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 الشهيد الشيخ العربي التبسي – تبسة
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معـــــــهد المـــــناجم
Institut des Mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géo technologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance Industrielle

Amélioration du temps de maintenance par l'optimisation de l'approvisionnement du PDR

Par

BOUMAAGOUDA ELALIA et HOUAM HADIL

Devant le jury :

Louafi Messaoud	**Président**	Pr	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Houam Ala	**Encadreur**	MCA	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Taleb Mounia	**Examinateur**	MCA	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**

Année universitaire 2024/2025


بسم الله الرحمن الرحيم

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tebessi – Tébessa
Institut des Mines
Département mines et géotechnologie

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعةالعربي التبسي – تبسة
معهد المناجم
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا

Année universitaire : 2024/2025 Tébessa le : 08/06/2025

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 . BOUMAAGOUDA ELALIA

2. HOUAM HADIL ----------

Niveau : MASTER- Option : Maintenance industrielle

Thème Amélioration du temps de maintenance par l'optimisation de l'approvisionnement du PDR (cas de la mine d'ELOUNZA)

Nom et prénom de l'encadreur : HOUAM Ala

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Introduction generale	
Chapitre I	
Chapitre II	
Chapitre III	
Conclusion generale	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي – تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) بومعزة الطالبة الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالبة

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم 026833352 و الصادرة بتاريخ 18 - 08 - 2022

المسجل بمعهد المناجم قسم إلكتروميكانيك

و المكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

مذكرة ماستر

Amélioration du temps de Maintenance par l'optimisation de l'approvisionnement du PDR

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

التاريخ: 2025 - 6 - 4

إمضاء المعني (ة)

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي – تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة)...همام...عقيل.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : ...طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : ...402.92.66.22... و الصادرة بتاريخ 2022-09-13

المسجل بمعهد ....جناجم..... قسم الإلكترونيك

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

.....مذكرة ماستر.....

Amélioration du temps de Maintenance par l'optimisation de l'approvisionnement du PDR

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

التاريخ: 2025-6-4

إمضاء المعني (ة)

رئيس المجلس الشعبي البلدي
ومسؤول عن منه العون
امضاء

Remerciments

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre encadrant « **HOUAM ALA** » pour ses précieux conseils, ses remarques constructives et son accompagnement tout au long de ce projet.*

Nous exprimons également notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants de l'Institut Des Mines en particulier ceux de la filiere électromécanique, pour la qualité de leur enseignement et pour les efforts qu'ils ont déployés tout au long de notre formation.

*Nous remercions chaleureusement Monsieur le Directeur du Bureau de Méthode « **DRIDI SALEM** »de la Mine de Ouenza pour son accueil, sa collaboration et les informations précieuses qu'il nous a fournies durant notre stage.*

Nous remercions aussi les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de notre travail, ainsi que pour leurs remarques pertinentes qui représentent pour nous une réelle valeur ajoutée.

Enfin, nous exprimons toute notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus, aidés ou encouragés, directement ou indirectement. À toutes et à tous, nous disons : merci du fond du cœur.

د

اهداء

الحمد لله سبحانه وتعالى على ما أكرمني به من علم وتوفيق وما من عليه به من صبر واجتهاد

الي من كانت دعواتهم سندي، ودعمهم قوتي، ووجودهم سببا في كل ما وصلت اليه ...

الي من حملوني حبا ورعاية دون حدود...

الى والدي العزيزين، بدرالدين، فلة

اهديكما ثمرة جهدي، فأنتم الأصل والدافع، والمصدر الأول للفخر والعزيمة.

الى اخوتي مبروك،هديل، هبة الرحمان

لكم كل الحب،أنتم نوري في درب الحياة، وسندي في كل خطوة.

الى من علمتني أولى الحروف، وفتحت لي أبواب العلم، العمة عفاف

لن أنسي جميلك ما حييت.

الى صديقة الطفولة، فاطمة

رفيقة الذكريات الجميلة،وصوت الطمأنينة في لحظات الشك.

الى عائلتي الكبيرة،

شكرا لكم على الحب والدعاء والدعم اللامتناهي.

الى صديقاتي العزيزات هديل، حنين،اسراء، ريهام ومنال

شكرا لرفقتكن الجميلة، ولكل لحظة ضحك وكل دعم صادق.

الى زملائي وزميلاتي،

شركاء الجهد والتحديات .... دمتم خير رفاق

الى شريكتي في اعداد هذه المذكرة، هديل

شكرا لك على روح التعاون والصبر والإصرار .... كنا يدا واحدة وتجاوزنا كل الصعاب معا فكان النجاح نتيجة لجهد مشترك لا ينسى.

العالية

اهداء

ما سلكنا البدايات الا بتيسيره وما بلغنا النهايات الا بتوفيقه وما حققنا الغايات الا بفضله فالحمد لله الذي وفقني لتثمين هذه الخطوة.

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

الى من كانوا دوما النور الذي اضيء به طريقي ومن كانت دعواتهما سر نجاحي ومن لم يبخلا عني بشيء الى والدي العزيزين، نورالدين، رشيدة

الى من شددت عضدي بهم فكانوا ينابيع ارتوي منها وكانوا دائما السند الذي لا يميل اخوتي قرة عيني شوقي، زيد، ايمان

الى صديقاتي الجميلات، العالية، حنين، ريهام، منال، اسراء، بسمة **وريان**.

شكرا من القلب على الأوقات الجميلة وكل لحظة ضحك والدعم صادق.

شكرا على كل الذكريات الجميلة التي ستظل محفورة في قلبي ما حييت كنتن جزءا جميلا من رحلتي ادام الله رفقنا أينما اخذتنا الحياة.

لكن مني كل الحب

الى زملائي وزميلاتي، كنتم خير رفقة كلل الله جهودكم بالنجاح والتمييز في كل ما تسعون اليه

الى عائلتي الكبيرة، فردا فردا كل الشكر والامتنان لكم على الحب غير المشروط والكلمات الطيبة والدعاء الصادق انتمي اليكم بكل فخر.

الى روح عمي الغالي، الذي كان عاشقا للعلم مؤمنا بقيمة المعرفة.

الى روح جدتي الحبيبة، التي طالما تمنت رؤيتي في هذه اللحظة يا من كنت رمزا للحب والحنان

رغم غيابكما الجسدي الا ان اثركما باق في قلبي.

رحمكما الله وجعل الجنة داركما

الى شريكة هذا العمل "العالية" شكرا على الروح الإيجابية على تعاونك وصبرك رفع الله مقامك وابلغك طموحك.

شكرا لكل من مر وترك اثرا طيبا في حياتي من كلمة طيبة او دعوة صادقة او لحظة دعم في وقت الحاجة.

جزاكم الله عني كل خير ووفقكم لما يحب ويرضى

هديل

SOMMAIRE

	Remerciement	i
	Dédicace	ii
	Sommaire	iii
	Liste Des Tableaux	V
	Liste Des Figures	Vi
	Liste Des Abréviations	x
	Introduction Générale	1
	I. Généralité sur la maintenance	
I.1	Introduction	4
I.2	Définition de la maintenance	4
I.3	Objectifs de la maintenance	4
I.4	Formes de la maintenance	4
I.4.1	Maintenance Préventive	5
I.4.1.1	Maintenance Préventivesystématique	5
I.4.1.2	Maintenance Préventiveconditionnelle	5
I.4.1.3	Maintenance préventive prévisionnelle	5
I.4.1.4	Opérations de maintenance préventive	5
I.4.2	Maintenance corrective	6
I.4.2.1	Maintenance corrective palliative	6
I.4.2.2	Maintenance corrective curative	6
I.4.2.3	Opérations de maintenance corrective	6
I.4.2.4	Objectif de la maintenance corrective	7
I.4.3	Maintenance améliorative	7
I.4.3.1	Opérations de la maintenance améliorative	7
I.4.3.2	Objectifs de la maintenance améliorative	8
I.5	Niveaux de maintenance	8
I.6	Politique de la maintenance	10
I.7	Paramètres et les fonctions de la maintenance d'un équipement	10
I.7.1	Fiabilité	11
I.7.1.1	Définition	11
I.7.1.2	Conséquence d'une mauvaise fiabilité	11
I.7.1.3	Fiabilité opérationnelle	11
I.7.1.4	Indicateur de Fiabilité	11
I.7.1.5	Temps moyen de bon fonctionnement Le MTBF	11
I.7.2	Maintenabilité	12
I.7.2.1	Définition	12
I.7.2.2	Maintenabilité et Maintenance	12
I.7.2.3	Type de Maintenabilité	12
I.7.2.3.1	Maintenabilité intrinsèque	12
I.7.2.3.2	Maintenabilité prévisionnelle	12
I.7.2.3.2	Maintenabilité opérationnelle	13
I.7.3	Disponibilité	13
I.7.3.1	Définition	13
I.7.3.2	Indicateurs de disponibilité	13
I.7.4	Sécurité	13
I.7.4.1	Définition	13
I.7.4.2	Mesures de sécurité	13
I.7.4.3	Sécurités passives	13
I.7.4.4	Sécurités actives	13

I.8	Conclusion	14
	II : Prise à la decision multicritère (MCDM)	
II.1	Introduction	16
II.2	Histoire de l'approche multicritère à la décision	16
II.3	Définition	17
II.4	Étapes générales du MCDM	17
II.4.1	Structuration d'un problème de décision	17
II.4.2	Détermination et application de la méthode	18
II.4.3	Détermination de la recommandation finale MCDM	18
II.5	Analyse par enveloppment des données (DEA)	18
II.6	Processus d'analyse hiérarchique (AHP)	18
II.6.1	Principe de l'AHP	19
II.6.2	Etapes de AHP	19
II.7	ELECTRE	21
II.8	FUZZY-AHP	21
II.8.1	Etapes de FUZZY-AHP	21
II.9	EDAS	23
II.10	TOPSIS	24
II.10.1	Etapes de TOPSIS	24
II.11	opérateurs d'agrégation	27
II.11.1	Quelques opérateurs d'agrégation	27
II.12	Somme pondérée ordonnée	28
II.13	L'intégrale de Sugeno	28
II.13.2	MOORA	29
II.13.3	Etapes de MOORA	29
II.14	Objectif de l'aide à la décision	30
II.16	Conclusion	31
	III. Application de la méthode MCDM (FAHP –EDAS) sur le processus d'approvisionnement des PDR sur les camions de transport de la mine d'El- Ouenza	
III.1	Introduction	33
III.2	Présentation de la mine	33
III .2.2	Présentation de Bureau des Méthodes :	34
III .2.3	Structure de maintenance au sein de la mine de l'Ouenza	35
III .2.4	Parc des engins miniers	36
III.3	Transport	36
III.3.1	Choix des moyens de transport	36
III.3.2.	Types de machines de transport	37
III 3.3	Transport par camion	37
III.3.4.	Constitution d'un Camion	37
III.4.	Application MCDM	39
III.4.1.	Identifier et sélectionner les critères	39
III.4.2	Matrice MCDM	39
III.4.3.	Calcul du poids des critères (Fuzzy-AHP)	39
III .5	Discussion	44
III.6	Conclusion	44
	Conclusion générale	46
	Référence bibliographique	48
	Annexe	65
	Résume	66

LISTE DES FIGURES

I.1	Organigramme de la maintenance	04
I.2	Diagramme de la maintenance préventive	05
I.3	Diagramme de la maintenance corrective	07
I.4	Organigramme des paramètres de maintenance	10
II.1	Hiérarchie générale de la méthode AHP	20
II.2	structure of Electre model	22
II.3	Etapes de la technique FUZZY- AHP	26
II.5	les étapes de méthode MOORA	30
III.1	Bureau des Méthodes de la mine L'Ouenza	35
III.2	division de maintenance	35
III.3 :	Camion CAT 775G	37
III.4	Poids des critères	41

LISTE DES TABLEAUX

II .1	L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires dans FUZZY-AHP	21
III.1	Les engins disponibles au niveau la mine d'Ouenza	36
III.2	Matrice des critères	39
III.3	L'importance des critères.	39
III.4	Matrice de comparaison	40
III.5.	Matrice de Fuzzfication	40
III.6	Matrice normalisée	41
III.7	Poids des critères.	42

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ג	Taux défaillance	
MTBF	temps moyen entre pannes (Mean time between failures)	
TBF	temps entre pannes (time between failures)	
NP	Nombre de pannes	
TTR	Temps de réparation (time to repair)	
MTTR	Temps moyen de réparation (Mean time to repair)	
R	Reliability (Fiabilité)	
MUT	Temps moyen de fonctionnement (Mean up time)	
MDT	Temps moyen d'indisponibilité	
MCDM	Prise de décision multi critère (Multi-criteria decision-making	
MCDA	Analyse décisionnelle multicritère (Multi-criteria decision-analysis).	
DEA	L'analyse par enveloppement des données (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS).	
AHP	le processus de hiérarchie analytique	
FUZZY -AHP	Logique Floue (Fuzzy Logic).	
TOPSIS	la préférence de commande par similarité à la solution parfaite	
EDAS	Evaluation based on Distance from Average Solution	
MOORA	l'optimisation multi-objective Basée sur l'analyse des ratios.	
PFN	évaluation des préférences Fonction (preference evaluation Function)	
WNDM	matrice de décision normalisée et pondérée(normalized and Weighted decision matrix)	
PIS	solution idéale positive (positive ideal solution)	
NIS	solution idéale négative (negative ideal solution)	
AV_j	moyenne (Average)	
W_i	Poids (weight)	

Introduction Générale

L'évolution de la fonction maintenance d'une maintenance vue comme la réparation des biens à une maintenance facilitant l'intégration des enjeux de développement durable au sein des entreprises. Associée à des nouvelles techniques de planification et d'optimisation la maintenance prend place comme un moteur de l'entreprise du futur. [1]

Le processus d'approvisionnement en pièces de rechange (PDR) en entreprise englobe l'acquisition, le stockage et la gestion des pièces nécessaires à l'entretien et à la réparation des équipements et machines, afin de réduire les temps d'arrêt de production, d'optimiser les coûts et garantir la disponibilité des pièces essentielles. [2]

L'amélioration et l'optimisation du processus d'approvisionnement nécessite l'intervention des approches d'optimisation [3] et des techniques de prise de décision tel que la méthode de prise de décision multicritère (MCDM) lorsque plusieurs critères complexes doivent être pris en compte simultanément. Cependant, la complexité des problèmes d'optimisation les rend plus gourmands en calculs [4] plusieurs chercheurs empiriques et théoriciens ont travaillé sur cette dernière afin d'examiner leur capacité de modélisation mathématique et Benjamin Franklin est l'un de ces chercheur lors de la publication de ses recherches sur le concept d'algèbre morale.

Le processus décisionnel repose sur le jugement du DM sur les valeurs objectives des alternatives. Il comprend différentes méthodes qui diffèrent les unes des autres sur divers aspects, Cette méthode prend en compte différentes criteres qualitatifs et quantitatifs à fixer pour trouver le mieux entre eux. À l'inverse, les alternatives sont identifiées a priori dans la catégorie discrète du problème. [5] Elle permet alors d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères, chacun pondéré d'un coefficient en fonction de son importance (poids relatif). De plus, des procédures comme Somme pondérée, intégrale de Choquet, MOORA, COPRAS, TOPSIS, EDAS, WASPAS [6] ont été utilise pour agréger toutes les alternatives pour avoir une seule valeur par alternative qui permettra de les classer.

L'objectif de ce travail est de réduire les heures de maintenance des camions CATERPILLAR 775 G dans le cas de la mine d'El-ouenza causées par l'indisponibilité des pièces de rechange en appliquant la méthode de choix multicritère (FAHP-EDAS) et d'offrir aux services de bureau de méthode un système de recommandation mettant en œuvre plusieurs opérateurs d'agrégation.

Cette étude sera subdivisée en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons un aperçue sur la maintenance en se concentrer sur les types, les niveaux et les différentes politiques de maintenance.

Le deuxième chapitre (**Prise a la décision multicritères MCDM) :** porte sur les systèmes d'aide à la décision, ensuite nous verrons à quoi servent les opérateurs d'agrégation dans les systèmes d'aide à la décision. Par la suite différents opérateurs d'agrégation sont discutés tels que la somme pondérée, MOORA, TOPSIS, FAHP, EDAS .. etc.

Le troisième chapitre (Application de la méthode MCDM (FAHP-EDAS) sur le processus d'approvisionnement des PDR sur les camions de transport de la mines d'el-ouenza) : comprend la partie d'application, résultats et discussion

Nous terminons ce travail par une **conclusion**, nous présentons une synthèse des résultats et choisissons la meilleure méthode possible parmi les méthodes utilisées, et sur quelle base l'avons-nous choisie.

CHAPITRE I

I.1. Introduction

La maintenance est une stratégie productive visant à garantir la durabilité, la sécurité et la rentabilité des opérations industrielles. Si vous aspirez à une performance opérationnelle optimale, la maintenance industrielle devrait figurer en tête de vos priorités.

I.2. Définition de la maintenance :

Selon AFNOR la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à la maintenir ou à la rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [7]

I.3.Objectifs de la maintenance :

Les principaux objectifs de la maintenance industrielle sont de garantir le bon fonctionnement des équipements de production, de maximiser leur disponibilité et leur fiabilité, on peut catégoriser les objectif comme suit :

a. Objectifs opérationnels: Assurer la production prévue en minimisant les arrêts imprévus, améliorer la disponibilité et de ce fait la productivité et assurer la disponibilité maximale à un cout raisonnable ;
b. Objectifs économiques: permet de réduire les coûts liés aux réparations et aux arrêts de production, réduction des dépenses et de ce fait le budget de service ;
c. Objectif initial : sortir du cercle vicieux de l'entretien dit pompier (courir pour éteindre le feu) ;
d. Objectif réglementaire : se mettre en conformité avec les réglementations liées au secteur d'activité ;
e. Objectif sécuritaire : assurer la sécurité des biens et des hommes en entretenant correctement les équipements;
f. Objectif qualité : rechercher une certification ou l'agrément d'un client important ;
g. Objectif environnement: En minimisant les risques de pollution et en optimisant l'utilisation des équipements, la maintenance contribue à préserver l'environnement.[8]

I.4.Formes de la maintenance :

En industrie, plusieurs types de maintenance industrielle sont réaliser

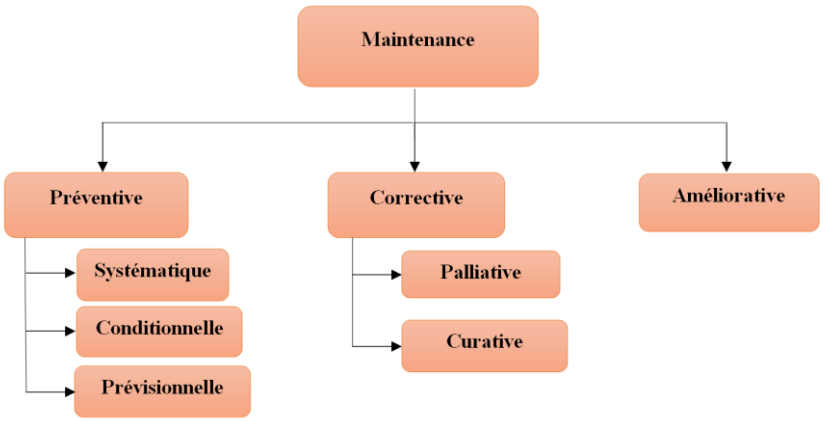


Figure I.1: Organigramme de la maintenance

I.4.1.Maintenance Préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.**;** Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier (période fixe) établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). **[9]**

La figure I.3 donne un aperçue sur les opérations de ce type

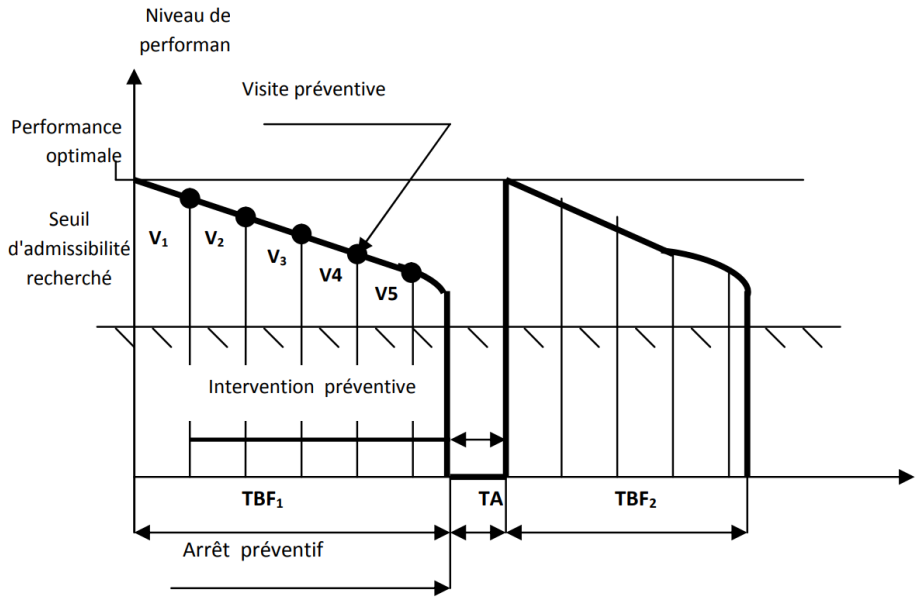


Figure I.2. Diagramme de la maintenance préventive [10]

On distingue deux types de maintenance préventive :

I.4.1.1.Maintenance préventive systématique :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien (EN 13306). 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 cycles effectués, etc. Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle

I.4.1.2. Maintenance préventive conditionnelle :

Basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découle**. [9]**

I.4.1.3. La maintenance préventive prévisionnelle :

Repose sur une approche proactive visant à anticiper les pannes ou défaillances grâce à des outils et des techniques d'analyseelle est définie comme une maintenance conditionnelle ou basée sur des prévisions. [11]

I.4.1.4.Les opérations de maintenance préventive :

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- 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 du premier et du 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.**[9]**

I.4.2.Maintenance corrective :

Maintenance exécutée après défaillance et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ; il existe deux formes de défaillance :

a. Défaillance partielle : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
b. Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.[12]

Il existe deux formes possibles de maintenance corrective :

I.4.2.1 Maintenance palliative ou dépannage:

La maintenance palliative, souvent appelée dépannage, est une Action de la maintenance corrective destinée à remettre un bien ou un système en état de fonctionnement temporairement, c'est-à-dire Répondre rapidement à une panne pour maintenir l'activité ou éviter un arrêt complet de la production en attendant une réparation plus complète. Cette forme de maintenance agit sur les symptômes de la panne, sans corriger la cause profonde.

I.4.2.2. Maintenance curative ou réparation :

On parle de maintenance curative quand un équipement tombe en panne et qu'il n'y a pas de possibilité de réparation, on effectue ce type de maintenance lorsque la maintenance corrective et la maintenance préventive ont échoué. En effet, la maintenance curative est fortement liée à la fin de vie d'une machine. De ce fait, la maintenance industrielle curative s'effectue lorsque l'équipement est très endommagé, voire en fin de vie. Ayant un caractère prioritaire, elle permet, ainsi, à toute entreprise d'éviter les pertes lourdes dues au dysfonctionnement d'un matériel. **[12]**

I.4.2.3 Opérations de maintenance corrective :

Après apparition d'une défaillance, la maintenance doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations comme le montre sur la figure ci-dessous :

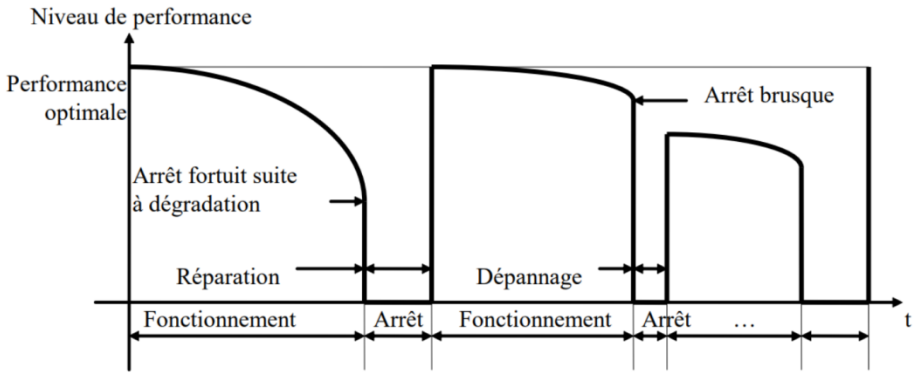


Figure I.2. Diagramme de la maintenance corrective [9]

Ces opérations s'effectuent dans l'ordre suivant

- Test : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- Détection ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- Localisation ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- Diagnostic ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- Dépannage, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- Contrôle du bon fonctionnement après intervention.
- Amélioration éventuelle : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- Historique ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

I.4.2.4. Objectifs de la maintenance corrective :

a. Remettre en service rapidement : Réduire le temps d'arrêt des équipements pour minimiser l'impact sur la production.

b. Corriger les dysfonctionnements : Identifier et réparer les causes des défaillances pour rétablir les performances initiales.

c. Assurer la continuité des opérations : Garantir que les équipements fonctionnent correctement pour maintenir les processus industriel

d. Réduire les coûts immédiats : La maintenance corrective est souvent réalisée avec des moyens limités pour éviter des interruptions prolongées. [13]

I.4.3. 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... C'est une aide importante si l'on décide ensuite de construire un équipement effectuant le même travail mais à la technologie moderne : on n'y retrouvera plus les mêmes problèmes.

I. 4.3.1. Opérations de la maintenance améliorative :

- Rénovation : C'est l'inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et

éventuellement, la réparation des pièces et sous-ensembles défaillants. C'est donc une suite possible à une révision générale. Une rénovation peut donner lieu à un échange standard.

- Reconstruction : « Action suivant le démontage du bien principal et remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie et/ou devraient être systématiquement remplacés ». La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations. L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. La reconstruction 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 peuvent apporter un plus en terme de disponibilité (redondance), d'efficacité, de sécurité, etc…. Attention toutefois à une forme particulière de reconstruction : c'est la « cannibalisation » qui consiste à récupérer, sur le matériel mis au rebut (casse), des éléments en bon état, de durée de vie espérée inconnue, et de les utiliser en rechanges ou en pièces de rénovation. Est-ce une bonne solution ?...
- Modernisation : C'est le remplacement d'équipements, d'accessoires, des logiciels par des sous- ensembles apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Une modernisation peut intervenir dans les opérations de rénovation ou de reconstruction.

I.4.3.2.Objectifs de la maintenance améliorative :

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. Tout le matériel est concerné, sauf bien sûr, le matériel proche de la réforme. Les objectifs de la maintenance améliorative d'un bien sont:

- L'augmentation des performances de production.
- L'augmentation de la fiabilité.
- L'amélioration de la maintenabilité.
- La standardisation de certains éléments ou sous-ensemble**.**

I.5. Niveaux de maintenance**:**

Niveau 1

Les opérations de maintenance classées au Niveau 1 selon le référentiel Afnor correspondent à des réglages jugés simples et basiques, c'est-à-dire que ces actions de maintenance ne nécessitent pas un démontage et l'exploitant du bien peut les faire lui-même ou confier la tâche à un opérateur non spécialisé, il n'y a aucun risque tant que les éléments de soutien sont intégrés au bien : par exemple une notice explicative ou des instructions visuelles. Parmi ces actions de maintenance on cite :

- relevé d'un compteur
- test d'un voyant lumineux
- remplacement d'une ampoule ou d'un fusible
- remise à zéro d'un automate

Niveau 2

Les actions de maintenance qui correspondent au Niveau 2 vont concerner des actions peu complexes**.** Elles appartiennent à la catégorie des actions de maintenance préventives ou de dépannages.Pour achever ces actions, il suffit de suivre une procédure simple et d'utiliser des équipements de soutien (ou intégrés) dont la mise en œuvre est simplifiée.Les pièces qui seront

remplacées lors de ces opérations ne doivent pas entraîner le démontage global de l'équipement.À ce stade, la personne apte pour la réalisation de ce type d'intervention est un technicien qui a reçu une formation préalable sur la sécurité et les risques dans l'entreprise.

- Vérification de capteurs;
- Remplacement d'une courroie ou de tresses ;
- Réenclenchèrent d'un disjoncteur;
- Changement d'un relais;
- Contrôles de performances;

Niveau 3

Les interventions de maintenance qui relèvent du Niveau 3 sont considérées comme complexes. L'intervention doit au préalable être le fruit d'un diagnostic et d'une identification.Ces interventions ont lieu sur place ou dans un atelier de maintenance dédié. Pour ce faire, il faut prendre en compte l'appareil dans la globalité de son fonctionnement. C'est-à-dire qu'une modification d'un élément peut interagir sur le fonctionnement général de l'appareil.Les actions de Niveau 3 sont réalisées par des techniciens spécialisés grâce à un outillage précisé dans les instructions de maintenance.

- vérification combustion d'une chaudière
- opération qui nécessite l'usage d'un instrument de mesure
- changement d'une pompe
- échange d'un composant

Niveau 4

Le 4eme Niveau rassemble les actions de maintenance corrective et préventive sauf ce qui concerne la rénovation ou la reconstruction. Ce sont des actions dites de grande importance qui nécessitent une expertise particulière.C'est pourquoi la maintenance de Niveau 4 est exécutée par un ou des techniciens avec une qualification spécifique. Ce type de travaux estsupervisé par un responsable spécialisé.La maintenance est effectuée dans des ateliers avec un outillage spécial (moyens de nettoyage, de câblage…) mais aussi de la documentation ou des bancs de mesure.

- réparation spéciale
- vérification d'un appareil de mesure
- analyse de vibration ou d'un niveau de chaleur
- révision d'une pompe

Niveau 5

Le dernier niveau de maintenance selon l'Afnor (Niveau 5) regroupe des opérations complexes**.**C'est pourquoi ces opérations sont souvent confiées au constructeur de l'appareil car les actions à mettre en place sont similaires à des actions de fabrication. On peut aussi faire appel à des prestataires externes. Les appareils concernés par la maintenance de niveau 5 sont des appareils lourds dont la mise en conformité doit être surveillée.

- mise en conformité d'un appareil selon une nouvelle réglementation
- reconstruction ou réparation d'un appareil**. [14]**

I.6. Politique de la maintenance :

La politique de maintenance consiste à fixer les orientations (méthode, programme, budget, etc.) dans le cadre des objectifs fixés par la direction de l'entreprise. La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- Maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- Maintenance internalisée et/ou externalisée ;
- Politique d'approvisionnement en pièces de rechange ;
- Développement des ressources humaines ;
- Management qualité de la fonction maintenance établissement du système sécurité, etc. **[13]**

I.7. Les paramètres de la sureté de fonctionnement

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. [15]

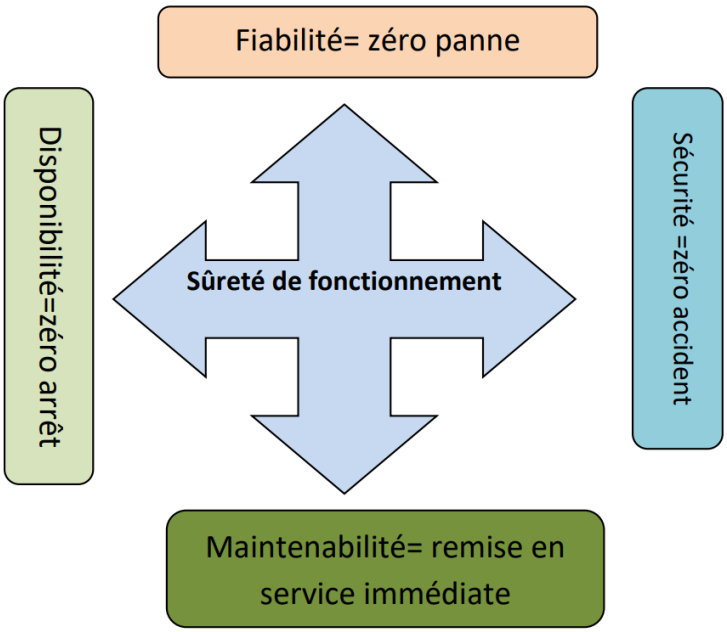


Figure I.3 :Organigramme des paramétres de surete de fonctionnement [15]

Au sens plus strict, la sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à assumer une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données

I.7.1. Fiabilité :

« 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. Donc la fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné**. [16]**

I.7.1.2. Conséquence d'une mauvaise fiabilité :

D'une manière générale une fiabilité insuffisante peut avoir des conséquences sur :

a. Le coût de la pièce hors d'usage
b. le coût des dégradations secondaires
c. Les frais occasionnés par la nécessité d'avoir un stock de pièces détachées important.
d. Coût de stockage, coût des dégradations des pièces en stock
e. la sécurité du personnel et des utilisateurs.**[17]**

I.7.1.3. Fiabilité opérationnelle

Elle résulte de l'observation et de l'analyse du comportement d'un certain nombre de dispositifs identiques, en conditions de fonctionnement réelles. En d'autres termes, il s'agit d'un traitement statistique d'un retour d'expérience. La probabilité moyenne issue de ce retour d'expérience n'a de sens qu'en considérant un nombre important de dispositifs La fiabilité opérationnelle est donc définie par **: [11]**

$$R(t) = \frac{nombre\ moyen\ dentite\ non\ défaillantes\ \text{à}\ l'instant\ t}{nombre\ total\ d'entite\ [0,t]} \qquad (\mathbf{I.1})$$

I.7.1.4. Indicateurs de fiabilité

I.7.1.4.1. Taux de défaillance:

Le taux de défaillance, noté (t), est un indicateur de fiabilité qui représente : Soit un taux supposé constant de défaillance par unité d'usage exprimé sous la forme générale :

$$ג = \frac{nombre\ de\ défaillance}{nombre\ d'usage} \qquad \mathbf{(1.2)}$$

Soit la fonction (t) qui représente une proportion de survivants à l'instant t, tirée d'un échantillon. Le taux de défaillance s'exprime le plus souvent en pannes par heure **[8]**

I.7.1.4.2. Temps moyen de bon fonctionnement Le MTBF

Est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, il correspond à l'Esperance de la durée de vie t. on peut dire que le MTBF est la durée de vie moyenne du système. **[17]**

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R\,(t)dt \qquad \mathbf{(I.3)}$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{Np} \qquad \mathbf{(I.4)}$$

TBF : Temps de Bon fonctionnement

Np : Nombre des pannes

I.7.2. Maintenabilité

I.7.2.1. Définition :

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, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.(NF EN 13306)

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. **[18]**

I.7.2.2. Maintenabilité et Maintenance

Pour un technicien de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention. Il est évident que la maintenabilité intrinsèque est le facteur primordial pour que la maintenance soit performante sur le terrain. En effet, une amélioration ultérieure de la maintenabilité initiale n'est jamais chose facile. Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable.**[19]** on distingue trois types de maintenabilité :

I.7.2.3.1. Maintenabilité intrinsèque

Pour construire une maintenabilité intrinsèque ; on doit prendre certain nombre de critères intégrés dès la conception d'un nouvel équipement. On cite les plus importants à savoir :

- Modularité et interchangeabilité
- Standardisation
- Accessibilité
- Aptitude à la pose et à la dépose
- Démontrabilité
- Détectabilité

La maintenabilité peut être calculée à partir du MTTR (moyenne des temps de réparation). Selon l'expression suivante :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{Np} \qquad \textbf{(I. 5)}$$

TTR : Temps de Réparation

u est le taux de réparation exprimé par :

$$u = 1/MTTR \qquad \textbf{(I. 6)}$$

Mathématiquement la maintenabilité est exprimée par la formule suivante :

$$M(t) = 1 - e^{\int_0^t u(x)dx} \qquad \textbf{(I.7)}$$

Si u constant cela implique que :

$$M(t) = 1 - e^{-ut} \qquad \textbf{(I. 8)}$$

I.7.2.3.2. Maintenabilité prévisionnelle

Elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité

I.7.2.3.3. Maintenabilité opérationnelle

Elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.**[19]**

I.7.3. Disponibilité :

I.7.3.1. Définition :

La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données (NF EN 13306**).**

I.7.3.2. Indicateurs de disponibilité :

La disponibilité (D) sur un intervalle de temps donné put être évaluée par le rapport :

$$D = \frac{MUT}{MUT+MDT} \qquad \textbf{(I.9)}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \qquad \textbf{(I.10)}$$

D'où :

MUT : Mean Up Time (Temps Moyen de Disponibilité)

MDT : Mean Down Time (Temps Moyen d'indisponibilité**). [14]**

I.7.4. Sécurité :

I.7.4.1. Définition :

C'est l'aptitude d'un système à ne pas connaître de pannes considérées comme catastrophiques pendant une durée donnée**.**

I.7.4.2. Mesures de sécurité

Nous pouvons distinguer les mesures de sécurité par leur mode d'action : les sécurités passives et les sécurités actives.

I.7.4.2.1. Sécurités passives

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 à la limitation des conséquences des accidents (l'isolation électrique est une mesure passive et préventive).

I.7.4.2.2. 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.**[20]**

I.8. Conclusion

La maintenance est une activité clé qui garantit le bon fonctionnement des équipements. En réduisant les pannes et en optimisant les performances, elle contribue à la productivité et à la durabilité des systèmes industriels Grâce aux nouvelles technologies, elle devient plus efficace, préventive et proactive, renforçant ainsi la compétitivité des entreprises.

CHAPITRE II

II.1.Introduction :

La prise de décision multicritères (MCDM), ou aide à la décision multicritères (MCDA), est un domaine clé dans les sciences de la décision qui vise à fournir des méthodologies permettant de résoudre des problèmes complexes impliquant plusieurs critères parfois conflictuels. Ces méthodes sont largement utilisées dans des contextes variés comme l'industrie, la gestion de projets, l'évaluation environnementale ou encore l'urbanisme.

II.2.Histoire de l'approche multicritère à la décision :

L'histoire de la prise de décision multicritère remonte au 18 ème siècle quand Le Marquis de Condorcet a publié pour la première fois son livre intitulé « *la prise de décision par la pluralité de voix* » avec l'apparition des origines des systèmes de vote « voting systems » qui étaient souvent attribués à Le Chevalier Jean-Charles De Borda en (1733-1799).Cependant, Ramon Llull (1232- 1316) a introduit le concept de la comparaison par paires avant Condorcet, tandis que Nicolaus Cusanus (1401-1464) a introduit « la méthode de pondération » environ trois siècles et demi avant Borda. Ainsi, il est à noter également qu'une lettre de Pline Le jeune (~ AD 105) à Titus Aristo prouve qu'il a introduit la stratégie de vote d'approbation ternaire « *the ternary approval voting strategy* » et qu'il s'est intéressé aux systèmes de vote long temps avant Ramon Llull et Nicolaus Cusanus. Il y a quelques similitudes entre « *La méthode de pondération* » de Borda et les théories récentes d'util§ité de valeur et entre la méthode de Condorcet et les méthodes actuelles de Sur classement**. [21]**

Pareto en (1896) a fondé pour la première fois une base pour aborder les décisions concernant les problèmes en présence de critères multiples. Un des résultats les plus importants de la recherche de Pareto était l'introduction du concept d'efficacité. Koopmans (1951) a élargi le concept de l'efficacité de Pareto par l'introduction du concept de l'ensemble efficace qu'il a défini comme étant un ensemble de solutions alternatives non-dominées. **[21]**

Pendant les années 1940 et 1950, Von Neumann et Morgenstern (1944) ont introduit la théorie de l'utilité, l'une des bases méthodologiques principales des méthodes multicritères modernes de la prise de décision et la science de décision en général. Un changement important au sujet de l'analyse multicritères a été introduit par Simon, qui a développé la théorie de la « rationalité limitée ». Simon stipule qu'un décideur choisit une solution satisfaisante "satisficing" plutôt qu'une solution optimale et que la rationalité n'est pas indépendante du processus de la décision, mais doit être trouvée dans le processus lui-même (Simon 1976). Ce point peut être vu comme le début des approches d'aide à la décision**. [22]**

Dans les années 60, l'analyse multicritère a commencé à avoir son propre vocabulaire. Charnes et Cooper (1961) ont élargi la théorie traditionnelle de la programmation mathématique par la proposition de la programmation par buts « goal programming ». Fishburn (1965) a étudié l'extension de la théorie de l'utilité en présence de critères multiples. Il est à noter que toutes ces études reviennent à des chercheurs travaillant aux Etats-Unis. Vers la fin des années 60, la prise de décision multicritère a attiré l'attention des chercheurs européens. Roy (1968), l'un des pionniers de ce domaine, a introduit les méthodes de sur classent. Il est considéré le fondateur de l'école « européenne » de la prise de décision multicritère. **[21]**

En 1972, le premier congrès sur les approches multicritères a eu lieu en Caroline du Sud aux Etats Unis. Le premier ouvrage complet des approches multicritères a été présenté en 1976

par Keeney et Raiffa dont le contenu est encore utile jusqu'à aujourd'hui. Ils ont basé leur Étude sur la théorie de la décision, qui pour la plupart est associée aux arbres de décision, la modélisation de l'incertitude et la règle d'utilité prévue. En élargissant la théorie de la décision pour s'adapter aux conséquences multi attribues, Keeney et Raiffa ont proposé une intégration théorique de l'incertitude liée aux conséquences futures et les objectifs multiples. Ils ont agrandi l'ensemble des axiomes de telle sorte que les décisions dont les objectifs sont multiples peuvent être analysées. **[23]**

Dans les années 80, des méthodes interactives d'ordinateur ont été proposées. Elles ont facilité considérablement la communication entre les décideurs. En 1985, les méthodes multicritères avaient acquis de la réputation mondiale. Pendant les années 90, les méthodes de l'analyse multicritère ont évolué théoriquement et pratiquement en profitant des recherches avancées dans le domaine de la technologie de l'information et l'intelligence artificielle.

Les approches multicritères sont développées fondamentalement dans deux écoles, l'école européenne et l'école américaine. La première se diffère de la dernière du fait qu'elle cherche à donner des recommandations alors que l'école américaine essaye d'approcher une solution idéale dérivée d'un ensemble d'axiomes. **[24]**

L'école européenne étudie les méthodes discrètes et les relations de sur-classement tandis que l'école américaine s'intéresse aux méthodes de l'utilité additive. **[25]**

II.3. Définition :

La prise de décision multicritères (MCDM) est un outil de prise de décision qui aide les décideurs à choisir la meilleure solution parmi plusieurs options et alternatives et à développer différentes méthodes pour résoudre processus de prise de décision complexe dans (MCDM) en utilisant plusieurs méthodes avec MCDM (FUZZYAHP), (BWM, (DEMATEL), (TOPSIS) et (SAW) **[26]**

II.4.Étapes générales du MCDM :

La matrice multicritère peut être déclinée sous la forme d'une matrice de compatibilité.

Cette matrice a pour but d'analyser la compatibilité entre les options et les critères. Lorsqu'on Pose un problème multicritère un processus de prise de décision déclenche pour résoudre ce Problème. Ce dernier comporte trois étapes : [**27]**

II.4.1.Structuration d'un problème de décision :

Cette étape doit planifier le type d'actions à entreprendre pour chacune des activités Suivantes

• Identifier le(s) décideur(s).

• Définir le(s) but(s).

• Analyser les alternatives réalisables qui seront évaluées.

• Déterminer les critères d'évaluation des conséquences de chaque alternative**. [27]**

II.4.2.Détermination et application de la méthode :

La méthode MCDM ne doit pas être choisie avant que le problème de décision ait été Structuré ainsi que le contrôle de l'applicabilité de méthode au problème. Cette étape peut Couvrir les activités suivantes :

- Pondération de l'importance de chaque critère par rapport à l'objectif (Dresser la liste des Critères à prendre en considération).
- Noter la préférence de chaque alternative par rapport au critère (Établir le tableau des Performances).
- Calculer les notes globales pondérées des alternatives.
- Classement de toutes les alternatives réalisables en fonction du score pondéré (Agréger Les performances).

II.4.3. Détermination de la recommandation finale MCDM :

Les résultats obtenus doivent être examinés en détail, en effectuant une analyse de Sensibilité qui peut être utilisée pour répondre aux exigences du choix désiré

II.5. Analyse par enveloppment des données(DEA)

L'analyse par enveloppement des données est une méthode qui fournit des estimations de l'efficacité relative d'un ensemble d'unités décisionnelles (comme les banques, les écoles et les hôpitaux), en fonction des intrants et des extrants. Lorsque l'efficacité de chaque banque est définie entre 0 et 1, les scores les plus élevés se référant à une banque plus efficace que les autres de l'échantillon. Un des avantages de la méthode DEA est qu'elle fonctionne relativement bien avec de petits échantillons. Ces autres avantages sont qu'elle n'exige aucune hypothèse sur la distribution de l'inefficacité et ne nécessite pas de format de données spécifique pour déterminer quelles sont les banques les plus efficaces. Cependant, la méthode DEA est soumise à certaines limitations, notamment, les données sont supposées être exemptes d'erreurs et sensibles aux valeurs extrêmes. [**28]**

II.6. Processus d'analyse hiérarchique (AHP):

Le processus d'analyse hiérarchique (AHP4), présenté par Saaty (1980), est un outil efficace pour faire face à la prise de décision complexe, et peut aider le décideur à établir des priorités et prendre la meilleure décision. En réduisant les décisions complexes à une série de comparaisons deux-a-deux, puis synthétiser les résultats, l'AHP aide à capturer les deux aspects subjectifs et objectifs d'une décision. En outre, l'AHP intègre une technique utile pour vérifier la consistance des évaluations du décideur, réduisant ainsi la partialité dans le processus de prise de décision. [**29]**

II.6.1. Principe de l'AHP

L'AHP considère un ensemble de critères d'évaluation, et un ensemble d'alternatives dont la meilleure décision doit être faite. Il est important de noter que, puisque certains des critères pourraient être contrastés, il n'est pas vrai, en général, que la meilleure alternative est celle qui optimise chaque critère unique, mais plutôt celle qui réalise le compromis le plus approprié parmi les différents critères.

L'AHP génère un poids pour chaque critère d'évaluation selon les comparaisons deux-a-deux du décideur des critères. Plus est grand le poids, le plus important est le critère correspondant. Ensuite, pour un critère fixe, l'AHP attribue un score à chaque alternative en fonction de comparaisons deux-a-deux du décideur des alternatives fondées sur ce critère. Plus le score est élevé, meilleure est la performance de l'alternative par rapport au critère considéré.

Enfin, l'AHP combine les poids de critères et les scores des alternatives, déterminant ainsi un score global pour chaque option, et un classement qui en résulte. Le score global pour une option donnée est une somme pondérée des scores qu'il a obtenus à l'égard de tous les critères. [**29]**

II.6.2. Etape de L'AHP

L'AHP fournit un moyen de décomposer un problème en une hiérarchie de sous-problèmes qui peuvent être compris et évalué plus facilement et subjectivement. Les évaluations subjectives sont converties en valeurs numériques et traitées pour classer chaque alternative sur une échelle numérique. La méthodologie de l'AHP peut être expliquée dans les étapes suivantes :

a) Le problème est décomposé en une hiérarchie de buts, critères, sous-critères et alternatives. Ceci est la partie la plus importante et créative de la prise de décision. Structurer le problème de décision comme une hiérarchie est fondamentale pour le processus de l'AHP. La hiérarchie indique une relation entre les éléments d'un niveau avec ceux du niveau immédiatement inférieur. Cette relation percole vers le bas pour les niveaux les plus bas de la hiérarchie et de cette manière chaque élément est reliée à tous les autres, du moins d'une manière indirecte. Une hiérarchie est une forme plus ordonnée d'un réseau. Une structure d'arbre inversé est semblable à une hiérarchie. Saaty (1980) suggère qu'un moyen utile pour structurer la hiérarchie est de travailler vers le bas de l'objectif dans la mesure où l'on peut et ensuite travailler à partir des alternatives jusqu'à ce que les niveaux des deux processus sont liés de manière à rendre possible les comparaisons. . A la racine de la hiérarchie il y a le but ou l'objectif d'étudié et analysé de problème. Les nœuds représentent les alternatives à comparer. Entre ces deux niveaux sont différents critères et sous-critères. Il est important de noter que lorsque le décideur compare des éléments de chaque niveau, il compare seulement la contribution des éléments de niveau inférieur à ceux de niveau supérieur. Cette concentration locale du décideur sur seulement une partie de l'ensemble du problème est une fonctionnalité puissante de l'AHP.

b) Les données sont recueillies par des experts ou des décideurs correspondant à la structure hiérarchique, dans la comparaison deux a deux des alternatives sur une échelle qualitative comme décrit ci-dessous. Les experts peuvent évaluer la comparaison comme égale, légèrement fort, fort, très fort, et extrêmement fort.«X» dans la colonne marquée «très forte» indique que B est très forte par rapport à A en termes de critère sur lequel la comparaison est faite.

c) Les comparaisons deux à deux de différents critères générés à l'étape 2 sont organisées en une matrice carrée. Les éléments de la diagonale de la matrice sont 1. Le critère dans la rangée i est mieux que critère dans la colonne j si la valeur de l'élément (i, j) est supérieure à 1 ; sinon le critère de la colonne j est meilleur que celle dans la ligne i. L'élément (j, i) de la matrice est l'inverse de l'élément (i, j).

d) La principale valeur propre et le vecteur propre droit normalisé correspondant de la matrice de comparaison donnent l'importance relative des différents critères étant comparée. Les éléments du vecteur propre normalisé sont appelés poids par rapport aux critères ou sous-critères, et notes par rapport aux alternatives.

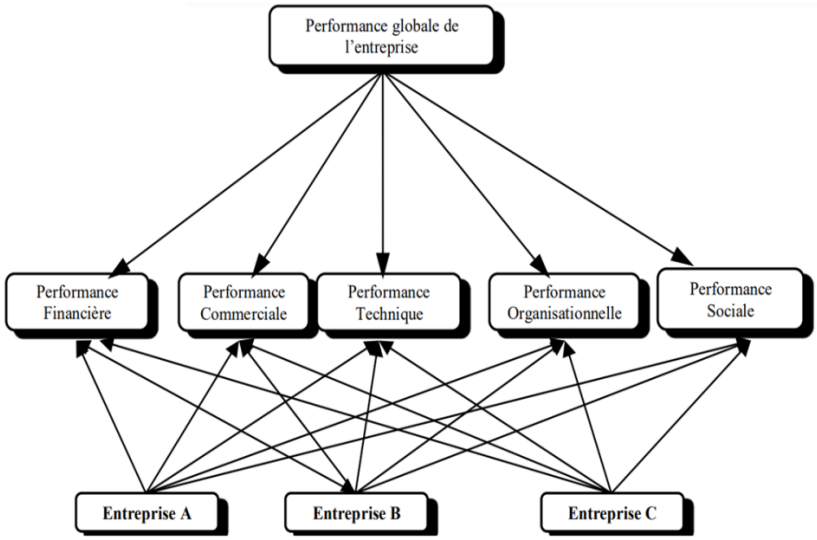
e) La consistance de la matrice d'ordre n est évaluée. Les comparaisons faites par cette méthode sont subjectives et l'AHP tolère incohérence par la quantité de redondance dans l'approche. Si cet indice de consistance ne parvient pas à atteindre un niveau requis, les réponses aux comparaisons peuvent être réexaminées. L'indice de consistance, CI, est calculé comme

$$\mathbf{CI} = \frac{(\lambda_{max} - \boldsymbol{n})}{\boldsymbol{n} - \mathbf{1}} \qquad (\mathbf{II.1})$$

Où λmax est la valeur propre maximale de la matrice de jugement. Ce CI peut être comparé à celui d'une matrice aléatoire RI. Le ratio dérivé CI / RI est appelée le rapport de cohérence CR. Saaty (1980) indique la valeur de CR doit être inférieure à 0,1.

f) Le classement de chaque alternative est multiplié par les poids des sous-critères et agrégées pour obtenir des classements locaux par rapport à chaque critère. Les évaluations locales sont ensuite multipliées par les poids des critères et agrégées pour obtenir les classements globaux.

L'AHP produit des valeurs de poids pour chaque alternative basée sur l'importance jugée d'une alternative sur une autre par rapport à un critère commun**. [29]**



FigureII.01 : Hiérarchie générale de la méthode AHP

II.7. Méthode Electre :

La méthode ELECTRE, initialement proposée par Bernard Roy et son équipe chez SEMA Conseil, a évolué au fil du temps pour inclure différentes versions telles que ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS, ELECTRE TRI et autres. Il a été appliqué avec succès dans divers domaines tels que l'alimentation, les soins de santé, la gestion des infrastructures, la finance, la gestion des ressources en eau et d'autres domaines. Cette méthode est classée comme méthode d'amélioration du processus de prise de décision. Il se compose de deux étapes principales : la première consiste à classer les relations pour comparer différentes solutions alternatives par paires, tandis que la deuxième étape génère des recommandations basées sur la première étape.

La méthode ELECTRE peut être utilisée pour différents types de décisions, notamment la sélection, la priorisation ou le triage, sur la base des recommandations formulées lors de la première étape. Il est généralement appliqué pour identifier les solutions inacceptables parmi un ensemble de solutions, en utilisant le concept de classement des alternatives en fonction d'un ensemble d'attributs ou de critères.**[31]**

II.8.FUZZY-AHP :

FUZZY-AHP la logique floue est une approche qui traite des données incertaines et des connaissances non implémentées. Lorsque les décideurs doivent tenir compte de circonstances incertaines. Avec une incertitude dans la pensée et la perception humaines. Clusters flous de type 2 Clusters flous de type 1 généralisés, ce qui crée plus d'incertitude lors de la définition de la fonction d'appartenance. Certains problèmes de prise de décision floue multicritères sont étendus à l'aide d'ensembles flous de type 2. Les ensembles généraux d'ambiguïté de type 2 étant plus complexes, l'utilisation d'ensembles flous d'intervalle de type 2 a été proposée pour traiter l'incertitude. Maillage Pro Flou **[32]**

II.8.1. Etapes de méthode FUZZY-AHP

Critères de comparaison Après établissement du réseau : Des matrices de comparaison floues évaluées parmi tous les critères des systèmes du réseau selon le tableau 1 [**32]**

Tableau. II .1: L'échelle fondamentale pour la comparaison par paires FUZZY-AHP

Variables linguistiques	Valeurs numérique	Échelles floues d'intervalle trapézoïdal
Absolument importan	**9**	**(9, 9,9)**
Fortement important	**7**	**(6, 7,8)**
Très important	**5**	**(4, 5,6)**
Faible importance	**3**	**(2, 3,1)**
D'importance égale	**1**	**(1, 1,1)**

2. Calcul des moyennes géométriques et des poids flous

Calcul des moyennes géométriques et des poids flous : La moyenne géométrique de chaque ligne calculée après que les poids flous sont calculés par normalisation. La moyenne géométrique de chaque ligne

$$r_i = (\boldsymbol{a_{il}} \otimes \ldots\ldots \otimes \boldsymbol{a_{im}})^{1/n} \forall i, \qquad \text{(II.2)}$$

$$Wi = \boldsymbol{ri} \otimes (\boldsymbol{r_1} \oplus \ldots\ldots \oplus \boldsymbol{r_n})^{-1} \qquad \text{(II.3)}$$

$$U_i = \sum_{i}^{n} w_i r_{ij} \qquad \text{(II. 4)}$$

Où : U_i: est l'utilité floue de l'alternative ou du critère.

3. Obtention de super matrices :

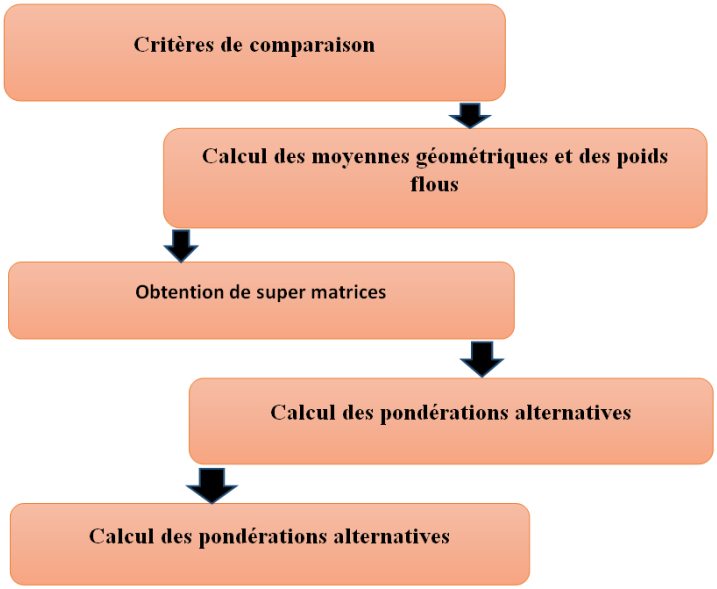
Obtention de super matrices Pour obtenir des matrices non granulaires, la super-matrice non pondérée qui inclut à la fois les dépendances internes/externes et la rétroaction est traitée à l'aide des poids obtenus. La super-matrice pondérée est calculée après normalisation à la super-matrice non pondérée. L'hyper-borne est calculée en multipliant 2 k+1 fois par l'hyper matrice pondérée où k est le très grand nombre

4. Calcul des pondérations alternatives :

Les poids des alternatives sont calculés en multipliant les poids des principaux critères, sous-critères, limites et alternatives déterminés par l'expert. La normalisation est également appliquée pour tous les critères

5. Sélection de la meilleure alternative :

Sélection de la meilleure alternative Enfin, une alternative qui a le poids maximum est sélectionnée parmi toutes les alternatives comme étant la meilleure alternative



FigureII.03 : Etapes de la technique FUZZY- AHP

II.9. Méthode EDAS :

La méthode EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) (Keshavarz Ghorabaee et al. 2015), qui peut prendre en compte les attributs conflictuels, a été étudiée dans de nombreux problèmes de prise de décision multi-attributs (MCDM).dans de nombreux problèmes de prise de décision multi-attributs (MCDM). En calculant la solution moyenne (AV_j), ce modèle peut décrire la différence entre toutes les alternatives et la solution moyenne (AV_j) basée sur deux distances.

Solution moyenne (AV_j) sur la base de deux mesures de distance, à savoir PDA (Positive Distance from Average) et NDA (Negative Distance from Average), l'alternative ayant des valeurs plus élevées de PDA et des valeurs plus faibles de PDA et de NDA.

De PDA et les valeurs inférieures de PDA est le meilleur choix. Pour combiner le modèle EDAS avec les PFNS Nous construisons le modèle EDAS flou dont les valeurs d'évaluation sont présentées par des PFN.

Les étapes de calcul du modèle proposé peuvent être établies comme suit **[33]**

Etape1 : Détermination de la solution moyenne

$$AV_J \equiv \frac{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}}{n} \qquad (\mathbf{II.5})$$

Etape2 : Calculer la distance positive par rapport à la moyenne (PDA)

Si le critère j est bénéfique

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_J))}{AV_J} \qquad (\boldsymbol{II.6})$$

Si le critère j n'est pas bénéfique

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_J - X_{ij}))}{AV_j} \qquad (\boldsymbol{II.7})$$

Etape3 : Calculer la distance négative par rapport à la moyenne(NDA)

Si le critère j est bénéfique

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \qquad (\boldsymbol{II.8})$$

Si le critère j n'est pas bénéfique

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_J} \qquad (\boldsymbol{II.9})$$

Etape4 : **Somme pondérée des PDA**

$$SP_i = \sum_{j=1}^{m} w_j PDA_{ij} \qquad (\mathbf{II.11})$$

Etape5 :Somme pondérée des NDA

$$SN_i = \sum_{j=1}^{m} w_j NDA_{ij} \qquad (\boldsymbol{II.12})$$

Etape 6 : Calculer la valeur normalisée SP et SN

$$NSP_i = \frac{SP_i}{max_i\,(SP_i)} \qquad (\boldsymbol{II.13})$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{max_i\,(SN_i)} \qquad (\boldsymbol{II.14})$$

Etape 7 : Calculer la valeur normalisée NSP et NSN

$$AS_i = \frac{1}{2(NSP_i + NSN_i)} \qquad (\boldsymbol{II.15})$$

II.10.TOPSIS :

Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) est. Une technique l'aide à la décision multicritère pour le classement et la sélection parmi un certain nombre D'alternatives via la distance euclidienne, développée par Hwang et Yoon (Hwang & Masud 1979). [**34]**

II.10.1. Etapes de TOPSIS

Étape 1 : Matrice de décision est générée :

La matrice de décision est générée sous la forme $\boldsymbol{A} = (\boldsymbol{X_{ij}})\ \boldsymbol{m} \times \boldsymbol{n}$ qui contient m alternatives, notés $\boldsymbol{d_1}$, $\boldsymbol{d_2}$, … $\boldsymbol{dm}$et n critères, notés $\boldsymbol{C_1}$, $\boldsymbol{C_2}$, . . ., $\boldsymbol{C_n}$, avec la performance de chaque alternative sur un critère donné comme $\boldsymbol{X_{i}}$j

Etape 2 : Matrice de décision doit être normalisée :

Calcul de la matrice de décision normalisée (NDM) pour représenter la performance relative des alternatives, la NDM a construit comme suit :

$$X = L_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum x^2}} = 1{,}2 \ldots\ldots, m, j = 1{,}2, \ldots\ldots n \qquad (\boldsymbol{II.17})$$

Etape 3 : Détermination de la matrice

Détermination de la matrice de décision pondérée normalisée (WNDM) En multipliant chaque élément de chaque colonne de NDM, on obtient une matrice de décision pondérée.

$$V = V_{ij} = W_i * L_{ij} \qquad (\boldsymbol{II..18})$$

Etape 4 : Identification du PIS et du NIS Identification du PIS et du NIS

Le PIS (I+) et le NIS (I-) sont définis par rapport à la matrice de décision pondérée comme suit :

$NIS = I^{-} = \{V-1, V-2, \ldots . V-m\}$; ou

$\boldsymbol{V^{-}i}$ = {(min ($\boldsymbol{V^{-}_{ij}}$) **if** $\boldsymbol{m \epsilon J}$; ($\boldsymbol{maxV^{-}_{ij}}$ if m ϵ J')}

Avec J critère favorable (bénéficier) et J'critère défavorable (non bénéficier).

Etape 5 : **Solution idéale S^{+} et la solution anti-idéale S^{-}**

Sont définies comme suit : Distance de séparation entre PIS et NIS de chaque alternative. Tapez une équation ici

$$\boldsymbol{S_i^{+}=[\sum_{i=1}^{m}(v_i^{+}-v_{ij})^{2}]^{0.5}}_{\mathbf{i=1,2\ldots m}}$$

$$\boldsymbol{S_i^{-}=[\sum_{i=1}^{m}(v_i^{-}-v_{ij})^{2}]^{0.5}}_{\mathbf{i=1,2\ldots m}}$$

Etape 6 : Proximité relative de chaque alternative avec la solution idéale

Proximité relative de la solution idéale. La proximité relative de la solution idéale est calculée comme :

$$\boldsymbol{p_{i=\frac{s_i^{-}}{(s_i^{+}+s_i^{+})}}\ 0 \leq P_i \leq 1},$$

Etape 7 : Classement de l'ordre de préférence

Le classement est fait sur la base des valeurs de Pi la valeur la plus élevée de la proximité relative à un rang élevé et donc la meilleure performance de l'alternative. Classer la préférence par ordre décroissant pour comparer les meilleures performances de l'alternative [**35]**

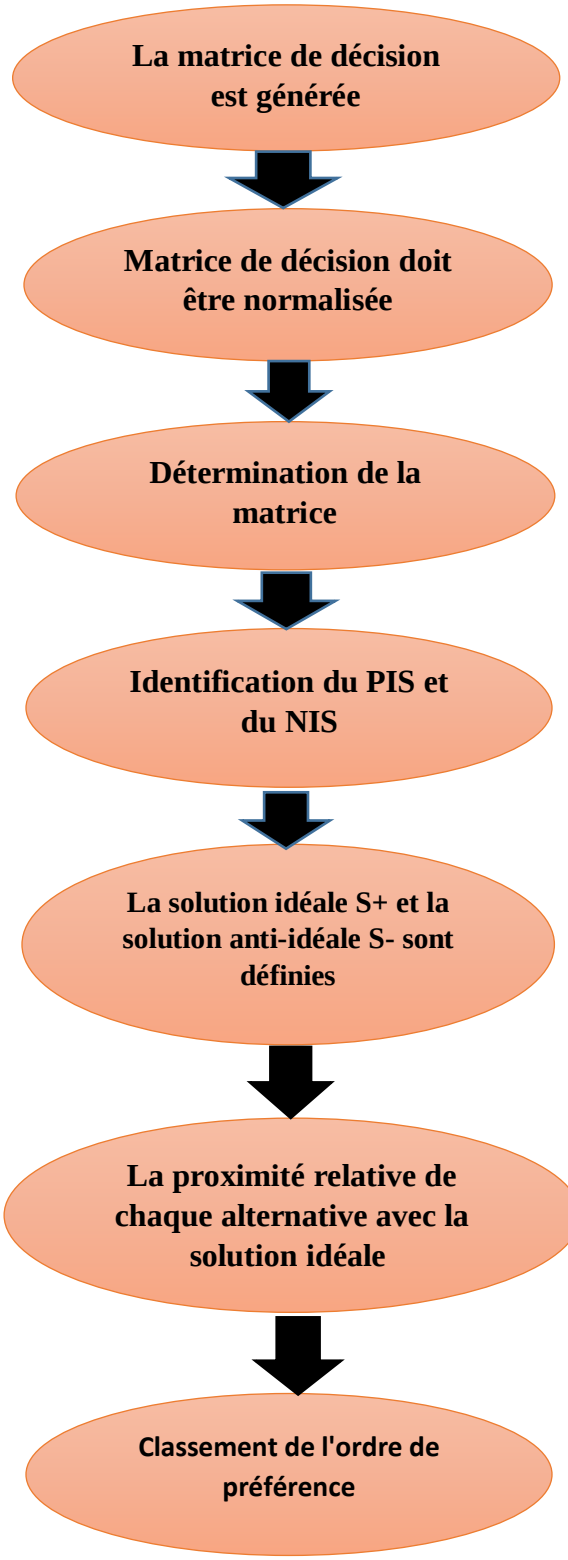


Figure II. 4 : processus de la méthode TOPSIS

II.11.Opérateur d'agrégation ?

Un opérateur d'agrégation peut être considéré comme une fonction mathématique qui Prend une entrée, appelée l'argument, et produit une sortie unique représentant le score global de l'entrée.

Chaque entrée a une unique sortie associée à celle-ci. La fonction d'agrégation est Généralement désignée par y = f (x), où x est l'argument et y est la valeur agrégée. L'argument x peut être un vecteur de taille n : x = (x_1, x_2, ..., x_n), et x_1, x_2. . , x_n sont appelés Composants de x.

Il est important de comprendre que f peut être représenté de plusieurs manières :

a) comme une formule algébrique.

Exemple : f(x) = x_1 + x_2 - x_3,

b) en tant qu'une représentation graphique de la fonction (par exemple, en 2D, 3D ou en

Tracé de contour),

c) verbalement, comme une séquence d'étapes (p. ex. prendre la moyenne des composantes

De x), ou plus formellement comme un algorithme,

d) comme une table de recherche,

e) comme solution à une équation (algébrique, différentielle ou fonctionnelle),

f) en tant que sous-programme informatique qui renvoie une valeur y pour tout x spécifié (donc appelé oracle**). [36]**

II.12.Quelques opérateurs d'agrégation

Il existe de nombreux opérateurs d'agrégation, nous ne présenterons dans cette section Qu'une sélection de ces opérateurs.

II.12.1.Somme pondérée :

La somme pondérée est un opérateur d'agrégation souvent utilisé pour sa simplicité démise en œuvre. Elle demande d'attribuer un poids à chaque critère en fonction de son importance dans un problème de décision. Elle est définie par :

$$\psi\,(\mathrm{a1}\ldots..\mathrm{an}) = \sum_{i=1}^{n} W_i\, A_i\, \psi\,(a_{1\ldots.}a_n) = \sum_{i=1}^{n} W_i A_i \quad (\boldsymbol{II.19})$$

Avec Wi ∈ [0, 1] les poids des critères tels que

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1 \qquad (\boldsymbol{II.20})$$

La somme pondérée est un opérateur très limité du fait qu'il ne permet pas de prendre en compte les dépendances entre les critères. Par ailleurs, les préférences du décideur sont prises en compte de manière simpliste, à travers de simples poids affectés à chaque **c**ritère**[29]**

II.12.2.Somme pondérée ordonnée

La somme pondérée ordonnée pour (Ordered Weighted Averaging - OWA) est une

Classe d'opérateurs d'agrégation qui détermine le poids du critère en fonction de son degré de

Satisfaction à la différence de la somme pondérée où le poids dépend de la nature du critère.

Elle est définie par :

OWAw (a1 ... an $= \sum_{i=1}^{n} wiai$

Avec W = (w_1, ...,w_n) un vecteur de poids, Wi∈ [0, 1] tel que

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1$$

Où la notation (i) est une permutation des indices telle que : a (1) ≤ ... ≤ a(n).

Il est possible de modéliser un grand nombre de fonctions de base telles que :

- la fonction « Max » avec un vecteur W = (0, 0, ..., 1)

- la fonction « Min » avec un vecteur W = (1, ..., 0, 0)

- la fonction « moyenne » avec pour n critères un vecteur $w = (\frac{1}{n}, ...\frac{1}{n})$

II.12.3. L'intégrale de Sugeno

Contrairement à l'intégrale de Choquet qui utilise des évaluations quantitatives, l'intégrale de Sugeno est utilisée pour des évaluations qualitatives. L'intégrale de Sugeno a étéintroduite dans [113]. Nous considérons ici l'intégrale de Sugeno dans sa version discrète, appliquée à l'agrégation de préférence. Nous considérons également un ensemble L totalementordonné, pas nécessairement un ensemble numérique, appelé échelle d'évaluation, et dont leséléments minimum et maximum sont notés respectivement 0 et 1. L'intégrale de Sugeno estdéfinie par rapport à une capacité de l'ensemble N qui est une fonction :

μ : $2^n \rightarrow$ L tel que : μ(∅) = 0 et μ(N) = 1, pour I ⊆ J ⊆ N : μ(I) ≤μ (J).

Pour tout ensemble de critères I ⊆ N, la valeur de μ (I) peut être interprétée comme le degréd'importance associé à I. Soit une capacité μ : 2n → L. L'intégrale de Sugeno définie par

Rapport à μ, notée Sμ, est exprimé sous la forme :

$$S_{\mu}(y_1, y_2, y_3 \ldots . y_n) = V_{i=1}^{n}(y_i \bigwedge (\mu\{(i) \ldots . . (n)\}) \qquad (\boldsymbol{II.21})$$

Où (i) désigne la permutation des composantes de y = (y_1, ..., y_n) telle que y (1) ≤ ... ≤y(n).

Par cette formule, on voit en particulier que μ détermine Sμ entièrement et uniquement.

Le Problème d'apprentissage d'une intégrale de Sugeno Sμ peut donc être réduit à celui d'apprentissage de la capacité correspondante μ.

Nous allons voir une série d'opérateurs d'agrégation dont les évaluations sont quantitatives et

Sont proches de la somme pondérée.[**36]**

II.13. MOORA:

MOORA, développé par Brauers et Zavadskas, est une méthode MCDM comprenant deux phases, à savoir l'approche du point de référence et l'approche du système de ratio, et permet de mesurer des critères bénéfiques et non bénéfiques dans un processus des élection avec un ensemble d'alternatives. Une matrice de décision initiale dont le kj-ième élément affiche l'évaluation de la performance de la k-ième alternative (k=,1…, t) sur le j-ième critère de décision (j = ,1…, n) est formée. Par conséquent :[**36]**

II.13.1. Etapes de méthode MOORA

Étape 1 : Normalisation de la matrice de décision.

Pour obtenir des éléments sans dimension et comparables dans le processus d'évaluation, les éléments kj-ième de la matrice initiale sont normalisés en utilisant les équations suivantes :

$$R_{kj} = \frac{X_{kj}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{t} x^2 kj}} \qquad (\boldsymbol{II.22})$$

Étape 2 : Détermination de la matrice normalisée pondérée

. L'élément kj-ième de la matrice normalisée est remplacé par celui calculé en utilisant ce qui suit :

$$V_{kj} = R_{kj} W_j \qquad (\boldsymbol{II.23})$$

Étape 3 : Calculer la note globale des critères positif et négatif pour chaque alternative.

La note globale de la k-ième alternative considérant les critères bénéfiques et non-bénéfiques

Est calculée en appliquant les équations. (17) et (18), respectivement

$$S_k^+ = \sum_{j \in J^{max}} V_{kj} \qquad (\boldsymbol{II.24})$$

Où J ^{max}est l'ensemble d'indices de l'ensemble des critères bénéfiques pour lesquels des valeurs plus élevées sont souhaitables ;

$$S_K^- = \sum_{J \in J^{min}} V_{kj} \qquad (\boldsymbol{II.25})$$

Où J ^{min}est l'ensemble d'indices de l'ensemble des critères non bénéfiques pour lesquels les valeurs inférieures sont préférables.

Étape 4 : Évaluer la performance globale de chaque alternative.

La performance globale de la k ième alternative est calculée comme la différence entre les notes globales pour les critères bénéfiques et non bénéfiques :

$$S_k = S_k^+ - S_k \qquad (\boldsymbol{II.26})$$

Étape 5 : Classement des alternatives

Les valeurs forment une échelle cardinale qui peut être utilisée pour comparer et classer les alternatives : plus la valeur de l'alternative est élevée plus elle est préférée dans le classement final. [**29]**

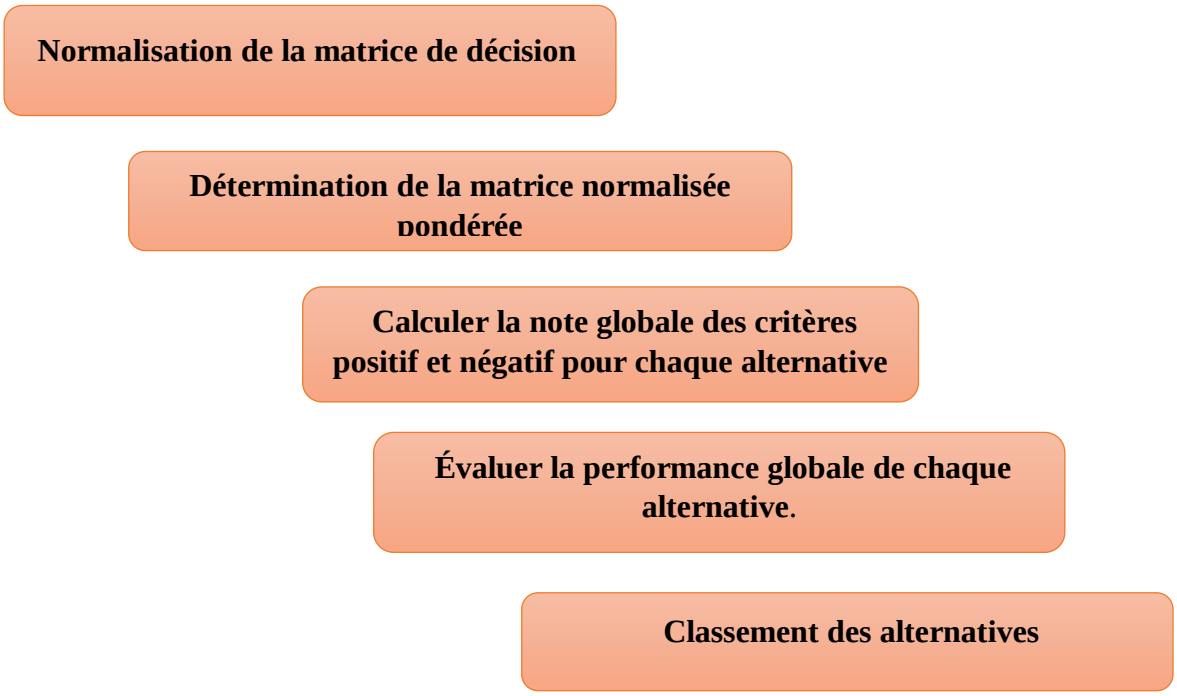


Figure II.5 : les étapes de méthode MOORA

II.14.Objectif de l'aide à la décision :

L'objectif de l'aide à la décision n'est donc pas de prendre la décision à la place du décideur mais bien de lui donner les informations pertinentes pour qu'il puisse les comprendre, lui donner des éléments de solution et les conséquences de chaque alternative afin qu'il puisse

Prendre la décision la plus appropriée. Il ne s'agit pas de décision optimale mais de décision **;**

II.15. Conclusion :

La méthode MCDM (Multi-Criteria Decision-Making) est une approche puissante et versatile pour aider à prendre des décisions complexes impliquant plusieurs critères. Elle permet d'évaluer et de comparer diverses alternatives en fonction de différents paramètres, souvent contradictoires, et ce, dans des contextes variés (comme la gestion, l'ingénierie, ou l'économie).

CHAPITRE III

III.1.Introduction

Les camions de transport sont des équipements essentiels dans les mines, mais leurs pannes fréquentes dues aux conditions de travail difficiles impactent négativement la productivité. Une maintenance efficace est essentielle pour assurer la continuité opérationnelle, mais son succès dépend en grande partie de la disponibilité rapide des pièces de rechange.

Ce chapitre vise donc à améliorer l'efficacité de la maintenance en optimisant l'approvisionnement en pièces de rechange grâce à l'application d'une méthodologie d'aide à la décision multicritère (MCDM). La technique Fuzzy- AHP seront utilisées pour déterminer la pondération des critères en cas d'incertitude, et la technique EDAS seront utilisées pour classer les alternatives et sélectionner les plus appropriées.

Cela permettra de développer un modèle permettant de prendre des décisions plus efficaces en matière de gestion des pièces de rechange, ce qui aura un impact positif sur les performances des camions de transport dans la mine.

III.2.Présentation de la mine

La mine d'El-Ouenza Elle est située à 120 kilomètres au Sud-sud-est d'Annaba. Elle est aussi limitée à l'est par la frontière Algérois-tunisienne et au nord par la wilaya de Souk-Ahras, et est limitée par deux oueds appelés respectivement « Oued Mellegue » et « Oued Kseub ». Elle est reliée à Annaba par la route nationale N°82B et une voie ferroviaire par laquelle est acheminée toute la production de l'unité de l'Ouenza vers l'installation portière ou elle serait expédiée vers le complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Le complexe minier de djebel l'Ouenza est une unité de production du minerai de fer. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba.

Les principales voies de communications sont représentées par un réseau routier reliant l'Ouenza aux villes voisines ; Tébessa, Souk-Ahras et Annaba. Une ligne de chemin de fer relie la mine de l'Ouenza au complexe sidérurgique d'El Hadjar où s'effectue le traitement du minerai de fer. Le gisement ferrifère de l'Ouenza est situé sur le flanc nord d'une chaîne montagneuse qui atteint une hauteur de 1288 mètres au sommet. Il mesure environ 12 kilomètres de long et 5 kilomètres de large. Les amas métallifères ont des mamelons grossièrement elliptiques. Leur territoire s'étend du nord-est au sud-ouest et comprend les

coudiats Douamis, Hallatif et Zerga, ainsi que la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe, le gisement de Chagoura et le gisement de Chagoura. Le minerai peut atteindre des hauteurs de 45 mètres et des longueurs de 250 mètres, ce qui représente les conditions typiques pour une exploitation à ciel ouvert.

C'est vers 1875 que le gisement de fer de l'Ouenza entra dans histoire minière, en effet

- En 1875 l'ingénieur des mines TISSOT signale l'importance des affalements de minerais de fer de l'Ouenza
- En 1878, le premier permis de recherche de fer.
- En 1901, le prospecteur PASCAL. Obtient la concession de djebel Ouenza.
- En 1913, constitution de la société de l'Ouenza.
- En 1921, début de l'exploitation.
- En 1966, nationalisation des mines.
- En 1967, début d'aménagements des installations du skip pour le déblocage du minerai en provenance de la partie amont du gisement.
- En 1970, achèvement des travaux du skip.

III .2.2.Présentation de Bureau des Méthodes :

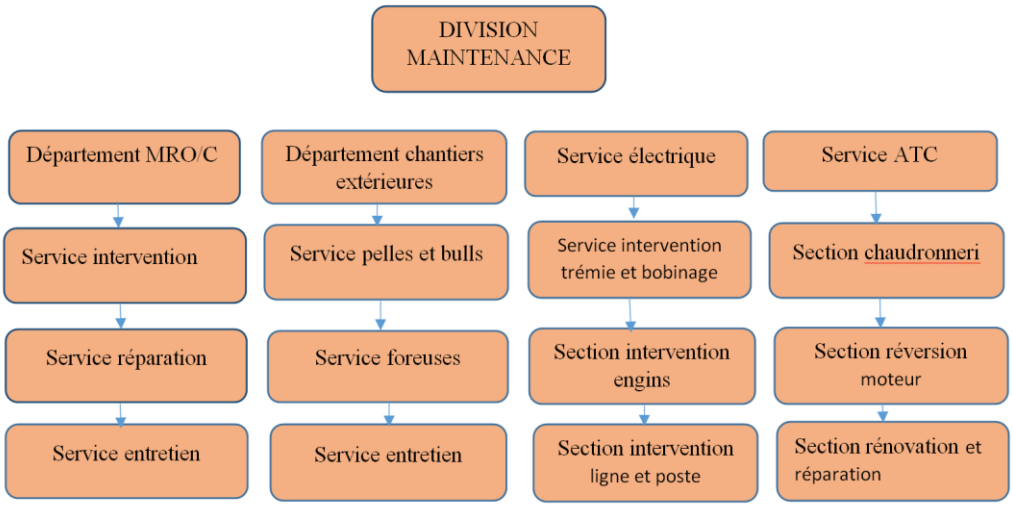
Le bureau de méthode de la mine d'Ouenza joue un rôle essentiel dans l'optimisation de la production et la réduction des coûts grâce à une planification rigoureuse de toutes les étapes d'exploitation minière. Il se charge d'analyser la nature du sol et les formations géologiques afin de déterminer les méthodes d'extraction les plus appropriées. Ce bureau programme et organise également les opérations de tir et de transport tout en assurant la sécurité des travailleurs et en minimisant les pertes. Il suit quotidiennement l'avancement des travaux et ajuste les plans selon les conditions sur le terrain, ce qui reflète son importance dans la gestion efficace et professionnelle de la mine.



Figure III.1 : Bureau des Méthodes de la mine L'Ouenza

III .2.3.Structure de maintenance au sein de la mine de l'Ouenza :

La maintenance à la mine de l'Ouenza est organisée afin de garantir la disponibilité et la fiabilité des équipements utilisés dans l'exploitation minière (extraction, transport, concassage, etc.).Cette structure se divise généralement en plusieurs niveaux et départements spécialises :



FigureIII.2 : division de maintenance de la mine d'El-ouenza

III .2.4.Parc des engins miniers :

La mine contient de nombreux engins, répartis selon les différentes zones et types de travaux.

Tableau III.1 : Les engins disponibles au niveau la mine d'Ouenza

Engin	**Nombre**
Camions de carrière	16
Chargeuse	5
Bull	6
Niveleuse	2
Pelles de rechargement	5
Sondeuses d'abattage	3

III.3.Transport

Le transport des minéraux utiles et des roches stériles constitue l'un des processus les plus importants dans les mines à ciel ouvert, représentant entre 30 % et 70 % du coût total de l'exploitation**.**

Ce système de transport détermine en grande partie le mode d'ouverture du gisement, la méthode d'exploitation choisie, le type d'équipements miniers utilisés, ainsi que le mode de gestion des déblais, entre autres.

L'objectif principal du transport en carrière est d'acheminer la masse minière depuis le site d'extraction jusqu'aux points de déchargement, à savoir les terrils pour les roches stériles, et les zones de stockage ou les trémies d'alimentation des usines de traitement pour les minéraux utiles.

III.3.1.Choix des moyens de transport :

Pour assurer un transport efficace et économique des matériaux d'un point à un autre, ilest nécessaire de comprendre les capacités des différents équipements de transport et leursdomaines d'application rentables. Le choix des moyens de transport dépend de plusieurs facteurs :

- La production de la carrière.
- La distance de transport.
- Le type d'engins de chargement.
- Les caractéristiques des matériaux à transporter.
- Les conditions géologiques du gisement.
- Le mode d'ouverture du gisement.

• Les dimensions de la carrière.

• Le mode de mise en terril.

• Les dimensions de la carrière.

• Le mode de mise en terril.

III.3.2.Types de machines de transport :

On distingue deux principaux modes de transport :

a. Transport continu : qui inclut les convoyeurs à bande, le transport hydraulique

Et le transport aérien par câble

b. transports discontinus : comprenant les locomotives et les wagons, les camions

Et les engins dérivés des camions, ainsi que les grues à câbles**. [37]**

III 3.3.Transport par camion :

Le transport par camion est le plus répandu dans les carrières contemporaines. II estrationnel de l'appliquer lors de l'exploitation des gisements compliqués, de la construction et del'approfondissement des carrières, et l'exploitation sélective. Il est répandu lors de l'exploitationdes gisements compliqués, de la construction et de l'approfondissement des fosses minières. Lagrande efficacité du transport sur roue des minéraux utiles et roches stériles sur une distancerelativement courte, la simplicité de construction des engins de transport, la manœuvrabilité, lapossibilité de surmonter la pente élevée, la simplicité d'organisation de travail caractérisent fortbien cette méthode de transport. **[38]**



FigureIII.3 : Camion CAT 775G

III.3.4.Constitution d'un Camion :

En général un camion se compose les éléments principaux suivant :

a. Essieux et roues : Les camions a bennes basculantes peuvent avoir deux ont trois

Essieux suspendus aux châssis par mettant au cylindrique élevée pneumatique de préférences onutilise l'air comprimé comme gaz d'amortisseur les roues motrices sont relier solidement avecl'axe des essieux moteurs, les pneus sont de barre compression 0.17 à 0.32 MPa. Soit de hautescompressions de 0.35 à 0.55 MPa.

b. Châssis : La base du camion surmonte tour les éléments de camion, elle est comparée

De deux par tiers longitudinales relier entre elle par des traverser vue la charge de choc.

c**. Mécanisme de culbutage :** Le mécanisme de culbutage s'espère en général à l'aide de

Vérin hydraulique à doubles effets, commander pour garder la charge à l'inclinaisonvoulue. Brusquement ramené en portion « MAINTIEFN », lorsque la benne est en train de monterla pression ainsi intensifiée à l'extrémité trigo peut être renvoyée à l'extrémité pied éviterd'endommagés, les vérins de levage.

d. Moteur : Le moteur est de type à quatre temps dont le piston est en haut de sa cause auMoment de la combustion qui face un piston à descendre l arque, le piston dépasse le milieu de lacourse de descente. Les soupapes d'échappements'ouvrent et les gazes s'échappent à la chambrede combustion le piston continu sa descente jusqu'au fond le cause et découvre les orificesd'admissiond'air.

e. Dispositif du freinage (circuit de freinage) : Les freinages peuvent être hydrauliques

ou pneumatiques agissants sur toutes les roues Motrices et directrices.

f.Poste de conduite : Il comprend les différents boutons pour la commande prévue

Actionneur tous les mécanismes du camion et le Siege du conducteur.

g. La benne : La benne est conçu pour prendre la charge surtout pensé pour les

Applications en carrières et mines, elle bénéficie de plaques de fond en alliage d'acier, pourSupportel'usure et l'impacts'en trouve ainsi optimisée, d'une hauteur, largeur, et longueur pourmettre la charge au-dessus**. [37]**

III.4.Application MCDM :

Avant d'appliquer la méthode d'aide à la décision multicritère (MCDM), nous avons d'abord calculé les indicateurs suivants : le MTBF (temps moyen entre les pannes), le MTTR (temps moyen de réparation), le temps de disponibilité (TD) ainsi le rendement (R), en nous basant sur les données disponibles.

III.4.1.Identifier et sélectionner les critères :

Après avoir suivi le processus de chargement et transport pendant la période de stage, on a identifié différents critères qui peuvent influencer cette opération.

A partir de ces critères,

III.4.2.Matrice MCDM :

Tableau III.2 : Matrice des critères

	MTBF	**MTTF**	**TD**	**R**
Stockage	133	76	64	87.45
Non-stockage	64	131	33	76.32
Stockage en cas de besoin	98.5	103.5	48.5	79.50

III.4.3.Calcul du poids des critères (fuzzy-AHP) :

Pour calculer les poids des critères précédents sans aucune intervention personnelle,

Nous utilisons la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).

a. L'importance des critères :

L'importance des critères réside dans leur rôle essentiel pour orienter la prise de décision, garantir l'objectivité de l'évaluation et assurer la cohérence dans le choix des solutions les plus adaptées aux besoins spécifiques.

Tableau III.3 :L'importance des critères.

Critères	**L'importance**
MTTR	1
MTBF	3
TD	5
R	7

b. Matrice de comparaison et moyennes géométriques :

Pour calculer le poids relatif des critères dans la matrice criée en utilisant la méthode AHP,

il est nécessaire de construire une matrice de comparaison paire. Voici la matrice decomparaison paire correspondante :

Tableau III.4 : Matrice de comparaison.

Critère	**MTTR**	**MTBF**	**TD**	**R**
MTTR	1	3	5	7
MTBF	1/3	1	2	1/4
TD	1/5	1/2	1	3
R	1/7	4	1/3	1

TableauIII.5. : Matrice de comparaison.

Critère	**MTTR**	**MTBF**	**TD**	**R**	**moyen géométrique** r_i
MTTR	(1, 1,1)	(2, 3,4)	(4, 5,6)	(6, 7,8)	(2, 63, 3, 20, 3,72)
MTBF	(1/4,1/3,1/2)	(1, 1,1)	(1, 2,3)	(1/5,1/4,1/3)	(0, 47, 0,63 0,83)
TD	(1/6,1/5,1/4)	(1/2,1/2,1)	(1, 1,1)	(2, 3,4)	(0,63, 0,74, 1)
R	(1/8,1/7,1/6)	(3, 4,5)	(1/4,1/3,1/2)	(1, 1,1)	(0, 55, 0, 66, 0,80)

$r_i = \check{A}_1 * \check{A}_2 = (I_1, M_1, U_1) * (I_2, M_2, U_2) = (I_1 * I_2, M_1 * M_2, U_1 * U_2)1/4$

Calcul des moyennes géométriques et des poids flous : La moyenne géométrique de

Chaque ligne calculée après que les poids flous sont calculés par normalisation. La moyenneGéométrique de chaque ligne

$$r_{i=}(a_{il} \times \ldots . \times a_{im})^{1/n}, \forall_i$$

$$W_i = r_i \times (r_1 \ldots . + r_n)^{-1}$$

$$U_i = \sum_{i=1}^{n} W_i \, r_{ij}$$

Où U_i: est l'utilité floue de l'alternative

TableauIII.6 : Matrice normalisée.

Moyennesgéométriquesfuzzyr_i	**les poids fuzzyw_i**
(2,63 , 3,20 , 3,72)	(0, 41, 0,61,0,86)
(0,47 ,0,63 ,0,83)	(0,07 , 0,12, 0,19)
(0,63, 0,74 ,1)	(0,09 , 0,14 , 0,23)
(0,55 ,0,66,0,80)	(0,08 , 0,12 , 0 ,18)
(4,28, 5,23 , 6,35)	

$$W_i = (\frac{l + m + u}{3})$$

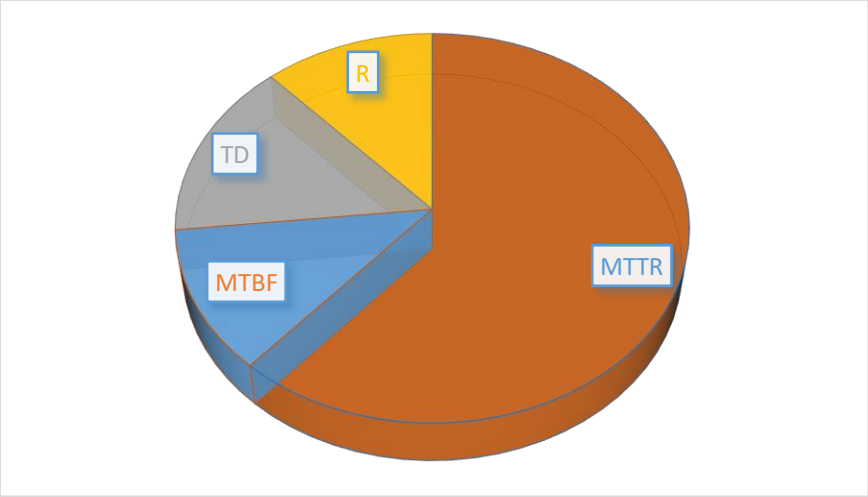
les poids fuzzy Wi	W_i
(0, 41, 0,61, 0,86)	0,62
(0,07 , 0,12, 0,19)	0,12
(0,09 , 0,14 , 0,23)	0,15
(0,08 , 0,12 , 0 ,18)	0,12

TableauIII.7: Poids des critères.

Critère	W_i	**Poids normalisée.**
MTTR	0 ,62	0, 613
MTBF	0,12	0,118
TD	0,15	0 ,148
R	0,12	0,118
TOTAL	1,01	0,997

C'est la transformation de la matrice originale contenant des valeurs hétérogènes en une matrice à valeurs normales (généralement comprises entre 0 et 1) qui permet de comparer les alternatives de manière équitable

Critères	Poids normalisée
MTTR	0,613
MTBF	0,118
TD	0,148
R	0,118



FigureIII.3:Poids des critères

Après avoir déterminé les poids des critères à l'aide de la technique Fuzzy AHP, la méthode EDAS (Evaluation basée sur la distance par rapport à la solution moyenne) sera ensuite utilisée pour évaluer les alternatives et les classer en fonction de leur proximité avec la solution intermédiaire.Nous suivons les étapes suivantes :

1-Détermination de la solution moyenne :

Wi	0.613	0.118	0.148	0.118
	MTTR	MTBF	TD	R
Stockage	133	76	64	87.45
Non Stockage	64	131	33	76.32
Stockage en cas de besoin	98.5	103.5	48.5	79.50
Moyen	98.5	103.5	48.5	81.09

2- Calculer la distance positive par rapport à la moyenne :

Wi	0.613	0.118	0.148	0.118
	MTTR	MTBF	TD	R
Stockage	-0.35	-0.26	0.31	0.07
Non-stockage	-0.35	-0.26	0.31	0.05
Stockage en cas de besoin	0	0	0	0.01

3- Calculer la distance négative par rapport à la moyenne :

Wi	0,613	0,118	0,148	0,118
	MTTR	MTBF	TD	R
Stockage	0.35	0.26	-0.31	-0.07
Non-stockage	-0.35	-0.26	0.31	0.05
Stockage en cas de besoin	0	0	0	0.002

4- Somme pondérée des PDA :

MTTR	MTBF	TD	R	Spi
-0,21	-0.03	0.04	0.008	-0.192
-0,21	-0.03	0.04	0.006	-0.194
0	0	0	0.001	0.001

5- Somme pondérée des NDA :

MTTR	MTBF	TD	R	Sni
0.21	0.03	-0.04	-0.008	0.192
-0.21	-0.03	0.04	0.006	-0.194
0	0	0	0.002	0.002

6- Calculer la valeur normalisée NSPi,NSNi et ASi :

	SPi	SNi	NSPi	NSNi	ASi	Rank
Stockage	-0.192	0.192	-192	1	-95.5	2
Non-stockage	-0.194	-0.194	-194	-1.01	-97.50	3
Stockage en cas de besoin	0.001	0.002	1	0.01	0.50	1

III .5.Discussion :

L'application de la méthode MCDM a permis d'identifier le stockage à la demande comme la solution la plus adaptée, en raison de sa performance selon plusieurs critères : coût, flexibilité, efficacité et optimisation des ressources.

Ce mode de gestion a un impact positif sur les pièces de rechange, notamment en réduisant le stock inutile, en assurant la disponibilité des pièces critiques, et en améliorant la réactivité face aux besoins de maintenance. Il permet également de réduire les coûts de stockage et de renforcer la fiabilité des opérations industrielles.

III.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons appliqué une approche d'aide à la décision multicritère (MCDM) en combinant la méthode Fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process flou) et la méthode EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution), dans le but d'évaluer et de sélectionner la stratégie de gestion des stocks la plus adaptée au contexte de l'entreprise étudiée.

La méthode Fuzzy AHP nous a permis de déterminer les poids relatifs des critères tout en prenant en compte l'incertitude et l'imprécision des jugements d'experts. Par la suite, la méthode EDAS a été utilisée pour classer les alternatives en fonction de leur performance par rapport à une solution de référence moyenne. Les résultats de l'analyse ont montré que l'option stockage à la demande (Just-In-Time) est la plus appropriée, notamment grâce à sa capacité à réduire les coûts, améliorer l'efficacité opérationnelle et éviter les excès ou pénuries de stock.

Cette étude démontre la pertinence de l'intégration des méthodes Fuzzy AHP et EDAS pour appuyer les décisions stratégiques dans un environnement industriel complexe. Le modèle proposé peut ainsi servir de base fiable pour l'optimisation de la gestion des stocks et l'amélioration globale de la performance de l'entreprise

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de fin d'études a eu pour objectif principal l'amélioration de la maintenance au sein de la mine d'Ouenza, en se concentrant sur l'optimisation de l'approvisionnement en pièces de rechange pour les camions de transport. Pour ce faire, nous avons appliqué une méthode d'aide à la décision multicritère (MCDM) afin d'évaluer différentes options de stockage des pièces de rechange.

Les méthodes Fuzzy AHP et EDAS ont été mises en œuvre pour analyser et hiérarchiser les alternatives selon plusieurs critères techniques, économiques et logistiques. Les résultats de l'évaluation ont clairement indiqué que le stockage à la demande (Just-In-Time) constitue la meilleure solution pour la mine, grâce à sa capacité à réduire les coûts de stockage, améliorer la réactivité de la chaîne d'approvisionnement et garantir une meilleure disponibilité des camions.

Ce travail a démontré la pertinence des approches multicritères dans le cadre de l'amélioration des systèmes de maintenance industrielle, en particulier dans des environnements complexes comme celui de l'industrie minière. Nous recommandons la poursuite de recherches dans ce domaine, notamment par l'intégration de techniques avancées telles que la modélisation mathématique ou l'intelligence artificielle, en vue de renforcer la qualité des décisions stratégiques et opérationnelles à long terme.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

[1]. É Heintz, G Heguenauer, É Marcandella, P Weber, La maintenance : un levier du développement durable, . 2020, Techniques de l'Ingénieur; Réf : AG502 v1.

[2]. Yasemin Arda, Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et Optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées, thèse de Doctorat à L'université De Toulouse délivré par l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 14 janvier 2008.

[3]. H. Ala, "Optimisation de l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution par la commande MPPT," Université Larbi Tebessi – Tébessa, 2022.

[4]. F. Sitorus, J. J. Cilliers, and P. R. Brito-Parada, "Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends," Expert Syst. Appl., vol. 121, pp. 393–417, 2019, doi: 10.1016/j.eswa.

[5]. Taherdoost, H.; Madanchian, M. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia* 2023, *3*, 77-87. https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006

[6]. S. Fomba, "Décision multicritère : un système de recommandation pour le choix de l ' opérateur d ' agrégation Soumana Fomba To cite this version : HAL Id : tel-03726764," UNIVERSITE DE TOULOUS, 2022.

[7]. Driss Bouami, Le grande livre de maintenance, , AFNOR, paris, France, Dominique Cohen, 2019.

[8]. François Monchy Jean-Pierre Vernier, Maintenance Méthodes et organisations, Dunod, Paris, 2000, 2003, 2010, 3º édition.

[9]. Davinder Singh, Talwinder Singh, Advanced Maintenance Techniques, Condition-Based Maintenance and Residual Life Prediction, 10.1002/9781119933175.ch4, (65-85), (2025).

[10]. Djamel FRIHI, Maintenance industrielle, Polycopié de cours, Université du 8 mai 1945 – Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Mécanique , Juin 2015.

[11]. Kim Anh Nguyen. Développement de stratégies de maintenance prévisionnelle de systèmes multi-composants avec structure complexe. Matériaux et structures en mécanique 2015 THESIS. [physics.class-ph]. Université de Technologie de Troyes,. Français.

[12]. WYuanhang, DChao, Jun Wu, WYingchun, X Yao, A corrective maintenance scheme for engineering equipment2014, Engineering Failure Analysis, Volume 36, pp 269-283 https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.10.006.

[13]. Collectif, Pratique de la maintenance industrielle, Omn.univ.europ. Editions universitaires européennes ; 2011.

[14]. https://www.artis-groupe.fr/blog/niveau-de-maintenance-afnor; 1/6/2025 at 10.15

[15]. Aggabou Loubna, Sûreté de fonctionnement , Support de cours SIE 205, Université Batna2, 2019/2020.

[16]. AFNOR 1981, X60-010, Terminologie de la maintenance, Association Française de Normalisation.

[17]. Taleb .M, fiabilité, maintenabilité et disponibilité, polycopié, Université Tébessa, Institue de mine

[18]. B, Fabien; T Bazzaro, F Paquin, R Sagot, J Claude. (2016). Prise en compte du facteur humain en maintenabilité : cas d'un helicoptériste, Conference: 23ème Colloque International des Sciences de la Conception et de l'Innovation, CONFERE, Prague, République Tchèque.

[19]. Bellaouar. A, Beleulmi.S., Cours Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD), Université Constantine1, 2014 ;

[20]. Belhadj D. A, Maintenance et sureté de fonctionnement, polycopié, Université Hassiba ben Bouali, Sétif, 2020 .

[21]. Michael. D, Constantin.Z. 2004 « Multi-criteria Decision Aid Classification Methods», Kluwer Academic Publishers, USA.

[22]. Omann, I, Multi-criteria decision aid as an approach for sustainable development analysis and implementation. 2004, These de doctorat, Université de Karl-Franzens.

[23]. Department for Communities and Local Government, Multi-criteria analysis: a manual. .2009 London.

[24]. Roy. B. and Vanderpotten. D, the European School of MCDA.1996, Emergence, Basic Features and Current Works. » Journal of Multi-Criteria Decision Analysis v5, pp22-38.

[25]. Roy. B. and Vanderpotten. D, the European School of MCDA.1996, Emergence, Basic Features and Current Works. » Journal of Multi-Criteria Decision Analysis v5, pp22-38. DOI 10.1002/(sici)1099-1360(199603)5:1<22::aid-mcda93>3.0.co;2-f.

[26]. Sami Ben Mena, «Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision», 2000, *BASE* [En ligne], Volume 4, Numéro 2, 83-93 URL : https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=15338.

[27]. K. Kulakowski, "Understanding the Analytic Hierarchy Process," 2020, Underst. Anal. Hierarchy Process, no. 2012, , doi: 10.1201/b21817.

[28]. F. Sitorus, J. J. Cilliers, and P. R. Brito-Parada, "Multi-criteria decision making for the Choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends," Expert Syst. Appl., vol. 121, pp. 393–417, 2019, doi : 10.1016/j.eswa.2018.12.001.

[29]. Jean-Marc Huguenin, Data Envelopment Analysis (DEA), Un guide pédagogique à l'intention des décideurs dans le secteur public IDHEAP, 2013, Chaire Finances publiques, IDHEAP, Lausanne ISBN 978-2-940390-56-4

[30]. Les Cahiers du Cread,–Application du processus hiérarchiqueanalytique (ahp) a l'évaluation de laperformance des banques commerciales» 2018, vol. 34 - n° 04 Doctorante en sciences économiques, Université d'Alger 3.

[31]. X. Yu, S. Zhang, X. Liao, and X. Qi, "ELECTRE methods in prioritized MCDM Environnement," Inf. Sci. (Ny). Vol. 424, pp. 301–316, 2018, doi : 10.1016/j.ins.2017.09.061.

[32]. S. Senturk, Y. Binici, and N. Erginel, “The theoretical structure of Fuzzy Analytic Network Process (FANP) with Interval Type-2 Fuzzy Sets,” IFAC-Papers Online, vol. 49, no. 12, pp. 1318–1322, 2016, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.706;

[33]. Keshavarz Ghorabaee, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS).Informatics, 26, 435-451. https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.57

[34]. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[35].] S. Abdal, “‘Application of TOPSIS Method in Decision Making Via Soft Set,’” Biomed. J. Sci. Tech. Res., vol. 24, no. 3, 2020, doi : 10.26717/bjstr.2020.24.004045

[36]. S. Fomba, “Décision multicritère : un système de recommandation pour le choix de l’Opérateur d’agrégation Soumana Fomba To cite this version : HAL Id : tel-03726764,”UNIVERSITE DE TOULOUS, 2022.

[37]. Y. I. Yano, Cours d’introdction l’exploitation des mines; Universitéde Kolwezi, no. Novembre 2019. ILUNGA YANO YANNICK Université de Kolwezi,2020.

[38]. G. S. Bastos, Decision Making applied to Shift Change in Stochastic Open-pit MiningTruck Dispatching, vol. 46, no. 16. IFAC, 2013. doi: 10.3182/20130825-4-US-2038.00090.

Annexe

Tableau :Planification des indicateurs de maintenance du Parc Pour l'année 2024

N°interne de camion	MTBF PLANIFIE	TBF PLANIFIE	NP PLANIFIE	λ PLANIFIE	MTTR PLANIFIE	TTR PLANIFIE	TD PLANIFIE
Camion 775G N°1324	133	4039,2	30	0,0075	109	3 305	55%
Camion 775G N°1325	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1326	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1327	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1328	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1329	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1330	133	4831,2	36	0,0075	109	3 953	55%
Camion 775G N°1331	133	4039,2	30	0,0075	109	3 305	55%
Camion 775G N°1332	133	6588	49	0,0075	44	2 196	75%
Camion 775G N°1333	133	6588	49	0,0075	44	2 196	75%
Camion 775G N°1334	133	6588	49	0,0075	44	2 196	75%
Camion 775G N°1335	133	6588	49	0,0075	44	2 196	75%
Camion 770G N°1201	133	2342,4	18	0,0075	33	586	80%
Camion 770G N°1202	133	2342,4	18	0,0075	33	586	80%
Camion 770G N°1203	133	2342,4	18	0,0075	33	586	80%
Camion 770G N°1204	133	2342,4	18	0,0075	33	586	80%
TOTAUX /MOYENNES	**133**	**72 787**	**546**	**0,008**	**76**	**41 453**	**64%**

Tableau : bilans des indicateurs de maintenance réalisés du Parc Pour l'année 2024

N°interne de camion	MTBF REALISE	TBF REALISE	NP REALISE	λ REALISE	MTTR REALISE	TTR REALISE	TD REALISE
Camion 775G N°1324	0	0	1	1	7 344	7 344	0
Camion 775G N°1325	54	3 178	59	0,02	95	5 607	36%
Camion 775G N°1326	0	0	1	1	8 784	8 784	0
Camion 775G N°1327	59	2 422	41	0,02	155	6 362	28%
Camion 775G N°1328	14	741	53	0,07	25	1 344	36%
Camion 775G N°1329	61	2 725	45	0,02	135	6 059	31%
Camion 775G N°1330	57	6 653	116	0,02	18	2 131	76%
Camion 775G N°1331	0	0	1	1	7 344	7 344	0
Camion 775G N°1332	111	5 534	50	0,009	65	3 251	63%
Camion 775G N°1333	78	2 418	31	0,01	205	6 367	28%
Camion 775G N°1334	67	1 067	16	0,02	482	7 718	12%
Camion 775G N°1335	17	675	39	0,06	52	2 032	25%
Camion 770G N°1201	109	1 962	18	0,009	32	583	77%
Camion 770G N°1202	89	1 774	20	0,01	39	771	70%
Camion 770G N°1203	113	1 696	15	0,009	57	849	67%
Camion 770G N°1204	249	1 993	8	0,004	69	552	78%
TOTAUX /MOYENNES	**64**	**32 834**	**514**	**0,016**	**131**	**67 093**	**33%**

interprétation des résultats :

- Certains camions ont un MTBF nul ou très bas (ex. : Camion 775G N°1324, N°1326, N°1331), ce qui signifie qu'ils sont souvent en panne à cause de manque de la PDR nécessaires
- Le taux de disponibilité varie fortement (ex. : 0% pour certains camions, 78% pour d'autres), ce qui montre des écarts dans la performance des véhicules.
- Un faible MTTR indique que les réparations sont rapides, tandis qu'un MTTR élevé suggère des problèmes de maintenance due au manque pièces détachées indisponibles.
- certains camions ont un MTTR très élevé (ex. N°1334 avec 482 heures), indiquant que leurs réparations prennent beaucoup de temps. Cela peut être dû à un manque de pièces de rechange, des difficultés techniques, ou une main-d'œuvre insuffisante.
- À l'inverse, certains camions ont un MTTR très bas (ex. N°1330 avec 18 heures), indiquant que leurs réparations sont rapides.
- La moyenne générale du MTTR est de 131 heures, ce qui signifie que, en moyenne, il faut plus de 5 jours pour réparer un camion.

Analyse Complémentaire : Écart entre Disponibilité Planifiée et Réalisée

L'analyse des données met en évidence un **écart significatif entre la disponibilité planifiée et la disponibilité réalisée** des camions. Cet écart est principalement causé par :

1. **Un manque flagrant de Pièces de Rechange (PDR) dans les stocks**

   *L'indisponibilité des PDR allonge considérablement les délais de réparation (TTR).
   *Certains camions restent immobilisés pendant de longues périodes en attente de pièces, ce qui réduit la disponibilité globale de la flotte.
   *La gestion des stocks doit être optimisée pour éviter ces ruptures.

2. **Un TTR Réalisé divergent du TTR Planifié**

   *Cela signifie que les équipes de maintenance respectent les délais prévus pour les réparations, mais ces délais restent trop longs.
   *Cela peut être dû à des procédures trop complexes, un manque d'une politique d'approvisionnement.
   *Une révision des processus de maintenance pourrait permettre de réduire ces temps et d'améliorer la disponibilité des camions.

Recommandations :

***Optimisation des stocks de PDR**

- Mettre en place une gestion prédictive des stocks pour éviter les ruptures.
- Prioriser les pièces critiques en fonction des historiques de pannes.
- Travailler avec des fournisseurs réactifs pour réduire les délais de livraison.

* **Réduction du TTR**

-Réaliser une analyse des causes des longs temps de réparation.
-Former les équipes de maintenance à des techniques plus rapides et efficaces.
-Utiliser des méthodes de maintenance conditionnelle pour anticiper les pannes et réduire les temps d'arrêt.

* **Amélioration de la planification:**

-Ajuster les prévisions de disponibilité en fonction des disponibilités de la PDR et leurs approvisionnement .
-Mettre en place un suivi en temps réel des interventions pour identifier les points bloquants
.-Revoir la politique de maintenance conditionnelle pour éviter les pannes critiques.

Conclusion :
L'amélioration de la disponibilité des camions passe par une meilleure gestion des stocks de PDR et une optimisation des processus de maintenance. En réduisant les délais d'attente des pièces et en accélérant les réparations, il est possible de combler l'écart entre la disponibilité planifiée et réalisée.

B	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min Ext	Ster	Reprise Stk	Cause de panne et réserve
1324	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	4,5	-	2,5	0,5	0,5	120	360	0	Manque moyen de chargement
	2	6,0	-	1,0	0,5	0,5	600	300	0	Entretien
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0	
B/T		15,5	-	5,5	1,5	1,5	720	1.320	-	
1326	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1328	1	3,0	1,5	2,5	0,5	0,5	0	360	0	Manque moyen de chargement - Fuite d'huile B.V
	2	6,0	-	1,0	0,5	0,5	660	240	0	Entretien
	3	4,0	-	2,5	0,5	1,0	420	0	0	
B/T		13,0	1,5	6,0	1,5	2,0	1.080	600	-	
1329	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1330	1	5,0	-	1,5	0,5	1,0	420	180	0	Manque moyen de chargement
	2	4,0	2,0	0,5	0,5	1,0	360	0	0	Ventilateur de climatiseur
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	720	0	
B/T		14,0	2,0	4,0	1,5	2,5	780	900	-	
1331	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	4,0	2,5	0,5	0,5	0,5	420	60	0	Batteries
	2	4,5	-	1,5	0,5	1,5	420	0	0	Manque moyen de chargement
	3	4,0	-	2,5	0,5	1,0	360	0	0	
B/T		12,5	2,5	4,5	1,5	3,0	1.200	60	-	
1333	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	5,0	-	1,5	0,5	1,0	420	180	0	Manque moyen de chargement
	2	3,5	2,5	0,5	0,5	1,0	360	0	0	Ventilateur de climatiseur
	3	3,5	-	2,5	0,5	1,5	360	0	0	
B/t		12,0	2,5	4,5	1,5	3,5	1.140	180	-	
1335	1	5,0	-	1,5	0,5	1,0	420	240	0	Manque moyen de chargement
	2	4,5	-	1,5	0,5	1,5	420	0	0	Manque moyen de chargement
	3	3,5	-	2,5	0,5	1,0	360	0	0	
B/T		13,0	-	5,5	1,5	3,5	1.200	240	-	
TOTAL		89,0	152,5	39,0	9,0	18,0	9.120	3.300	-	#DIV/0!
Masse transportée (t)								8420		

Page 2

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min.Ext	Ster	Reprise Sté	Cause de panne et réserve		
1324	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1325	4	5,0	1,0	0,5	0,5	1,0	300	420	0	Entretien - Gonflage roue - Manque moyen de chargement		
	2	5,0	-	1,5	1,0	0,5	0	720	0	Manque moyen de chargement		
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	720				
S/T		15,0	1,0	4,0	2,0	2,0	300	1.860	-			
1326	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1327	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1328	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	360	420	0	Entretien - Manque moyen de chargement		
	2	5,0	-	1,0	0,5	1,0	0	720	0	Manque moyen de chargement		
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	720	0			
S/T		15,5	-	4,0	1,5	2,5	360	1.860	-			
1329	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1330	1	5,5	-	0,5	1,0	1,0	360	300	0	Entretien		
	2	5,0	1,5	0,5	0,5	0,5	0	720	0	Batteries		
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0			
S/T		15,5	1,5	3,0	2,0	2,0	360	1.680	-			
1331	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1332	1	5,5	-	0,5	1,0	1,0	360	300	0	Entretien		
	2	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	660	180	Manque moyen de chargement		
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0			
S/T		16,0	-	3,5	2,0	2,5	360	1.620	180			
1333	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée		
S/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-			
1334	1	5,5	-	0,5	1,0	1,0	360	300	0	Entretien		
	2	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	660	180	Manque moyen de chargement		
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0			
S/t		16,0	-	3,5	2,0	2,5	360	1.620	180			
1335	1	5,5	-	0,5	1,0	1,0	360	300	0	Entretien		
	2	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	600	180			
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0			
S/T		16,0	-	3,5	2,0	2,5	360	1.560	180			
TOTAL		94,0	146,5	21,5	11,5	14,0	2.100	10.200	540			#DIV/0!
Masse transportée (t)								12840				

Page2

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Mn.Ext	Ster	Reprise Stk	Cause de panne et observ
1324	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
MT		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	135.5	18.5	47.5	19.0	27.5	2.340.0	16.200.0	-	Manque conducteur
	2	120.5	34.0	54.5	22.5	24.0	3.060.0	13.080.0	720.0	Climatiseur
	3	123.0	13.0	75.0	18.5	18.0	1.380.0	16.620.0	-	Entretien
MT		379.0	65.5	177.0	60.0	69.5	6.780	45.900	720	
1326	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
MT		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
MT		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1328	1	153.0	8.0	35.0	23.5	28.5	3.660.0	16.380.0	-	Entretien
	2	146.5	3.0	46.0	22.5	30.0	5.340.0	12.960.0	600.0	Entretien
	3	123.5	8.0	69.5	20.0	23.5	1.260.0	15.540.0	-	Entretien
MT		423.0	19.0	150.5	66.0	82.0	10.260	44.880	600	
1329	1	143.0	16.0	41.0	20.0	28.0	5.040.0	15.420.0	-	Entretien
	2	128.5	25.0	47.5	21.0	25.0	3.180.0	15.180.0	60.0	Entretien
	3	107.0	24.0	81.0	16.0	21.0	1.860.0	12.780.0	-	
MT		378.5	65.0	169.5	57.0	74.0	10.080	43.380	60	
1330	1	111.5	67.5	32.5	15.5	20.5	2.580.0	11.400.0	1.260.0	Pompe de transmission
	2	116.0	63.0	28.5	17.5	22.0	2.220.0	13.080.0	120.0	Pompe de transmission
	3	94.5	68.0	58.5	13.5	13.0	1.620.0	11.220.0	-	Pompe de transmission
MT		322.0	198.5	120.5	46.5	55.5	6.420	35.700	1.380	
1331	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
MT		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	137.5	25.5	38.0	18.5	28.5	5.400.0	12.720.0	-	Entretien
	2	139.0	14.0	44.5	22.0	28.5	4.440.0	14.400.0	240.0	Entretien
	3	111.5	24.0	78.5	16.0	17.5	3.300.0	11.340.0	-	Entretien
MT		388.0	63.5	161.0	56.5	74.5	13.140	38.460	240	
1333	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
MT		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
Mt		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	137.5	21.0	34.5	26.5	28.5	5.700.0	11.400.0	-	Entretien
	2	135.0	11.5	41.0	30.5	30.0	6.480.0	10.800.0	120.0	Entretien
	3	116.0	16.0	67.0	19.5	20.5	3.600.0	11.820.0	-	Entretien
MT		388.5	48.5	142.5	76.5	79.0	15.780	34.020	120	
TOTAL		2.278.0	4.824.0	921.0	382.5	434.5	82.480	242.340	3.120	#DIV/0!
Masse transportée (t)							307820			

Page 1

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min.Ext.	Ster	Reprise Stk	Cause de panne et réserve
1324	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
S/T		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	87,0	18,5	103,5	12,5	18,5	2.640,0	7.500,0	900,0	Manque conducteur
	2	85,0	15,0	104,0	16,6	19,5	720,0	10.200,0	540,0	Climatiseur
	3	87,5	8,0	121,0	11,1	12,5	1.500,0	10.260,0	-	Entretien
S/T		259,5	41,5	328,5	40,1	50,5	4.860	27.960	1.440	
1326	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1328	1	80,5	50,0	81,0	12,5	16,0	3.900,0	4.740,0	1.500,0	Entretien
	2	90,0	52,5	59,0	17,0	22,0	3.300,0	7.680,0	600,0	Entretien
	3	58,5	48,0	116,0	7,6	10,0	1.740,0	6.180,0	-	Entretien
S/T		229,0	150,5	256,0	37,1	48,0	8.940	18.600	2.100	
1329	1	102,5	1,5	92,0	14,5	21,5	4.320,0	7.380,0	1.440,0	Entretien
	2	84,0	21,5	94,0	20,0	20,5	1.560,0	7.740,0	1.440,0	Entretien
	3	77,0	-	133,5	9,0	12,5	1.680,0	9.120,0	-	
S/T		263,5	23,0	319,5	43,5	54,5	7.560	24.240	2.880	
1330	1	66,5	19,0	125,0	13,0	16,5	4.380,0	3.240,0	240,0	Pompe de transmission
	2	92,5	15,5	93,5	17,5	20,5	2.340,0	9.000,0	360,0	Pompe de transmission
	3	74,5	18,0	125,5	10,6	11,5	1.200,0	8.340,0	-	Pompe de transmission
S/T		233,5	52,5	344,0	41,1	48,5	7.920	20.580	600	
1331	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	96,0	1,0	108,0	14,0	21,0	6.480,0	4.680,0	1.080,0	Entretien
	2	105,0	1,0	90,0	20,5	23,5	4.020,0	7.500,0	840,0	Entretien
	3	86,5	-	126,5	11,6	15,5	2.880,0	8.160,0	-	Entretien
S/T		287,5	2,0	324,5	46,1	60,0	13.380	20.340	1.920	
1333	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	2	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	3	-	240,0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
S/t		-	720,0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	39,0	159,5	26,0	6,5	9,0	2.760,0	1.500,0	600,0	Entretien
	2	37,0	152,0	37,0	6,5	7,5	2.520,0	1.740,0	-	Entretien
	3	28,0	160,0	40,0	4,6	7,5	1.800,0	1.860,0	-	Entretien
S/T		104,0	471,5	103,0	17,6	24,0	7.080	5.100	600	
TOTAL		1.377,0	5.061,0	1.675,5	225,4	285,5	49.740	116.820	9.540	#DIV/0!
		Masse transportée (t)						176100		

Page 2

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min.Ext.	Stat	Reprise Stk	Cause de panne et réserve
1324	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1325	1	38.0	136.5	59.0	5.5	9.0	1.680.0	2.700.0	240.0	Roue percée - Freinage
	2	11.5	151.0	76.5	3.5	5.5	960.0	120.0	240.0	Roue percée - Freinage
	3	25.5	144.0	72.0	3.0	3.5	360.0	2.940.0	-	Roue percée - Freinage
T		75.0	431.5	207.5	12.0	18.0	3.000.0	5.760.0	480.0	
1326	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1328	1	113.5	22.5	74.0	18.0	20.5	6.900.0	6.960.0	1.440.0	Manque moyen de chargement
	2	112.5	4.5	83.0	17.5	30.5	6.420.0	6.420.0	-	Manque moyen de chargement
	3	70.5	8.0	143.0	9.0	16.5	2.280.0	6.540.0	-	Transport du personnel arrivé en retard
T		296.5	35.0	300.0	44.5	67.5	15.600.0	19.920.0	1.440.0	
1329	1	107.0	6.5	99.5	16.0	18.5	4.440.0	9.300.0	180.0	Manque moyen de chargement
	2	58.5	45.0	121.5	10.0	13.0	1.440.0	6.120.0	-	Manque moyen de chargement
	3	55.0	24.0	151.0	6.5	11.5	1.380.0	5.820.0	-	Manque moyen de chargement
T		220.5	75.5	372.0	32.5	43.0	7.260.0	21.240.0	180.0	
1330	1	100.0	81.5	77.0	19.5	20.5	5.340.0	7.020.0	240.0	Manque moyen de chargement
	2	104.0	18.5	79.0	16.0	30.5	6.480.0	5.880.0	-	Manque moyen de chargement
	3	83.5	35.0	99.0	11.0	18.5	2.580.0	7.860.0	-	Transport du personnel arrivé en retard
T		287.5	86.0	255.0	46.5	69.5	14.400.0	20.760.0	240.0	
1331	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	119.5	8.0	77.5	18.5	22.5	8.160.0	6.300.0	-	Manque moyen de chargement
	2	111.5	6.5	81.5	16.5	30.5	8.040.0	5.040.0	-	Manque moyen de chargement
	3	95.5	8.0	111.5	12.5	20.0	2.880.0	8.820.0	-	Transport du personnel arrivé en retard
T		326.5	22.5	270.5	47.5	73.0	19.080.0	20.160.0	-	
1333	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	128.0	2.5	69.5	22.0	25.5	8.880.0	6.840.0	120.0	Manque moyen de chargement
	2	111.5	-	88.5	16.5	31.5	7.260.0	5.580.0	-	Manque moyen de chargement
	3	104.5	-	106.0	13.5	23.5	3.900.0	8.700.0	-	Transport du personnel arrivé en retard
T		344.0	2.5	264.0	52.0	80.5	20.040.0	21.120.0	120.0	
TOTAL		1.550.0	5.117.0	1.669.0	235.0	351.5	79.380.0	108.950.0	2.460.0	#DIV/0!
Masse transportée (t)								190800		

Page 3 Page 11

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min.Ext.	Ster	Reprise Sto	Cause de panne et réserve
1324	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1326	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1328	1	105.0	22.0	76.5	18.5	19.0	5.820.0	6.960.0	960.0	
	2	110.0	18.5	71.0	19.0	21.0	5.160.0	8.460.0	660.0	
	3	92.0	16.0	107.5	11.5	13.0	780.0	11.100.0	-	
S/T		307.0	56.5	255.0	49.0	53.0	11.760.0	26.520.0	1.620.0	
1329	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1330	1	85.0	61.5	60.5	15.5	17.0	4.020.0	5.760.0	2.100.0	Climatiseur
	2	77.0	75.5	57.5	15.5	17.5	4.440.0	4.260.0	1.080.0	Climatiseur
	3	71.0	56.0	96.0	8.0	9.0	480.0	8.940.0	-	Climatiseur
S/T		233.0	193.0	214.0	39.0	43.5	8.940.0	18.960.0	3.180.0	
1331	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	108.0	7.0	85.5	21.5	18.5	6.780.0	6.840.0	360.0	
	2	113.0	10.0	76.0	18.0	22.5	5.700.0	9.240.0	-	
	3	109.5	-	103.5	13.0	14.0	480.0	14.100.0	-	
S/T		330.5	17.0	265.0	52.5	55.0	12.960.0	30.180.0	360.0	
1333	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	2	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	3	-	240.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
S/t		-	720.0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	110.0	5.0	87.0	19.5	19.5	6.180.0	7.500.0	720.0	
	2	111.0	2.5	84.0	19.5	22.0	5.340.0	8.040.0	660.0	
	3	106.5	-	106.5	12.5	14.5	900.0	13.020.0	-	
S/T		327.5	7.5	277.5	51.5	56.0	12.420.0	28.560.0	1.380.0	
TOTAL		1.198.0	6.034.0	1.011.5	192.0	207.5	46.080	104.220	6.540	#DIV/0!
Masse transportée (t)								156840		-

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Mo.Ext.	Ster.	Reprise 8%	Cause de panne et réserve
1324	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Vitesse
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée - Freinage
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1326	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	13.0	228.5	3.5	1.5	1.5	960.0	720.0	-	Manque moyen de chargement
	2	5.5	232.0	7.0	1.5	2.0	240.0	540.0	-	Entretien
	3	4.5	232.0	9.5	1.0	1.0	-	600.0	-	Manque transport du personnel
S/T		23.0	692.5	20.0	4.0	4.5	1.200.0	1.860.0	-	
1328	1	101.5	11.0	107.5	14.0	14.0	4.380.0	9.660.0	-	Climatiseur
	2	94.5	10.0	105.5	16.5	21.0	3.120.0	10.440.0	-	Entretien
	3	85.5	16.0	122.5	10.5	13.5	1.200.0	10.920.0	-	
S/T		281.5	37.0	335.5	41.0	48.5	8.700.0	31.020.0	-	
1329	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1330	1	88.5	28.5	103.5	13.5	14.0	3.480.0	8.460.0	-	Manque moyen de chargement - Fuite d'huile
	2	87.5	23.0	105.0	15.5	17.0	1.860.0	10.260.0	-	Entretien
	3	78.5	8.0	131.0	14.0	13.0	1.320.0	9.660.0	-	
S/T		254.5	59.5	339.5	43.0	44.0	6.660.0	28.380.0	-	
1331	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	71.5	47.5	110.0	9.5	9.5	2.520.0	7.980.0	-	Entretien - Manque moyen de chargement
	2	73.5	33.5	112.0	12.5	16.5	2.580.0	7.140.0	600.0	Entretien
	3	72.5	32.0	123.5	8.5	11.0	1.080.0	9.180.0	-	Manque transport du personnel
S/T		217.5	113.0	345.5	30.5	37.0	6.180.0	24.300.0	600.0	
1333	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Roue percée
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1334	1	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	2	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
	3	-	248.0	-	-	-	-	-	-	Radiateur déformé
S/T		-	744.0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	90.5	28.0	103.5	13.0	13.0	4.080.0	8.520.0	-	Entretien - Manque moyen de chargement
	2	79.5	31.5	104.0	14.0	19.0	3.000.0	8.100.0	-	Entretien
	3	76.0	32.0	117.0	9.5	18.0	1.860.0	8.820.0	-	
S/T		246.0	91.5	324.5	36.5	50.0	8.940.0	25.440.0	-	
TOTAL		1.022.4	6.201.5	1.365.0	155.0	184.0	31.680.0	111.000.0	600.0	#DIV/0!
Masse transportée (t)							143280			-

Page 3

Engin	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Mn.Ext	Ster	Reprise Stk	Cause de panne et réserve
1324	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1326	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	2,5	3,5	0,5	1,0	0,5	60	240	0	Entretien - Fuite de gasoil
	2	3,0	-	4,0	0,5	0,5	240	60	0	Manque moyen de chargement
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		5,5	3,5	12,5	1,5	1,0	300	300	-	
1328	1	5,0	-	1,0	0,5	1,5	180	480	0	Manque moyen de chargement
	2	4,5	-	2,5	0,5	0,5	360	180	0	Manque moyen de chargement
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		9,5	-	11,5	1,0	2,0	540	660	-	
1329	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1330	1	5,0	-	1,0	1,0	1,0	0	600	0	Entretien
	2	2,0	-	5,0	0,5	0,5	0	300	0	Manque moyen de chargement
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		7,0	-	14,0	1,5	1,5	-	900	-	
1331	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
B/T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	5,0	-	1,0	0,5	1,5	180	480	0	Manque moyen de chargement
	2	4,5	-	2,5	0,5	0,5	360	180	0	Manque moyen de chargement
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		9,5	-	11,5	1,0	2,0	540	660	-	
1333	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Température de l'huile de frein très élevée
	2	2,0	4,0	1,0	0,5	0,5	0	300	0	Température de l'huile de frein très élevée - Roue bloquée - MM Ch
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		2,0	12,0	9,0	0,5	0,5	-	300	-	
1334	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
B/t		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	5,0	-	1,0	0,5	1,5	120	540	0	Manque moyen de chargement
	2	4,5	-	2,5	0,5	0,5	360	180	0	Manque moyen de chargement
	3	-	-	8,0	-	-	0	0	0	Manque moyen de chargement
B/T		9,5	-	11,5	1,0	2,0	480	720	-	
TOTAL		43,0	159,5	70,0	9,5	9,0	1.380	3.540	-	#DIV/0!
Masse transportée (t)								5400		-

Page 2

Scen	P	H.M	H.P	HR	HE	HD	Min Evt	Star	Barrage Sté	Cause de panne et réparation
1224	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1225	4	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1226	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1227	1	3.5	2.5	-	1.0	1.0	300	0	0	Entretien - climatiseur
	2	4.5	2.0	0.5	0.5	0.5	240	300	0	Climatiseur
	3	2.5		2.5	0.5	1.5	240	0	0	
LT		10.5	4.5	4.0	2.0	3.0	780	300	-	
1228	1	5.0	-	0.5	1.0	1.5	540	0	0	Entretien
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	240	360	0	Manque moyen de chargement
	3	3.0	-	3.0	0.5	1.5	300	0	0	
LT		12.5	-	6.0	2.0	3.5	1.080	360	-	
1229	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1230	1	5.0	-	0.5	1.0	1.5	480	0	0	Entretien
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Fuite d'huile hydraulique
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Fuite d'huile hydraulique
LT		5.0	15.0	0.5	1.0	1.5	480	-	-	
1231	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1232	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1233	1	5.0	-	0.5	1.0	1.5	720	0	0	Entretien
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	240	300	0	Manque moyen de chargement
	3	2.5	-	2.5	0.5	1.5	240	0	0	
LT		12.0	-	6.0	2.0	3.5	1.200	300	-	
1234	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1235	1	5.0	-	0.5	1.0	1.5	720	0	0	Entretien
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	160	360	0	Manque moyen de chargement
	3	3.0	-	3.0	0.5	1.5	300	0	0	
LT		12.5	-	6.0	2.0	3.5	1.200	360	-	
1201	1	5.0	-	0.5	1.0	1.5	320	0	0	Entretien
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	160	160	0	Manque moyen de chargement
	3	2.5	-	3.5	0.5	1.5	160	0	0	
LT		12.0	-	6.5	2.0	3.5	640	160	-	
1202	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin des filtre a air signale - fuite d'huile au flexible de frein
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin des filtre a air signale - fuite d'huile au flexible de frein
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin des filtre a air signale - fuite d'huile au flexible de frein
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1203	1	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Fuite d'huile hydraulique (Flexible percé)
	2	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Fuite d'huile hydraulique (Flexible percé)
	3	-	5.0	-	-	-	0	0	0	Fuite d'huile hydraulique (Flexible percé)
LT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1204	1	2.5	-	4.0	0.5	1.0	0	0	240	Manque moyen de chargement
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	160	160	0	Manque moyen de chargement
	3	2.5	-	3.5	0.5	1.5	160	0	0	
		9.5	-	10.0	1.5	3.0	320	160	240	
TOTAL		52.1	188.1	73.0	9.0	15.0	5.700	1.640	-	5700
		Vitesse tronçonneuse (t)					7340			-

Page2

Engin	ID	H.U	H.P	H2	H5	H1	Min Evt	Max	Ranma Sit	Cause de panne et réparation
1224	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1225	4	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1226	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1227	1	8.0	1.0	1.0	0.5	0.5	460	420	0	Manque moyen de changement - Climatiseur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Climatiseur
	3	4.5	-	2.5	0.5	0.5	700	700	0	
S/T		9.5	9.0	3.5	1.0	1.0	760	720	-	
1228	1	8.0	-	1.0	0.5	0.5	720	150	0	Entretien
	2	8.0	-	1.0	0.5	0.5	0	600	0	Entretien
	3	4.5	-	2.5	0.5	0.5	600	0	0	
S/T		17.0	-	4.0	1.5	1.5	1.420	1.050	-	
1229	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1230	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Roue percée
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1231	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1232	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Amortisseur
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1233	1	8.5	-	1.5	0.5	0.5	720	420	0	Manque moyen de changement
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	660	0	0	Manque moyen de changement
	3	4.5	-	2.5	0.5	0.5	700	700	0	
S/T		14.5	-	6.5	1.5	1.5	1.660	720	-	
1234	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
S/T		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1235	1	8.5	-	1.5	1.0	0.5	0	900	0	Entretien
	2	4.5	-	2.5	0.5	0.5	660	0	0	Manque moyen de changement
	3	4.5	-	2.5	0.5	0.5	700	700	0	
S/T		14.5	-	6.5	2.0	1.5	960	1.700	-	
1201	1	2.0	5.5	-	-	0.5	160	0	0	Fuite de rapol et l'huile de mot
	2	8.0	-	1.0	0.5	0.5	0	600	0	Entretien
	3	4.5	-	2.5	0.5	1.0	0	660	0	
S/T		17.5	5.5	3.5	1.0	2.0	160	1.160	-	
1202	1	8.0	-	1.0	1.5	0.5	460	0	0	Entretien
	2	8.0	-	1.0	0.5	0.5	260	320	0	Entretien
	3	4.5	-	2.5	0.5	1.0	0	660	0	
S/T		19.5	-	4.5	2.5	2.0	760	980	-	
1203	1	8.5	-	1.5	0.5	0.5	0	600	0	Manque moyen de changement
	2	8.0	-	1.0	0.5	0.5	460	0	0	Entretien
	3	4.5	-	2.5	0.5	1.0	600	0	0	
S/T		16.0	-	4.5	1.5	2.0	1.060	600	-	
1204	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoind de frein alimalé
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoind de frein alimalé
	3	4.5	-	2.5	0.5	1.0	0	660	0	
		4.5	16.0	2.5	0.5	1.0	-	660	-	
1.01 1.42		55.5	203.0	29.0	6.0	5.5	7.180	8.720	-	
Masse transportée (T)							1'0260			

Page 1

Engin	P	H.M.	H.P.	HR	HE	HD	Min Ext.	Stor	Reprise BM	Cause de panne et réserve
1324	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1325	4	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Roue percée - Freinage
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1326	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1327	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	240	540	0	Entretien
	2	4,5	-	1,0	2,0	0,5	0	720	0	Entretien
	3	4,0	-	2,5	0,5	1,0	480	0	0	
T		14,0	-	4,5	3,0	2,5	720	1.260	-	
1328	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Flexible de transmission
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Flexible de transmission
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Flexible de transmission
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1329	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Rétroviseur - Manque lumière
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Rétroviseur - Manque lumière
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Rétroviseur - Manque lumière
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1330	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	240	540	0	Entretien
	2	5,5	-	1,0	1,0	0,5	600	0	0	Entretien
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	660	0	
T		16,0	-	4,0	2,0	2,0	840	1.200	-	
1331	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1332	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1333	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	360	300	0	Entretien
	2	5,5	-	1,0	1,0	0,5	600	0	0	Entretien
	3	4,0	-	2,5	0,5	1,0	480	0	0	
T		15,0	-	4,5	2,0	2,5	1.440	300	-	
1334	1	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
T		-	24,0	-	-	-	-	-	-	
1335	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	300	300	0	Entretien
	2	5,5	-	1,0	1,0	0,5	660	0	0	Entretien
	3	4,0	-	2,5	0,5	1,0	480	0	0	
T		15,0	-	4,5	2,0	2,5	1.440	300	-	
1201	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	400	0	Entretien
	2	4,5	2,0	1,0	-	0,5	0	440	0	Manque graisse
	3	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Manque graisse
T		10,0	10,0	2,0	0,5	1,5	-	840	-	
1202	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	400		Entretien
	2	5,5	-	1,0	1,0	0,5	0	480	0	Entretien
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	640	0	
T		16,0	-	4,0	2,0	2,0	-	1.520	-	
1203	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	400	0	Entretien
	2	5,5	-	1,0	1,0	0,5	0	600	0	Entretien
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	600	0	
T		16,0	-	4,0	2,0	2,0	-	1.600	-	
1204	1	5,5	-	1,0	0,5	1,0	0	400	0	Entretien
	2	-	8,0	-	-	-	0	0	0	Manque graisse
	3	5,0	-	2,0	0,5	0,5	0	400	0	
		10,5	8,0	3,0	1,0	1,5	-	800	-	

Page 2

Engin	P	H.M	H.P	HS	HE	HD	Min.Sol.	Stat	Pannes Stat	Cause de panne et réserve
1224	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1225	4	4.0	1.0	2.0	0.5	0.5	0	600	0	Manque moyen de chargement - serrage roue - moteur faible
	2	5.5	-	0.5	1.0	1.0	0	900	0	Entretien
	3	3.5	-	3.0	0.5	1.0	0	450	0	
SIT		13.0	1.0	5.5	2.0	2.5	-	1.950	-	
1226	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1227	1	3.0	2.5	1.5	0.5	0.5	0	T20	0	Manque moyen de chargement - Vitesse
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Vitesse
	3	3.5	-	3.0	0.5	1.0	0	540	0	
SIT		6.5	10.5	4.5	1.0	1.5	-	1.260	-	
1228	1	5.5	-	1.0	1.0	0.5	0	T20	0	Entretien
	2	5.5	-	0.5	1.0	1.0	0	540	0	Entretien
	3	-	-	8.0	-	-	0	0	0	
SIT		11.0	-	9.5	2.0	1.5	-	1.980	-	
1229	1	5.0	-	2.0	0.5	0.5	0	T60	0	Manque moyen de chargement
	2	-	-	8.0	-	-	0	0	0	Manque conducteur
	3	-	-	8.0	-	-	0	0	0	Manque conducteur
SIT		5.0	-	18.0	0.5	0.5	-	T60	-	
1230	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Démarrage (Batteries)
	2	3.0	-	3.0	1.0	1.0	0	600	0	Entretien - Manque moyen de chargement
	3	3.5	-	3.0	0.5	1.0	0	540	0	
SIT		6.5	8.0	6.0	1.5	2.0	-	1.140	-	
1231	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal au niveau de moteur
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1232	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Ammortisseur
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1233	1	5.0	-	2.0	0.5	0.5	0	T20	0	Manque moyen de chargement - serrage roue
	2	5.5	-	0.5	1.0	1.0	0	540	0	Entretien
	3	-	-	8.0	-	-	0	0	0	Manque conducteur
SIT		10.5	-	10.5	1.5	1.5	-	1.560	-	
1234	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Radiateur déformé
SI		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1235	1	4.0	1.0	2.0	0.5	0.5	0	T60	0	Manque moyen de chargement
	2	5.5	-	0.5	1.0	1.0	0	540	0	Entretien
	3	3.5	-	3.5	0.5	0.5	0	450	0	
SIT		13.0	1.0	6.0	2.0	2.0	-	2.100	-	
1201	1	5.5	-	1.0	1.0	0.5	0	450	0	Entretien
	2	5.5	-	0.5	1.0	1.0	0	600	0	Entretien
	3	3.5	-	3.5	0.5	0.5	0	450	0	
SIT		14.5	-	5.0	2.5	2.0	-	1.500	-	
1202	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal coté de radiateur
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal coté de radiateur
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Bruit anormal coté de radiateur
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1203	1	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin de frein signalé
	2	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin de frein signalé
	3	-	8.0	-	-	-	0	0	0	Lampe témoin de frein signalé
SIT		-	24.0	-	-	-	-	-	-	
1204	1	5.5	-	1.0	1.0	0.5	0	450	0	Entretien
	2	5.0	-	1.0	1.0	-	0	520	0	Entretien
	3	3.5	-	3.5	0.5	0.5	0	450	0	
		14.0	-	5.5	2.5	1.0	-	1.450	-	
TOTAL		85.5	149.1	69.0	19.5	11.5	-	13.420	-	OUVUI
Heures travaillées (H)								13420		-

Page 3

Résumé :

Ce mémoire vise à étudier et améliorer le processus de financement des pièces de rechange, en tant que facteur clé dans la réduction du temps de maintenance au sein de l'entreprise industrielle. Il a été constaté que le retard dans la disponibilité des pièces nécessaires prolonge les temps d'arrêt, ce qui impacte négativement la productivité.

Pour atteindre cet objectif, une approche d'aide à la décision multicritère a été adoptée afin d'évaluer et de sélectionner la meilleure stratégie de financement des pièces de rechange. Deux techniques complémentaires ont été appliquées :

FAHP : pour déterminer avec précision les poids des critères, tout en tenant compte de l'incertitude et de l'ambiguïté des jugements humains

EDAS : pour classer les alternatives selon leur proximité ou leur éloignement par rapport à une solution moyenne idéale.

Trois alternatives de financement ont été analysées sur la base de critères principaux. Cette approche hybride a permis une évaluation objective et globale de chaque option, aboutissant à l'identification de l'alternative optimale permettant de réduire au maximum le temps de maintenance.

Summary:

This thesis aims to study and improve the spare parts financing process as a key factor in reducing maintenance time within an industrial company. It has been observed that delays in the availability of necessary spare parts lead to prolonged downtime, which negatively affects productivity.

To achieve this goal, a Multi-Criteria Decision-Making approach was adopted to evaluate and select the most appropriate financing strategy for spare parts. Two complementary techniques were applied:

FAHP: to accurately determine the weights of the criteria, taking into account the uncertainty and ambiguity of human judgments.

EDAS: to rank the alternatives based on their closeness to or distance from an ideal average solution.

Three financing alternatives were analyzed based on main criteria. This hybrid approach enabled an objective and comprehensive evaluation of each option, leading to the identification of the optimal alternative that minimizes maintenance time to the greatest extent possible.

ملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة وتحسين عملية تمويل قطع الغيار كعامل رئيسي في تقليل وقت الصيانة داخل المؤسسة الصناعية. فقد لوحظ أن التأخر في توفير القطع اللازمة يؤدي إلى إطالة زمن التوقف، مما يؤثر سلبًا على الإنتاجية.

لتحقيق هذا الهدف تم اعتماد منهجية اتخاذ القرار متعدد المعايير لتقييم واختيار أفضل استراتيجية لتمويل قطع الغيار. تم تطبيق تقنيتين متكاملتين

FAHP: لتحديد أوزان المعايير بدقة مع الأخذ بعين الاعتبار عدم اليقين وغموض الأحكام البشرية.

EDAS: لترتيب البدائل بناءً على درجة قربها أو بعدها عن الحل المتوسط المثالي.

تم تحليل 3 بدائل للتمويل اعتمادًا على معايير رئيسية. سمحت هذه المقاربة المركبة بتوفير تقييم موضوعي وشامل لكل خيار، ما مكن من تحديد البديل الأمثل الذي يقلل من وقت الصيانة إلى أدنى حد ممكن.