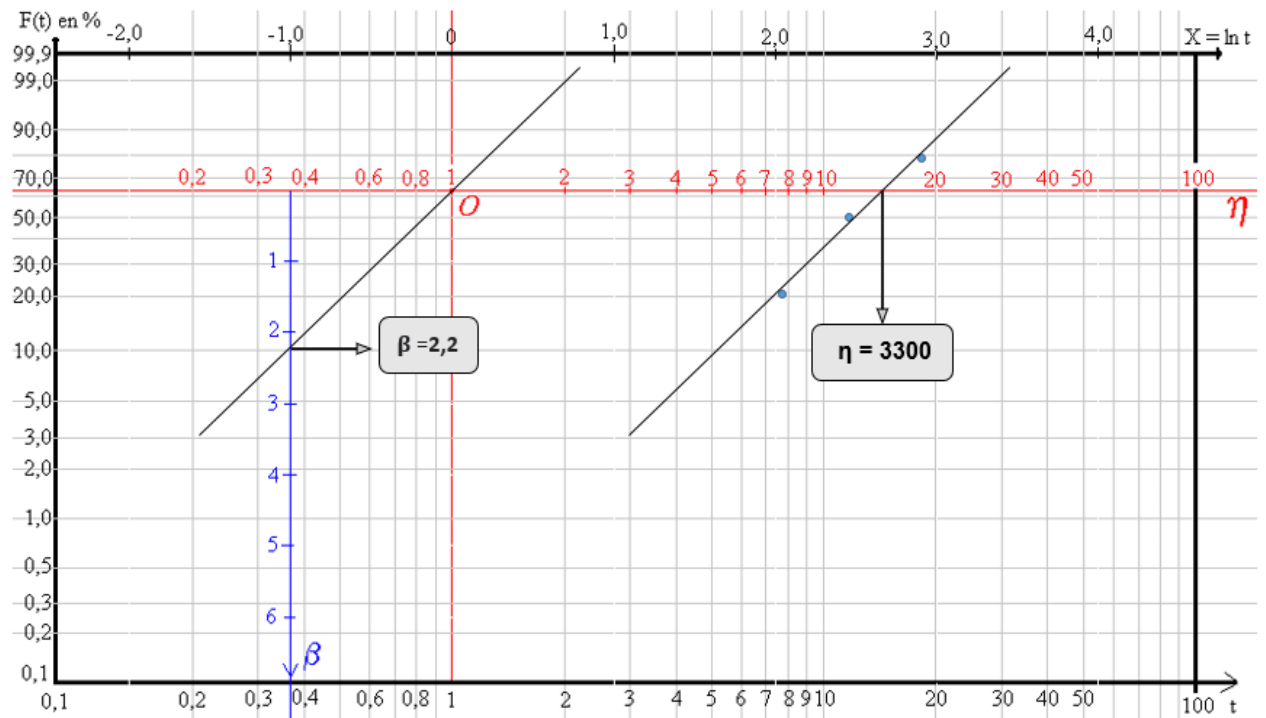
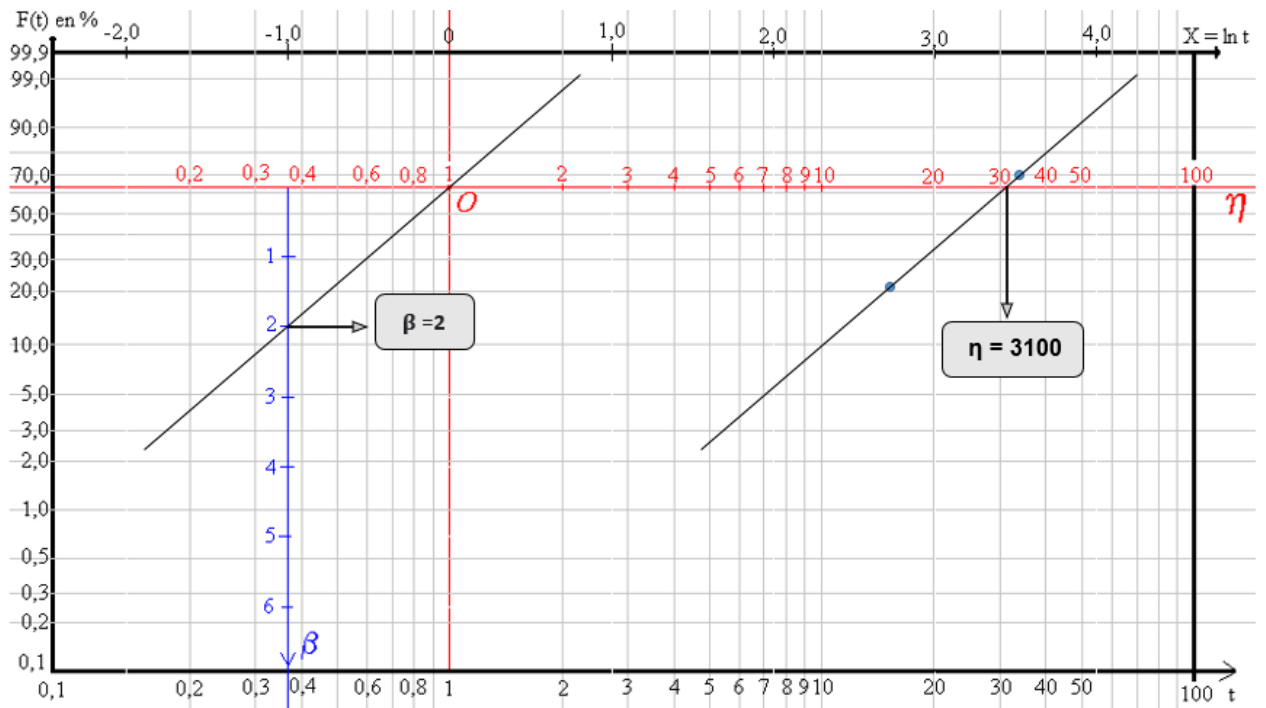
HEURE D AREET EN FONCTION DES ANNES				
ANNEES	MEC	ELC	HYD	Autre
2018	275	0	80	210,5

2019	0	50	381	717,5
2020	0	80	455	651,5
2021	2400	5	1200	1128
2022	1055	0	400	1020,5
2023	0	10	180	213,5
totale	3730	145	2696	3941,5
Nombre des pannes en fonction d annes				
annees	MEC	ELC	HYD	Autre
2018	1	0	1	1
2019	0	1	2	4
2020	0	2	3	13
2021	4	1	7	11
2022	10	0	8	14
2023	0	1	1	2
totale	15	5	22	45

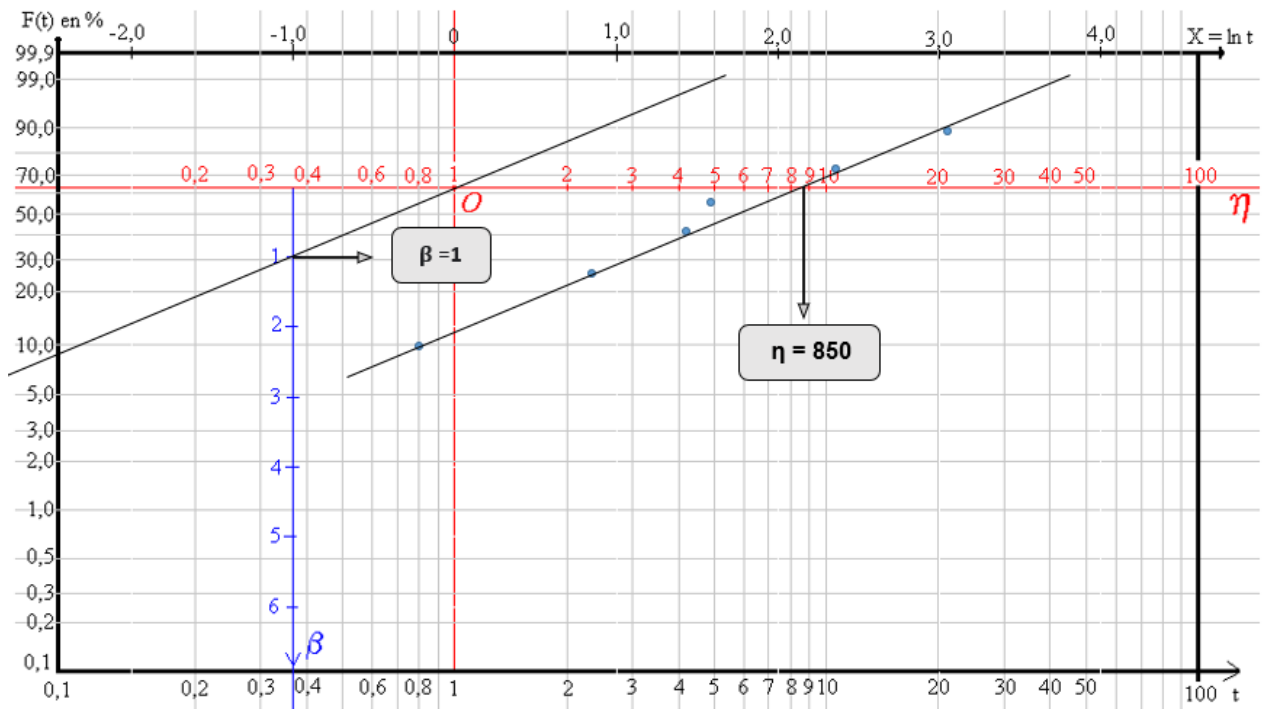
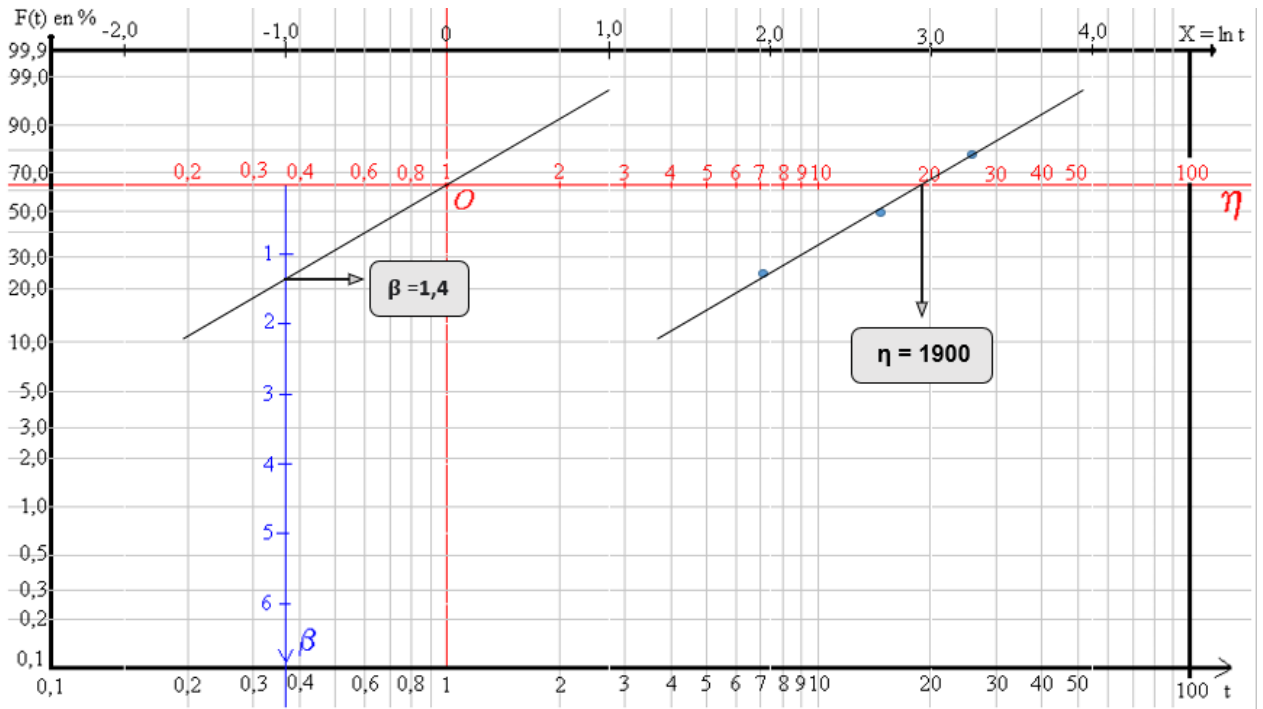
LES ANNESXS FIGURE

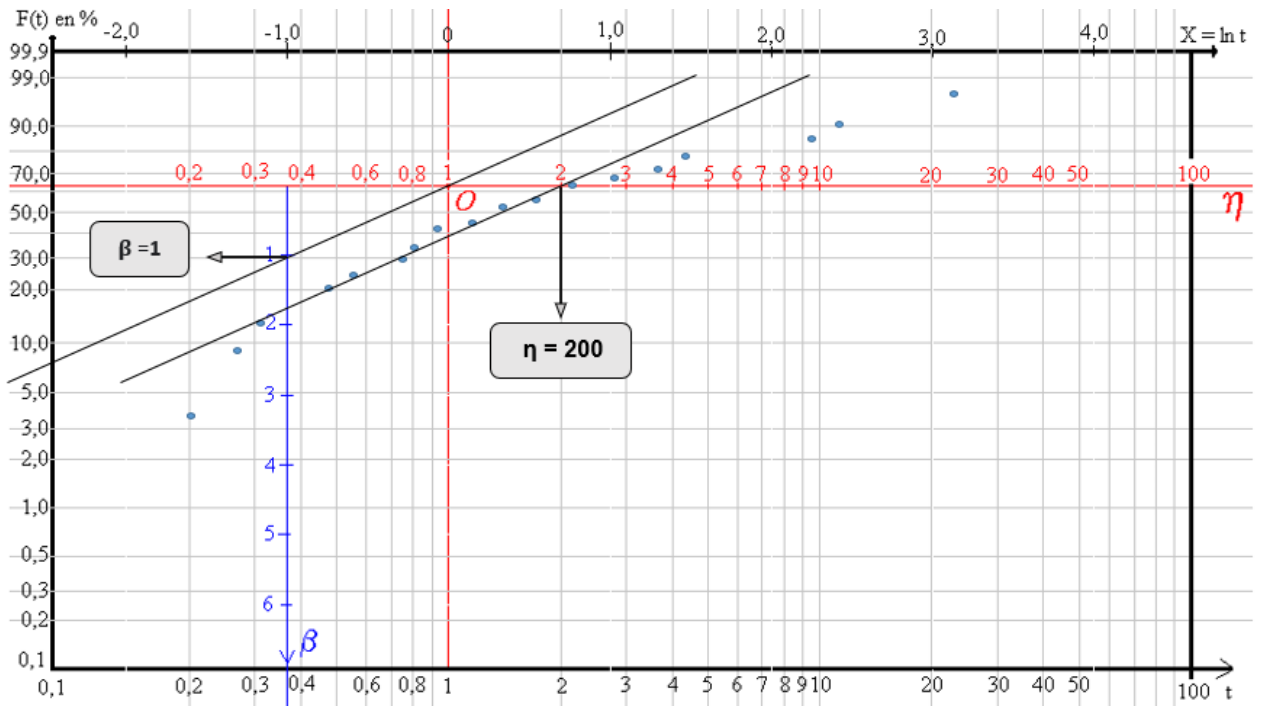
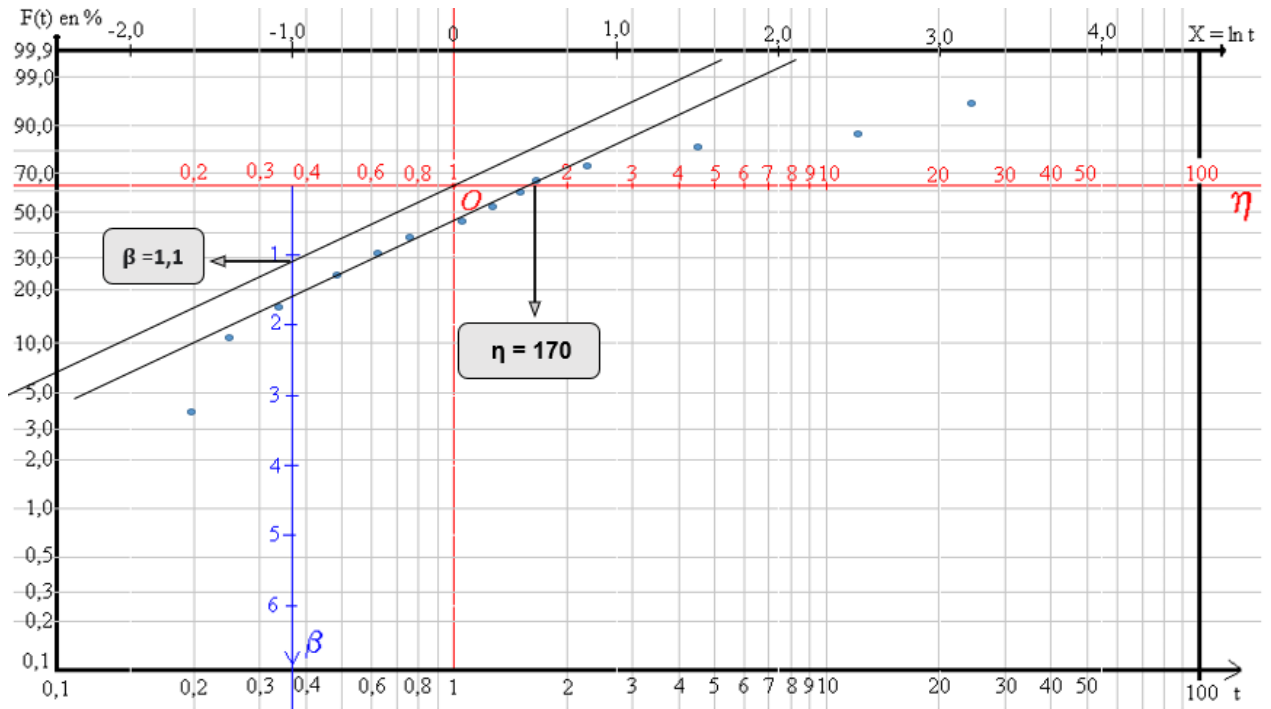
Annex 01 :Bull dozer weibull

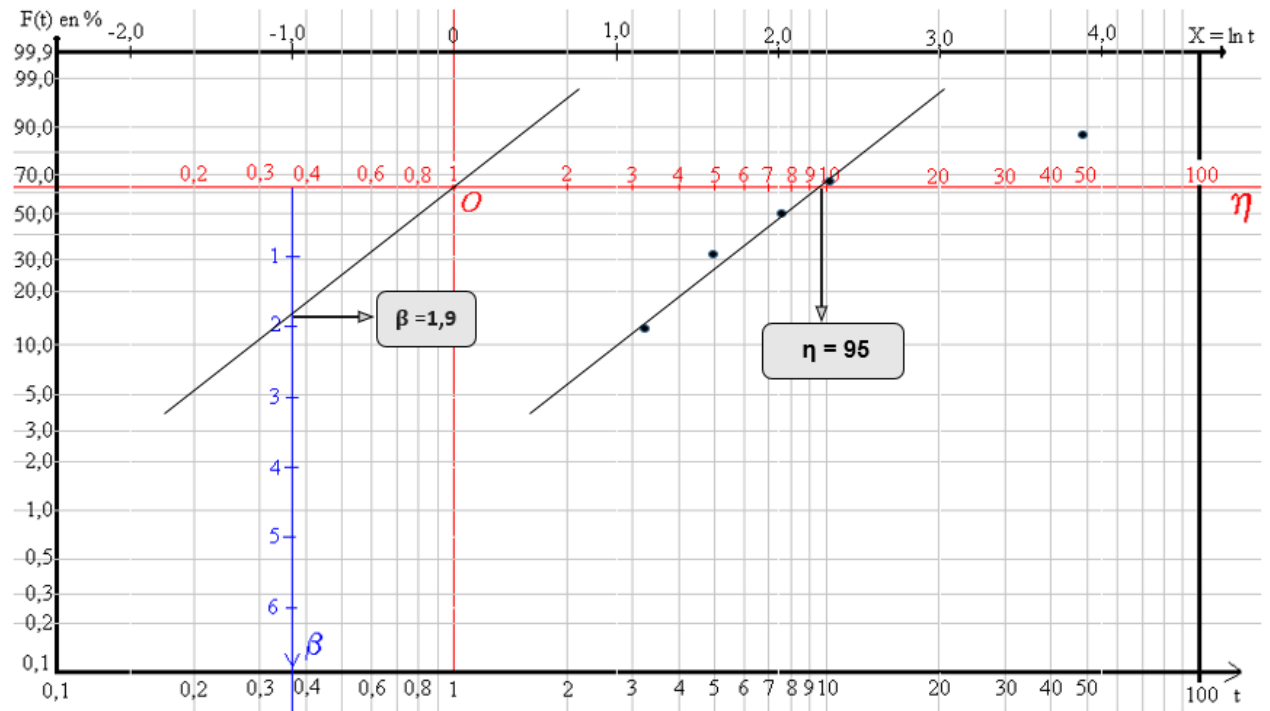
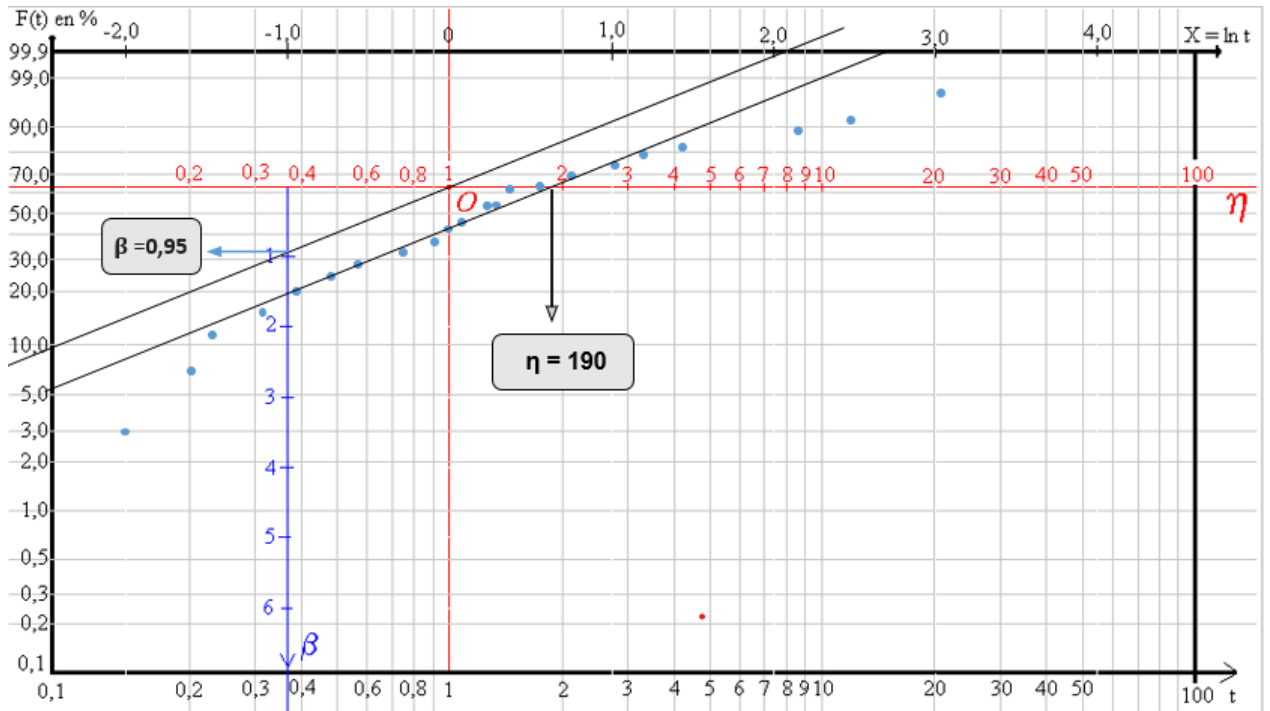




Annex 02 : Camion weibull







Annex 03 :Chargeuse weibull

