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
معـــــهد المـــناجم
Institut des Mines
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géotechnologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électromécanique

Option : Maintenance industrielle

Contribution à la maintenance préventive des machines (Au niveau SOMIPOS)

Par

TRIKI Ishak et DJEDOUANI Amirouche

Devant le jury :

Moghrani Radouane	Président	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Louafi Messaoud	Encadreur	PR	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Fares Noureddine	Examinateur	MCB	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Année universitaire 2024/2025

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
جامعة العربي التبسي – تبسة
معهد المناجم
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا

Année universitaire : 2024/2025 Tébessa le : 04/06/2025

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 Amirouche Djedouani 2 Triki Ishak

Niveau :2éme Master Option : Maintenance Industrielle

Thème : Contribution à la maintenance préventive des machines (Au niveau SOMIPHOS)

Nom et prénom de l'encadreur : Pr. Louafi Messaoud

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : Généralité sur la maintenance	Pr. Louafi Messaoud
Chapitre II : La maintenance préventive	
Chapitre III : Les moyens de transport	
Chapitre IV : L'Abaque de Noiret et la méthode AMDEC	

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)..... بركي اسماح ..... الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : ..... طالب .....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : ..... 044448319 ..... و الصادرة بتاريخ ..... 2023/01/25 .....

المسجل بمعهد ..... المناجم ..... قسم ..... الجيوتكنولوجيا .....

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

..... Contribution à la maintenance preventive des .....

..... machines (A.u niveau Ferphos) .....

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

التاريخ: .....

إمضاء المعني (ة)

للموقع اسطلبه

04 جوان 2025

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) جحواني أحمد رمزي ..... الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالب .....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 402008959 ..... و الصادرة بتاريخ 2022/06/13 .....

المسجل بمعهد الآداب واللغة العربية ..... قسم اللغة والأدب العربي .....

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

..... Contribution à la maintenance préventive .....

..... des machines (A.U. niveau Ferphos) .....

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

التاريخ: 2025/06/04

إمضاء المعني (ة)

01 جوان 2025


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIEMENTS

C'EST AVEC UNE GRANDE FIERTÉ ET UNE PROFONDE GRATITUDE QUE JE TIENS À EXPRIMER MES SINCÈRES REMERCIEMENTS À L'ENSEMBLE DE L'ÉQUIPE DE MAINTENANCE DE LA MINE DE PHOSPHATE DE DJEBEL ONK – BIR EL ATER, POUR LEUR ACCUEIL LEUR ENCADREMENT, AINSI QUE LES PRÉCIEUSES FACILITÉES OFFERTES DURANT NOTRE STAGE PRATIQUE. LEUR ACCOMPAGNEMENT NOUS A PERMIS D'ACQUÉRIR UNE EXPÉRIENC DE TERRAIN ENRICHISSANTE ET INDISPENSABLE.

J'ADRESSE ÉGALEMENT MES REMERCIEMENTS LES PLUS CHALEUREUX À TOUS LES ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉ À M FORMATION ACADÉMIQUE ET HUMAINE TOUT AU LONG DE MON PARCOURS UNIVERSITAIRE. LEUR PATIENCE, LEUR DÉVOUEMENT ET LEUR ENGAGEMENT ONT ÉTÉ UNE SOURCE D'INSPIRATION ET D MOTIVATION.

MES REMERCIEMENTS VONT AUSSI À MA CHÈRE FAMILLE, VÉRITABLE PILIER DE MON CHEMINEMENT, POUR LEUR SOUTIEN INCONDITIONNEL, TANT MORAL QUE MATÉRIEL, ET POUR L'AMOUI INESTIMABLE QU'ILS M'ONT TOUJOURS PRODIGUÉ.

ENFIN, JE REMERCIE DE TOUT CŒUR TOUTES LES PERSONNES QU NOUS ONT SOUTENUS DE PRÈS OU DE LOIN DURANT NOTRE PARCOURS, QUE CE SOIT PAR UN MOT ENCOURAGEANT, UNE PRIÈR SINCÈRE OU UN SIMPLE SOURIRE.

الحمد لله الذي وفقنا لهذا.

إهداء

إلى من زرع فيّ حب العلم،
إلى من سهر وتعب من أجلي،
لى من كانت دعواتهم ترافقني في كل لحظة...

إلى أمي وأبي،
كما أُهدي ثمرة هذا الجهد، عرفانًا وتقديرًا لما قدمتماه من تضحيات لا تُعد ولا تُحصى.

إلى إخوتي وأخواتي،
الذين كانوا السند والدعم في مسيرتي،
أُهديكم جزءًا من هذا النجاح.

إلى كل أصدقائي وزملائي،
الذين شاركوني هذا الدرب بكل ما فيه من تحديات وفرح، لكم كل الحب والوفاء.

إلى كل من علّمني حرفًا، وفتح لي باب معرفة،
هذا العمل ثمرة توجيهكم وإيمانكم.

إلى روحي التي آمنت بأن العلم نور...

أهديكم هذا العمل، راجيًا من الله أن يُكتب له القبول.

Résume

Ce mémoire vise à étudier le rôle de la maintenance préventive dans l'amélioration de la performance des machines au sein de l'entreprise SOMIPHOS, spécialisée dans l'activité minière et qui s'appuie fortement sur des équipements mécaniques lourds, opérant dans des conditions difficiles et en régime continu. Dans ce contexte, la maintenance devient une nécessité stratégique, non pas seulement pour réparer les pannes, mais surtout pour les anticiper et garantir la continuité de la production. Le travail débute par une présentation générale du concept de maintenance industrielle, en montrant son évolution d'une simple activité corrective vers une fonction intégrée, planifiée et rigoureusement suivie. Il met en lumière les différents types de maintenance, leurs objectifs, les étapes de mise en œuvre ainsi que les niveaux d'intervention, tout en s'appuyant sur des outils d'analyse de défaillances et des indicateurs de performance comme le MTBF et le MTTR, utiles pour évaluer la fiabilité des systèmes.

Le deuxième chapitre est consacré à la maintenance préventive, cœur du sujet, en expliquant ses trois formes principales (systématique, conditionnelle et prédictive) ainsi que les méthodes pratiques d'application selon l'état des équipements. L'accent est mis sur les avantages de cette approche, notamment la réduction des arrêts imprévus, l'amélioration de la qualité, la maîtrise des coûts et son intégration dans des outils de gestion tels que la GMAO. L'étude aborde aussi l'impact positif de la maintenance préventive sur la sécurité au travail, la gestion de l'énergie et l'adhésion aux normes de qualité totale.

Dans le troisième chapitre, une application pratique est présentée à travers l'analyse des moyens de transport minier, considérés comme des équipements à forte sollicitation. Le mémoire décrit les systèmes de chargement et de transport, les caractéristiques des camions et chargeuses, ainsi que les critères techniques de choix et de fonctionnement. Une évaluation technique des équipements de SOMIPHOS a été réalisée, accompagnée de propositions d'amélioration via des outils décisionnels comme la méthode Noiret et l'AMDEC, permettant de prioriser les actions de maintenance selon des critères de gravité, fréquence et de coût.

En conclusion, l'étude démontre que la mise en place d'une politique rigoureuse de maintenance préventive chez SOMIPHOS constitue un levier essentiel pour préserver la disponibilité des machines, garantir une haute productivité et assurer la stabilité de l'exploitation, ce qui se traduit par une amélioration globale de la performance de l'entreprise.

الملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة دور الصيانة الوقائية في تحسين أداء الآلات داخل مؤسسةSOMIPHOS ، المتخصصة في النشاط المنجمي، حيث تعتمد بشكل كبير على معدات ميكانيكية ثقيلة تعمل في ظروف صعبة ومستمرة. وفي هذا السياق، أصبحت الصيانة ضرورة استراتيجية، ليس فقط لإصلاح الأعطال، وإنما لتفاديها قبل حدوثها وضمان استمرارية الإنتاج. انطلقت المذكرة بتوضيح عام حول مفهوم الصيانة الصناعية، مبيّنةً تطورها من مجرد نشاط تصحيحي إلى وظيفة متكاملة تُخطّط وتُتابع بدقة، مع التركيز على أنواع الصيانة المختلفة، وأهدافها، ومراحل تنفيذها، ومستويات التدخل، إضافة إلى أدوات تحليل الأعطال ومؤشرات الأداء مثل MTBF و MTTRالتي تساعد في تقييم مدى موثوقية الأنظمة. ثم خُصّص الفصل الثاني للصيانة الوقائية باعتبارها محور الدراسة، حيث تم شرح أنواعها الثلاثة (النظامية، الشرطية، والتنبؤية)، وكيفية تطبيق كل نوع منها حسب حالة المعدة. كما تم التطرق لدور هذه الصيانة في تقليل التوقفات المفاجئة، وتحسين جودة الإنتاج، وتقليل التكاليف، إضافة إلى علاقتها الوثيقة بأدوات التسيير كـGMAO ، وجودتها في دعم قرارات الصيانة المبنية على بيانات دقيقة. وعُرض أيضًا أثر الصيانة الوقائية على السلامة المهنية، الجودة الشاملة، واستهلاك الطاقة. أما في الفصل الثالث، فقد تناولت المذكرة جانبًا تطبيقيًا يتمثل في وسائل النقل بالمناجم، باعتبارها من أكثر المعدات عرضة للاستهلاك السريع. تم شرح أنظمة الشحن والنقل، وخصائص الشاحنات، وأهمية اختيار العتاد المناسب. كما تم تقديم تحليل تقني لمعدات النقل المستخدمة فيSOMIPHOS ، واقتراح آليات لتحسين صيانتها باستخدام أدوات تقييم مثل طريقة Noiret وطريقة AMDEC لتحديد الأولويات. في النهاية، خلصت الدراسة إلى أن تطبيق صيانة وقائية ممنهجة داخل مؤسسة SOMIPHOS يمثل عاملاً رئيسيًا في الحفاظ على جاهزية المعدات، وضمان مردودية عالية، واستقرار في عملية الإنتاج، ما ينعكس إيجابيًا على الأداء العام للمؤسسة.

Abstract

This dissertation aims to study the role of preventive maintenance in improving machine performance within the company SOMIPHOS, which specializes in mining activities and heavily relies on heavy mechanical equipment operating in difficult conditions and on a continuous basis.
In this context, maintenance becomes a strategic necessity—not merely to repair breakdowns but, more importantly, to anticipate them and ensure production continuity.

The work begins with a general presentation of the concept of industrial maintenance, showing its evolution from a simple corrective activity to an integrated, planned, and rigorously monitored function. It highlights the different types of maintenance, their objectives, implementation steps, and levels of intervention, while relying on failure analysis tools and performance indicators such as MTBF (Mean Time Between Failures) and MTTR (Mean Time To Repair), which are useful for evaluating system reliability.

The second chapter is dedicated to preventive maintenance, the core of the subject, by explaining its three main forms (systematic, conditional, and predictive), as well as practical application methods based on the condition of the equipment. Emphasis is placed on the advantages of this approach, particularly the reduction of unexpected downtime, improved quality, cost control, and its integration into management tools such as CMMS (Computerized Maintenance Management System). The study also addresses the positive impact of preventive maintenance on workplace safety, energy management, and compliance with total quality standards.

In the third chapter, a practical application is presented through the analysis of mining transportation equipment, considered to be highly stressed machinery. The dissertation describes the loading and transport systems, the characteristics of trucks and loaders, as well as the technical criteria for their selection and operation. A technical evaluation of SOMIPHOS equipment was carried out, accompanied by improvement proposals using decision-making tools such as the Noiret method and FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), which help prioritize maintenance actions based on severity, frequency, and cost criteria.

In conclusion, the study demonstrates that implementing a rigorous preventive maintenance policy at SOMIPHOS is a key lever to maintaining machine availability, ensuring high productivity, and securing operational stability—ultimately leading to an overall improvement in the company's performance.

SOMMAIRE

Remerciements……I

إهداء ……. II

Résume……III

الملخص…… IV

Abstract ……..……V

Introduction générale :.....2

Chapitre I :_Généralité sur la maintenance

I. Introduction.....5

I.1.1 Action de maintenance.....5

I.1.1.1 Méthodes et études.....5

I.1.1.2Action technique.....5

I.2. Objectifs de la maintenance.....6

I.3. La stratégie de maintenance.....6

I.4. Les différents types de maintenance.....7

I.4.1. Maintenance corrective.....8

I.4.1.1. Maintenance curative.....8

I.4.1.2. Maintenance palliative.....8

I.4.1.3. Objectif de la maintenance corrective.....8

I.4.1.4 Méthodologie de la maintenance corrective.....8

I.4.2. Maintenance préventive.....9

I.4.2.1. Maintenance préventive systématique.....9

I.4.2.2. Maintenance préventive conditionnelle.....9

I.4.2.3. Maintenance préventive prévisionnelle.....10

I.4.2.4. Objectifs de la Maintenance Préventive.....10

I.4.2.5. Méthodologie de la Maintenance Préventive.....10

I.4.3. Maintenance proactive.....11

I.4.3.1 Objectifs de la Maintenance Proactive.....11

I.4.3.2. Méthodologie de la Maintenance Proactive.....11

I.4.4. Maintenance prédictive.....12

SOMMAIRE

I.4.4.1Objectifs de la Maintenance Prédictive 12
I.4.4.2 Méthodologie de la Maintenance Prédictive 12
I.5. Les niveaux de la maintenance 13
I.6. Fiabilité des Systèmes Techniques 14
I.6.1 Concepts de Base en Fiabilité 15
I.6.2 Indicateurs de Performance en Fiabilité 15
I.6.2.1 Temps Moyen Entre les Pannes (MTBF - Mean Time Between Failures) 15
I.6.2.2 Temps Moyen de Réparation (MTTR - Mean Time To Repair) 15
I.6.2.3 Temps Moyen avant la Première Panne (MTTF - Mean Time To Failure) 15
I.6.2.4 Disponibilité (A - Availability) 15
I.6.2.5 Taux de Défaillance (λ - Failure Rate) 16
I.6.3 Analyse des Pannes et Méthodes d'Évaluation 16
I.6.4 Modèles Statistiques en Fiabilité 16
I.7 Conclusion 16

Chapitre II: La maintenance préventive

II Introduction 18
II.1. Maintenance préventive 18
II.1.1 La maintenance conditionnelle 19
II.1.1.1 Objectifs de la maintenance conditionnelle 19
II.1.1.2 Démarche générale de préparation des visites préventives 19
II.1.2 La maintenance prédictive 19
II.1.3 La maintenance systématique 20
II.2 Objectifs de la maintenance préventive 20
II.3 Objectifs visés par la maintenance préventive 21
II.4 Opérations de maintenance préventive 21
II.4.1 Inspection 21
II.4.2 Contrôle 21
II.5 Autres activités du service maintenance 22
II.6 Déroulement d'une action de maintenance préventive 23
II.7 La relation entre la défaillance et les moyens de maintenance préventive 25
II.8. La relation entre la GMAO et la maintenance préventive 26
II.9 L'impact de la maintenance préventive sur la fiabilité 27

II.10 Contribution de la maintenance préventive à la réduction des pertes de production.....28
II.10.1 Réduction des arrêts de production non planifiés.....28
II.10.2 Maintien de la continuité du flux de production.....28
II.10.3 Amélioration de la qualité des produits et réduction des pertes.....29
II.10.4 Amélioration de l'organisation du travail et réduction des interventions d'urgence.29
II.10.5 Renforcement de la compétitivité de l'entreprise.....29
II.11 Intégration de la maintenance préventive dans le management de la qualité totale (TQM) 30
II.11.1 Contribution de la maintenance à l'amélioration continue de la qualité.....30
II.11.2 Compatibilité avec les normes ISO et les démarches Six Sigma 30
II.11.3 Synergie entre les services qualité et maintenance.....31
II.12 Impact de la maintenance préventive sur la santé et la sécurité au travail 31
II.12.1 Réduction des accidents liés aux défaillances techniques.....31
II.12.2 Création d'un environnement de travail sûr et stable 31
II.12.3 Intégration des exigences HSE dans les activités de maintenance.....32
II.13 Dispositif de formation continue pour le personnel de maintenance 32
II.13.1 Nécessité de la montée en compétences dans les métiers de la maintenance.....32
II.13.2 Contenus pédagogiques axés sur les technologies modernes.....32
II.13.3 Effets de la formation sur la performance technique et opérationnelle.....33
II.14 Rôle de la maintenance préventive dans l'optimisation de la consommation énergétique 33
II.14.1 Réduction des pertes énergétiques par une maintenance ciblée.....33
II.14.2 Surveillance des équipements énergivores.....34
II.14.3 Corrélation entre efficacité énergétique et maintenance préventive.....34
II.15 Intégration de la maintenance préventive dans la planification de la production.....34
II.15.1 Synchronisation des interventions de maintenance avec les cycles de production ...34
II.15.2 Coordination interservices pour une gestion efficace des arrêts programmés.....35
II.15.3 Réduction des conflits de planification et amélioration de la performance globale..35
Conclusion 35

Chapitre III : Les moyens de transport

III.1 Introduction 38
III.2 Le chargement 38

III.2.1 Choix d'engin de chargement 39
III.2.2 Types d'engins de chargement 39
III.2.2.1 Engins à fonctionnement cyclique 39
III.2.2.1.1 Définition 39
III.2.2.1.2 Caractéristiques 39
III.2.2.1.3 Exemples 39
III.2.2.2 Engins à fonctionnement continu 39
III.2.2.2.1 Définition 39
III.2.2.2.2 Caractéristiques 40
III.2.2.2.3 Exemples 40
III.3 Moyens de chargement 40
III.3.1 Les chargeuses 40
III.3.1.1 Fonctionnement des chargeuses 41
III.3.1.2 Éléments constitutifs d'une chargeuse 41
III.3.1.2.1 Moteur 41
III.3.1.2.2 Transmission 41
III.3.1.2.3 Pneus ou chenilles 41
III.3.1.3 Chargeuses sur pneus (Chargeuses à roues) 41
III.3.1.3.1 Définition 41
III.3.1.3.2 Avantages 41
III.3.1.3.3 Inconvénients 42
III.3.1.4 Chargeuses sur chenilles 42
III.3.1.4.1 Définition 43
III.3.1.4.2 Avantages 43
III.3.1.4.3 Inconvénients 43
III.3.1.4.4 Durée de cycle de la chargeuse « tch » 43
III.3.1.5 Les pelles hydrauliques (en rétro ou en butte) 44
III.3.1.5.1 Pelle hydraulique en rétro 44
III.3.1.5.1.1 Avantages 44
III.3.1.5.1.2 Inconvénients 44
III.3.1.5.2 Pelle hydraulique en butte 44
III.3.1.5.2.1 Avantages 45

III.3.1.5.2.2 Inconvénients 45
III.3.1.6 Les pelles à câbles sur chenilles.....45
III.3.1.6.1 Avantages 45
III.3.1.6.2 Inconvénients 46
III.3.1.7 Les draglines marcheuses.....46
III.3.1.7.1 Avantages 46
III.3.1.7.2 Inconvénients 46
III.4 Le transport.....47
III.4.1 Engins de transport.....47
III.4.2 Cycle des engins de transport 48
III.4.3 Critères de choix des engins de transport 48
III.4.4 Types d'engins de transport 49
III.4.4.1 Transports continus 49
III.4.4.1.1 Convoyeur à bande 49
III.4.4.1.1.1 Classification des convoyeurs à bande.....50
III.4.4.1.1.2 Éléments constitutifs d'une bande transporteuse.....51
III.4.4.2 Avantages du transport par bande 52
III.4.4.3 Transports discontinus 54
III.4.4.3.1 Les camions 54
III.4.4.3.1.1 Les éléments principaux du camion.....54
III.4.4.3.1.2 Les conditions les plus favorables à l'emploi des camions.....55
III.4.4.3.2 Avantages du transport par camion.....56
III.4.4.3.3 Inconvénient du transport par camion.....56
III.4.4.3.4 Choix du type de camion.....56
III.4.4.3.5 Rendement du camion et leur nombre 57
III.4.4.3.5.1 Calcul de la charge nette par cycle (Charge nette par cycle).....57
III.4.4.3.5.2 Calcul du temps de cycle (Cycle time).....57
III.4.4.3.5.3 Calcul de la productivité horaire du camion (Rendement horaire).....57
III.4.4.3.5.4 Calcul du nombre de camions nécessaires.....58
III.4.4.3.6 Combinaison des opérations de chargement et de transport.....58
III Conclusion 59

IV.1 L'Abaque de Noiret 61
IV.1.1 Objectif de l'outil 61
IV.1.2 Critères fondamentaux de décision 61
IV.1.3 Résultat de l'analyse.....61
IV.2 L'Abaque de Noiret (L'abaque de Noiret) 62
IV.2.1 Critères Fondamentaux sur lesquels l'Abaque de Noiret repose 62
IV.2.2 Résultats de l'Abaque 62
IV.2.3 Analyse économique 63
IV.3 Coefficients pondéré.....66
IV.4 Analyse prévisionnelle des défaillances (AMDEC).....66
IV.4.1 Principes de l'AMDEC 66
IV.4.2 Objectifs principaux de l'AMDEC 66
IV.4.3 Les avantages de l'AMDEC 67
IV.4.4 Types d'AMDEC 67
IV.4.4.1 AMDEC Produit (AMDEC produit fini ou composant).....67
IV.4.4.2 AMDEC Processus (ou AMDEC de fabrication).....68
IV.4.4.3 AMDEC Machine (ou AMDEC maintenance) 68
IV.4.5 Démarche pratique de l'AMDEC 68
IV.4.6 Étapes de la démarche AMDEC 68
IV.4.7 Les indice de Criticité (C) 70
IV.4.7.1 Indice F 70
IV.4.7.2 L'indice G 70
IV.4.7.3 Indice D 71
IV.4.7.4 Indice de criticité C 71
IV.5 Méthode ABC (Diagramme Pareto) 72
IV.5.1 But de la méthode ABC 73
IV.5.2 Démarche d'application de la méthode ABC 73
IV.5.3 Importance de la méthode ABC 74
Conclusion 74
IV.6 Parti pratique 75
IV.6.1 Introduction.....75
IV.6.2 Évaluation de la criticité du Terex TRX60 selon la méthode de Noiret 75

IV.6.3 Évaluation de la criticité du Caterpillar 773F selon la méthode de Noiret 77
IV.6.4 Application concrète et conclusion 78
IV.6.5 Application AMDEC et ABC sur camion trx60 79
IV.6.5.1 Application de la méthode ABC sur camion trx60 80
IV.6.5.2 Application de la méthode AMDEC sur camion trx60 81
IV.6.5.4 Analyse des catégories (A, B, C) 83
IV.6.6 Application AMDEC et ABC sur camion Caterpillar773F 83
IV.6.6.1Application de la méthodes ABC sur Caterpillar773F 84
IV.6.6.2Application de la méthode AMDEC sur Caterpillar773F 85
IV.6.6.4 Analyse des catégories (A, B, C) 87
Conclusion générale 88
Bibliographie……90
Les annexes……93

Liste des tableaux

Chapitre I
Tableau I. 1: Les Niveaux de Maintenance 14
Chapitre IV
Tableau IV.1 : Nombre des points correspondant à l'âge de l'équipement.....64
Tableau IV. 2 : Nombre des points correspondant à interdépendance de matériel 64
Tableau IV. 3 : Nombre des points correspondant au coût de l'équipement.....64
Tableau IV. 4 : Nombre des points correspondant à la complexité et l'accessibilité de l'équipement.....64
Tableau IV. 5 : Nombre des points correspondant à la robustesse et la précision de l'équipement.....65
Tableau IV. 6 : Nombre des points correspondant aux l'origine de matériel 65
Tableau IV. 7 : Nombre des points correspondant à l'utilisation de l'équipement dans le temps 65
Tableau IV. 8 : Nombre des points correspondant aux conséquences des défaillances sur la machine.....65
Tableau IV. 9 : Nombre des points correspondant aux délais de production qui lui sont liés..65
Tableau IV. 10 : Grille de cotation de la probabilité d'occurrence 70
Tableau IV. 11 : Grille de cotation de la gravite 71
Tableau IV. 12 : Grille de cotation de la probabilité de non détection.....71
Tableau IV. 13 : Évaluation de la criticité du Terex TRX60 selon la méthode de Noiret 75
Tableau IV. 14 : Évaluation de la criticité du Caterpillar 773F selon la méthode de Noiret....77
Tableau IV. 15 : Les gammes camion trx60 79
Tableau IV. 16 : Application de la méthode ABC sur camion trx60 80
Tableau IV. 17 : Application de la méthode AMDEC sur camion trx60 81
Tableau IV. 18 : Les gammes camion Caterpillar773F 83
Tableau IV. 19 : Application de la méthode ABC sur camion Caterpillar773F 84
Tableau IV. 20 : Application de la méthode AMDEC sur Caterpillar773F 85

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1:Schématisation des objectifs de la maintenance……6
Figure I.2 : Conception de la maintenance…….……... 7

Chapitre II

Figure II.1: Déroulement d'une action de maintenance préventive……...24

Chapitre III

Figure III.1: Types des engins déchargement……..……..40
Figure III. 2 : chargeuses sur chenilles……..43
Figure III. 3 : pelles hydrauliques……..45
Figure III. 4 : pelles à câbles sur chenilles……46
Figure III. 5 : draglines marcheuses……..47
Figure III. 6 : Types des engins de transport……48
Figure III.7 :schéma de cycle de l'unité de transport……49
Figure III. 8 : Les différents composants du convoyeur à bande……..54
Figure III. 9 : dumper Caterpillar 773F……55
Figure III. 10 : Procédure de détermination de la flotte de production d'une mine……...58

Chapitre IV

Figure IV. 1 : La courbe de Pareto ……..74
Figure IV. 2 : Le niveau de criticité du Terex TRX60 (Méthode Noiret) ……78
Figure IV. 3 :Le niveau de criticité du Caterpillar 773F (Méthode Noiret) ……79
Figure IV. 4 : Les courbe Pareto (ABC) et AMDEC sur camion trx60 ……...83
Figure IV. 5 : la courbe de Pareto et AMDEC sur camion Caterpillar773F…….87

Liste des abréviations

1. MTBF – Temps Moyen Entre Deux Pannes
2. MTTR – Temps Moyen de Réparation
3. MTTF – Temps Moyen Avant-Première Panne
4. A – Disponibilité
5. λ – Taux de Défaillance
6. FTA – Fault Tree Analysis
7. FMEA – Failure Mode and Effects Analysis
8. CBM – Condition-Based Maintenance
9. GMAO – Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
10. TDT – Taux de Disponibilité Technique
11. TCO – Total Cost of Ownership
12. TQM – Total Quality Management
13. CAPA – Actions Correctives et Préventives
14. ISO – Organisation Internationale de Normalisation
15. Cp / Cpk – Indices de Capabilité
16. TRS – Taux de Rendement Synthétique
17. SST – Santé et Sécurité au Travail
18. HSE – Hygiène, Sécurité, Environnement
19. EPI – Équipements de Protection Individuelle
20. IoT – Internet of Things
21. SCADA – Système de Supervision et d'Acquisition de Données
22. HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning
23. COP – Coefficient de Performance
24. ERP – Enterprise Resource Planning
25. OTD – On Time Delivery
26. Tch – Temps de Chargement
27. Tdèch – Temps de Déchargement
28. Tm – Temps de Manœuvre
29. Tret – Temps de Retour
30. Tcy – Temps de Cycle

31. Tc, Ta, Td, Tr, Tat – Détails du cycle (Chargement, Aller, etc.)
32. Q camion – Quantité Transportée par Camion (t/h)
33. C camion – Poids à Vide du Camion
34. C bruts – Charge Brute Autorisée
35. C nette – Charge Utile
36. n – Nombre de Cycles Possibles par Heure
37. Q total – Débit de Production Requis
38. ROI – Retour sur Investissement
39. AMDEC – Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
40. ASQC – American Society for Quality Control
41. Noiret – Méthode Graphique de Sélection de la Stratégie de Maintenance
42. ABC – Méthode de Classification ABC
43. C = F × G × D – Indice de Criticité
44. TI – Temps d'Intervention
45. NF EN 13306 – Norme Française Européenne relative à la maintenance
46. AFNOR – Association Française de Normalisation
47. NFX 60-010 – Norme Française Expérimentale (Niveaux de maintenance)

Introduction générale

Introduction générale :

Dans le monde industriel moderne, la compétitivité des entreprises repose de plus en plus sur leur capacité à maintenir un niveau élevé de performance opérationnelle. Cette exigence s'impose particulièrement dans les secteurs à forte intensité mécanique et technologique, tels que le secteur minier, où les équipements sont soumis à des conditions d'exploitation difficiles et à une sollicitation quasi continue. L'un des leviers majeurs de cette performance est sans aucun doute la maîtrise de la maintenance, qui vise à assurer la disponibilité, la fiabilité et la longévité des équipements de production.

Longtemps perçue comme une fonction secondaire ou purement corrective, la maintenance a progressivement évolué pour devenir un élément stratégique de gestion des actifs industriels. Dans les environnements de production complexes, où toute interruption peut engendrer des pertes financières importantes, il est impératif d'anticiper les défaillances à travers une politique de maintenance proactive, notamment la maintenance préventive. Cette dernière permet non seulement de prévenir les pannes, mais aussi de réduire les coûts globaux de maintenance, d'améliorer la sécurité des installations, et d'optimiser la durée de vie des équipements.

Dans cette optique, l'entreprise SOMIPHOS, acteur majeur dans le domaine de l'exploitation du phosphate en Algérie, fait face à de nombreux défis liés à la gestion de ses machines roulantes et fixes. L'activité minière menée par cette entreprise repose sur l'utilisation de moyens mécaniques lourds pour l'extraction, le transport et le traitement du minerai. Ces équipements, souvent coûteux et techniquement complexes, doivent être maintenus en état optimal pour éviter les arrêts de production et garantir une exploitation efficace et rentable. Cependant, des problèmes de disponibilité des pièces de rechange, un environnement de travail agressif (poussière, vibrations, chaleur), et des contraintes organisationnelles rendent parfois la maintenance difficile à planifier et à mettre en œuvre de manière optimale.

Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser, comprendre et contribuer à l'amélioration de la maintenance préventive des machines au niveau de SOMIPHOS, à travers une démarche structurée s'appuyant à la fois sur des aspects théoriques et pratiques. Le travail de recherche repose sur plusieurs axes : d'une part, il s'agit de revisiter les fondamentaux de la maintenance industrielle afin de mieux cerner ses évolutions, ses enjeux, et les outils modernes disponibles ; d'autre part, l'étude met en lumière l'importance spécifique de la maintenance préventive, ses types, ses modalités d'application, et son rôle central dans l'environnement minier.

Par ailleurs, une attention particulière est accordée à l'analyse technique des équipements de transport utilisés dans les carrières, notamment les dumpers miniers, qui assurent le

déplacement de grandes quantités de minerai sur des distances variables. Ces engins, très sollicités, représentent à la fois un investissement lourd et un maillon critique de la chaîne de production. Leur indisponibilité, même momentanée, peut engendrer des déséquilibres importants dans le processus d'exploitation.

Dans une démarche d'amélioration continue, ce travail adopte également des méthodes d'aide à la décision qui permettent de mieux prioriser les actions de maintenance selon des critères objectifs. À travers l'utilisation de méthodes comme celle de Noiret ou de l'analyse multicritère AMDEC (Analyse Multicritère Décisionnelle Conditionnelle), l'étude cherche à établir une hiérarchisation rationnelle des interventions, en se basant sur la gravité des défaillances, leur fréquence, les coûts induits, ainsi que d'autres critères techniques et économiques pertinents.

Ainsi, cette contribution ne se limite pas à une simple observation des pratiques existantes, mais propose une réflexion approfondie sur la manière d'optimiser les ressources disponibles, d'adapter les méthodes de maintenance aux réalités du terrain, et de renforcer la fiabilité globale du système de production. Elle s'adresse aussi bien aux ingénieurs de maintenance, aux responsables techniques qu'aux décideurs industriels soucieux d'améliorer la performance de leurs équipements tout en maîtrisant les risques opérationnels.

En somme, ce mémoire s'inscrit dans une volonté de proposer des solutions concrètes et durables pour une gestion plus efficace de la maintenance préventive au sein de SOMIPHOS, en tenant compte à la fois des contraintes techniques, des réalités économiques, et des objectifs stratégiques de l'entreprise.

Chapitre I :

Généralité sur la maintenance

I. Introduction

La maintenance est devenue une fonction incontournable et stratégique pour les entreprises modernes, gagnant en importance à mesure que les équipements et systèmes technologiques deviennent plus complexes. Cette tendance s'explique par le fait que les équipements industriels actuels, souvent intégrés dans des processus automatisés et basés sur des technologies avancées, nécessitent une gestion rigoureuse pour garantir leur bon fonctionnement. La maintenance n'est plus perçue comme une simple activité corrective ayant pour seul objectif de réparer les pannes. Elle est désormais considérée comme une nécessité impérative pour prévoir et éviter les dysfonctionnements, tout en optimisant la disponibilité et la performance des équipements. En conséquence, elle joue un rôle clé dans l'amélioration de l'efficacité opérationnelle et économique des entreprises [1].

I.1. Définition de la maintenance

La maintenance peut être définie comme l'ensemble des activités techniques, administratives et de gestion destinée à maintenir ou rétablir un bien (équipement, système, infrastructure, etc.) dans un état spécifié afin d'assurer un service déterminé. Elle vise à garantir la disponibilité, la fiabilité et la performance des équipements tout en minimisant les risques de panne et les coûts associés [2] [3].

Selon la norme NF EN 13306:2018 (Maintenance - Vocabulaire), publiée par l'AFNOR (Association Française de Normalisation), la maintenance est définie comme suit :

"Ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise." [3].

I.1.1 Action de maintenance

I.1.1.1 Méthodes et études

- Ordonnancement, préparation, lancement
- Gestion des coûts
- Gestion de documentation
- Gestion des stocks
- Gestion des équipements et des outillages
- Gestion des ressources humaines [4]

I.1.1.2Action technique :

- Contrôle d'état
- Localisation de défaillance et diagnostic

- Réparation
- Échange
- Graissages et lubrification [4]

I.2. Objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance, schématisés dans la figure 1 sont nombreux :

- Garantir la quantité des produits fabriqués tout en respectant les délais.
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- Contribuer à la création et aux maintenances de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).[5]

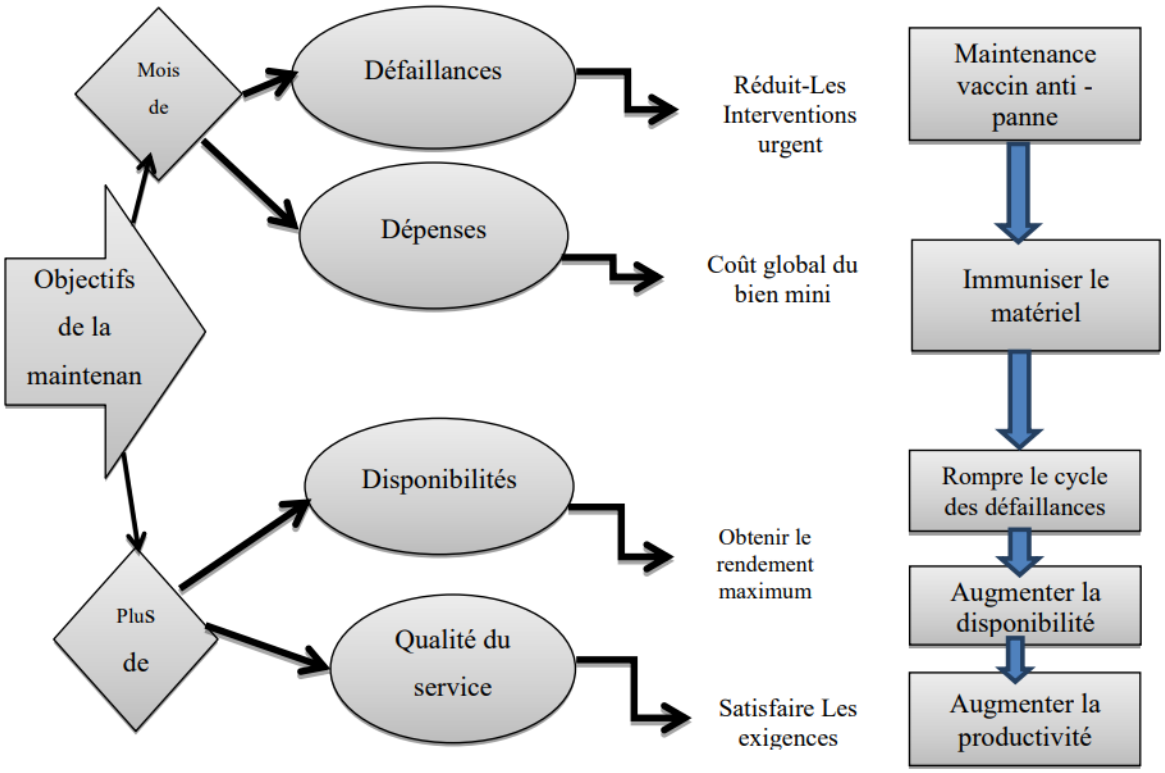


Figure Ⅰ.1: Schématisation des objectifs

I.3. La stratégie de maintenance :

Les choix stratégiques en matière de maintenance visent à atteindre plusieurs objectifs clés :

Développer, adapter ou mettre en œuvre des méthodes de maintenance :

Il s'agit de concevoir ou d'ajuster les approches et techniques de maintenance en fonction des besoins spécifiques des équipements et des processus industriels.

Élaborer et optimiser les gammes de maintenance :

Cela consiste à définir et structurer les étapes des interventions de maintenance pour garantir

Leur efficacité, tout en réduisant les temps d'arrêt et les coûts associés.

Organiser les équipes de maintenance :

La répartition des rôles et des responsabilités au sein des équipes de maintenance est essentielle pour assurer une coordination fluide et une exécution efficace des tâches.

Choisir entre internalisation et externalisation des tâches de maintenance :

Les entreprises doivent décider si elles gèrent leurs activités de maintenance en interne ou si elles font appel à des prestataires externes, que ce soit partiellement ou totalement.

Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables :

Une gestion rigoureuse des stocks permet de garantir la disponibilité des pièces nécessaires pour les interventions, tout en évitant les surcoûts liés aux excès de stock ou aux pénuries.

Évaluer l'impact économique d'une amélioration des outils de production :

L'analyse du retour sur investissement permet de comparer le coût initial d'une modernisation aux bénéfices attendus (productivité, réduction des coûts, meilleure disponibilité). Cette évaluation aide à prendre des décisions rentables et optimisées pour la maintenance. [6]

I.4. Les différents types de maintenance

La maintenance industrielle se divise en plusieurs catégories selon leur approche et leurs objectifs. Voici un aperçu détaillé des différentes formes de maintenance.

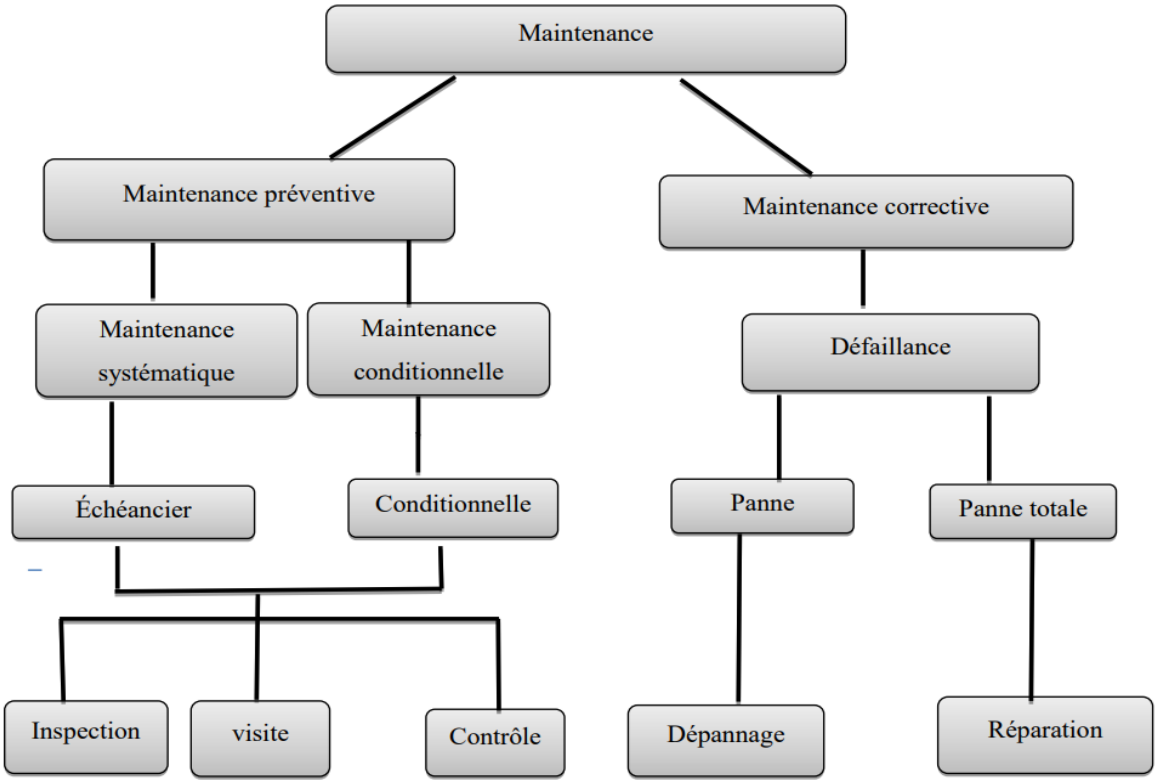


Figure I .2 : Conception de la maintenance [15]

I.4.1. Maintenance corrective :

La maintenance corrective est une intervention effectuée après l'apparition d'une panne, dans le but de rétablir l'équipement à son état de fonctionnement d'origine. Elle permet d'identifier et d'éliminer la cause du dysfonctionnement, en particulier lorsque la défaillance est soudaine et non progressive, afin d'éviter qu'elle ne se reproduise. Ce type de maintenance se divise en deux catégories d'interventions. [7]

I.4.1.1. Maintenance curative

La maintenance corrective curative est une intervention réalisée après l'apparition d'une panne, avec pour objectif principal d'éliminer les causes profondes du dysfonctionnement afin d'éviter sa récurrence. Contrairement à la maintenance palliative, qui se limite à une solution temporaire, la maintenance curative vise une réparation définitive**.** [7]

I.4.1.2. Maintenance palliative

La maintenance palliative est une intervention temporaire réalisée après l'apparition d'un dysfonctionnement afin de maintenir l'équipement en fonctionnement jusqu'à une réparation définitive. Contrairement à la maintenance curative, qui traite la cause du problème, la maintenance palliative vise uniquement à limiter les effets de la panne sans la résoudre complètement. [7]

I.4.1.3. Objectif de la maintenance corrective

L'objectif principal de la maintenance corrective est de remettre un équipement en état de fonctionnement après l'apparition d'une panne ou d'un dysfonctionnement. Elle vise à :

- Restaurer la performance initiale de l'équipement dans les plus brefs délais.
- Minimiser l'impact des pannes sur la production ou les opérations.
- Identifier et corriger la cause de la défaillance, afin d'éviter des pannes récurrentes.
- Garantir la sécurité des équipements et des opérateurs en éliminant les anomalies pouvant présenter un risque. [7]

I.4.1.4 Méthodologie de la maintenance corrective

La maintenance corrective suit plusieurs étapes pour assurer une réparation efficace :

- **Détection de la panne :** Identification du dysfonctionnement par les opérateurs ou à l'aide de systèmes de surveillance.
- **Diagnostic :** Analyse de la cause du problème à l'aide d'inspections, de tests ou d'outils de diagnostic spécifiques.
- **Planification de l'intervention :** Organisation des ressources nécessaires (techniciens, pièces de rechange, outils) et évaluation du temps d'arrêt requis.

- **Réparation ou remplacement :** Correction du défaut par le remplacement de la pièce défectueuse, le réglage d'un composant ou la modification d'un paramètre.
- **Vérification et tests :** Contrôle du bon fonctionnement de l'équipement après l'intervention pour s'assurer que le problème est résolu.
- **Retour en service :** Remise en production de l'équipement avec une surveillance accrue pour éviter une rechute immédiate.
- **Analyse et amélioration continue :** Enregistrement des données sur la panne et l'intervention afin d'optimiser les futures actions de maintenance et, si nécessaire, mettre en place des mesures préventives.

La maintenance corrective peut être immédiate (réalisée dès la détection de la panne) ou différée (planifiée en fonction de la disponibilité des ressources et de l'impact sur la production). [7]

I.4.2. Maintenance préventive :

La maintenance préventive est une approche proactive qui consiste à planifier et effectuer des interventions avant qu'une panne ne survienne, dans le but de prolonger la durée de vie des équipements et de garantir leur bon fonctionnement. Contrairement à la maintenance corrective, qui intervient après une panne, la maintenance préventive vise à réduire la probabilité de défaillance et à optimiser la performance des installations. [8]

I.4.2.1. Maintenance préventive systématique :

La maintenance préventive systématique est une stratégie d'entretien qui consiste à réaliser des interventions à des intervalles fixes, définis en fonction du temps ou du nombre de cycles d'utilisation d'un équipement. Elle est planifiée indépendamment de l'état réel du matériel, ce qui permet de prévenir l'usure et de réduire les risques de pannes imprévues**.** [8]

I.4.2.2. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est une stratégie de maintenance basée sur l'évaluation en temps réel ou périodique de l'état des équipements. Elle consiste à effectuer des interventions uniquement lorsque des signes d'usure ou de dégradation sont détectés, afin d'éviter une panne imminente.

Cette approche repose sur l'utilisation de capteurs, d'inspections visuelles et d'analyses techniques pour déclencher la maintenance au moment optimal, optimisant ainsi les coûts et la disponibilité des équipements. [8]

I.4.2.3. Maintenance préventive prévisionnelle

La maintenance préventive prévisionnelle, également appelée maintenance prédictive, repose sur l'exploitation de données et d'algorithmes avancés pour anticiper les défaillances avant qu'elles ne surviennent.

Elle utilise des modèles mathématiques, des analyses de tendances et des capteurs intelligents pour surveiller en continu l'état des équipements. Cette approche permet de déclencher les interventions au moment optimal, évitant ainsi les réparations inutiles et minimisant les risques d'arrêts de production. [8]

I.4.2.4. Objectifs de la Maintenance Préventive

La maintenance préventive vise à :

- Réduire le risque de pannes en intervenant avant qu'une défaillance ne survienne.
- Améliorer la fiabilité des équipements en préservant leurs performances.
- Limiter les arrêts imprévus et assurer la continuité de la production.
- Optimiser la durée de vie des machines en évitant l'usure prématurée.
- Réduire les coûts de maintenance corrective.
- Garantir la sécurité des employés en minimisant les risques liés aux défaillances. [8]

I.4.2.5. Méthodologie de la Maintenance Préventive

- **Identification des équipements critiques**
  - Analyse des machines nécessitant une maintenance régulière.
  - Classement selon leur importance dans le processus de production.
- **Définition des intervalles de maintenance**
  - Planification basée sur le temps ou sur l'utilisation des équipements**.**
- **Mise en place d'un programme de surveillance**
  - Utilisation de capteurs pour mesurer des paramètres clés.
  - Réalisation d'inspections visuelles et techniques.
- **Intervention et suivi**
  - Exécution des opérations de maintenance selon le calendrier établi.
  - Enregistrement des interventions pour assurer une traçabilité.
- **Analyse des résultats et amélioration continue**
  - Évaluation des performances et ajustement du programme si nécessaire.
  - Optimisation des coûts en fonction des données collectées. [8]

I.4.3. Maintenance proactive

La maintenance proactive est une approche qui vise à éliminer les causes fondamentales des pannes avant qu'elles ne se produisent. Elle repose sur l'analyse des conditions d'exploitation et des facteurs pouvant accélérer l'usure des équipements, afin de réduire les défaillances et améliorer la fiabilité des machines. Contrairement à la maintenance préventive, qui intervient selon un planning défini, la maintenance proactive s'intéresse aux causes racines des dégradations pour empêcher leur apparition. [8]

I.4.3.1 Objectifs de la Maintenance Proactive

Réduire la fréquence des pannes en éliminant leurs causes profondes.

Améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements.

Optimiser la durée de vie des machines en minimisant l'usure prématurée.

Réduire les coûts de maintenance corrective en limitant les réparations urgentes.

Améliorer la sécurité des opérateurs en réduisant les risques de défaillances critiques.

Diminuer la consommation énergétique et les coûts d'exploitation grâce à un entretien optimisé.[8]

I.4.3.2. Méthodologie de la Maintenance Proactive

- **Analyse des causes des défaillances (Root Cause Analysis - RCA)**
  - Identification des facteurs qui accélèrent l'usure des composants.
  - Étude des historiques de pannes et des modes de défaillance.
- **Surveillance et diagnostic avancé**
  - Mise en place de capteurs pour suivre en temps réel les paramètres critiques (température, vibrations, pression...).
  - Utilisation d'outils de maintenance prédictive pour détecter les anomalies précoces.
- **Amélioration des conditions d'exploitation**
  - Optimisation des réglages des machines pour réduire les contraintes mécaniques.
  - Contrôle de la qualité des lubrifiants et des matériaux utilisés.
- **Mise en place d'actions correctives durables**
  - Modification des procédures de travail pour limiter l'usure.
  - Remplacement des composants sensibles par des pièces plus robustes.
- **Suivi et amélioration continue**
  - Analyse des résultats des interventions.
  - Ajustement des stratégies pour améliorer l'efficacité du programme de maintenance.

Cette approche permet ainsi d'anticiper et de prévenir les pannes en agissant sur les causes profondes plutôt que sur les effets. [8]

I.4.4. Maintenance prédictive

La maintenance prédictive est une approche qui repose sur l'analyse des données de fonctionnement des équipements afin d'anticiper les pannes avant qu'elles ne surviennent. Elle utilise des mesures en temps réel, comme les vibrations, la température ou la pression, pour détecter les signes avant-coureurs de défaillance et planifier les interventions au moment optimal. [8]

I.4.4.1Objectifs de la Maintenance Prédictive

- Prévenir les pannes avant leur apparition afin d'éviter les interruptions imprévues.
- Optimiser la durée de vie des équipements en intervenant uniquement lorsque cela est nécessaire.
- Réduire les coûts de maintenance en minimisant les réparations inutiles et en limitant le recours à la maintenance corrective.
- Améliorer la disponibilité des équipements en réduisant les temps d'arrêt non planifiés.
- Optimiser la gestion des stocks de pièces détachées, en remplaçant uniquement les composants réellement usés. [8]

I.4.4.2 Méthodologie de la Maintenance Prédictive

- **Collecte des données**
  - Installation de capteurs pour surveiller en continu l'état des équipements.
  - Mesure des paramètres clés tels que la température, les vibrations et la pression.
- **Analyse et interprétation des données**
  - Étude des variations anormales des indicateurs de performance.
  - Détection des premiers signes d'usure ou de détérioration.
- **Détection des anomalies et prédiction des défaillances**
  - Comparaison des données actuelles avec les valeurs normales de fonctionnement.
  - Estimation du temps restant avant la défaillance pour anticiper les interventions.
- **Planification des interventions**
  - Programmation des opérations de maintenance au moment optimal pour éviter l'arrêt imprévu
  - Remplacement des pièces uniquement lorsqu'une usure critique est détectée.

- **Amélioration continue**
  - Ajustement des seuils d'alerte en fonction de l'expérience et des nouvelles données collectées.
  - Optimisation des processus de maintenance pour accroître l'efficacité et la fiabilité des équipements.

Grâce à cette méthode, les entreprises peuvent réduire les coûts de maintenance, augmenter la durée de vie des équipements et améliorer la productivité globale. [8]

I.5. Les niveaux de la maintenance

Les actions de maintenance sont classées en plusieurs niveaux selon la nature des opérations, les compétences nécessaires de l'intervenant et les ressources disponibles. La norme NFX 60-010 identifie cinq niveaux d'intervention. [9]

Niveau 01 :

Ce niveau comprend les réglages simples et le remplacement d'éléments consommables comme un voyant ou certains fusibles. Ces tâches sont généralement réalisées par l'exploitant de l'équipement, sans outils particuliers et en suivant les instructions d'utilisation. Elles se font sur place, de manière sécurisée, avec un stock de pièces consommables minimal.

Les interventions de maintenance sont réparties en plusieurs niveaux en fonction de la complexité des tâches à réaliser et des compétences requises. Voici une présentation simplifiée et accessible des niveaux 02 à 05 : [9]

Niveau 02 :

Ce niveau comprend les dépannages simples par remplacement standard des pièces prévues à cet effet, ainsi que des opérations mineures de maintenance préventive, comme le graissage ou le changement d'un relais. Ces interventions sont réalisées sur place par un technicien de qualification moyenne, à l'aide d'outils portatifs précisés dans les instructions de maintenance. En cas de besoin, des pièces de rechange transportables sont disponibles rapidement, à proximité du lieu d'exploitation. [9]

Niveau 03 :

À ce niveau, on procède à l'identification et au diagnostic des pannes, aux réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, ainsi qu'aux réparations mécaniques mineures. Il inclut également toutes les opérations habituelles de maintenance préventive. Un technicien spécialisé intervient sur place ou dans un local de maintenance, en utilisant des

Outils spécifiques et des appareils de mesure pour ajuster ou réaligner les équipements si nécessaire. [9]

Niveau 04 :

Ce niveau concerne les travaux importants de maintenance corrective ou préventive, comme les inspections approfondies ou le remplacement de pièces critiques, à l'exception des rénovations complètes. Ces interventions sont réalisées par une équipe technique hautement qualifiée dans un atelier spécialisé, équipé d'outils adaptés et d'appareils de mesure précis. [9]

Niveau 05 :

Il s'agit du niveau le plus avancé, consacré à la rénovation ou à la restauration majeure des équipements. Ces travaux complexes sont confiés à un atelier central ou à une unité extérieure, généralement gérés par le constructeur lui-même. Ce type d'intervention est proche du processus de fabrication, comme lors de la réhabilitation complète d'une raffinerie. [9]

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune d'elles. Cette spécification est détaillée dans le tableau 1.

1 Tableau I. 1: Les Niveaux de Maintenance

NIVEAU	ACTEURS	COMPÉTENCES REQUISES	OUTILS ET ÉQUIPEMENTS	EXEMPLES D'INTERVENTIONS
N1	Opérateurs/usagers	Compétences de base	Outils simples	Nettoyage, graissage, remplacement de petites pièces
N2	Techniciens de maintenance	Compétences techniques de base	Outils standards	Réparation légère, maintenance préventive systématique
N3	Experts' techniques	Compétences avancées	Outils spécialisés	Diagnostic, remplacement de composants complexes
N4	Prestataires externes	Expertise spécialisée	Équipements sophistiqués	Rétrofitting, réparation de haute technologie
N5	Ingénieurs/ Consultants	Compétences stratégiques	Technologies innovantes	Re-conception, optimisation des processus

I.6. Fiabilité des Systèmes Techniques

La fiabilité des systèmes techniques est un domaine essentiel dans l'ingénierie et la gestion industrielle. Elle vise à évaluer la capacité d'un système à fonctionner correctement sur une période donnée sans défaillance. L'objectif est d'optimiser les performances, réduire les pannes, diminuer les coûts d'exploitation et assurer la sécurité.[10]

I.6.1 Concepts de Base en Fiabilité

Pour bien comprendre la fiabilité, il est crucial de maîtriser certains concepts fondamentaux. Voici les principaux [10] :

- **Fiabilité (Reliability) :** Capacité d'un système à accomplir une fonction spécifiée dans des conditions données et pendant une période définie sans défaillance.
- **Disponibilité (Availability) :** Pourcentage du temps où le système est opérationnel et prêt à fonctionner.
- **Maintenabilité (Maintainability) :** Facilité et rapidité avec lesquelles un système peut être réparé et remis en état de marche.
- **Opérabilité (Operability) :** Capacité du système à fonctionner efficacement dans les conditions prévues

I.6.2 Indicateurs de Performance en Fiabilité

I.6.2.1 Temps Moyen Entre les Pannes (MTBF - Mean Time Between Failures)

- **Définition :** Temps moyen pendant lequel un système fonctionne correctement avant une panne.
- **Formule :**

$$\text{MTBF} = \frac{Temps\ total\ de\ fonctionnement}{Nombre\ de\ pannes}$$

I.6.2.2 Temps Moyen de Réparation (MTTR - Mean Time To Repair)

- **Définition :** Temps moyen nécessaire pour réparer une panne et remettre le système en état de marche.
- **Formule :**

$$\text{MTTR} = \frac{Temps\ total\ de\ re'paration}{Nombre\ de\ re'parations}$$

I.6.2.3 Temps Moyen avant la Première Panne (MTTF - Mean Time To Failure)

- **Définition :** Temps moyen de fonctionnement avant la première défaillance pour les systèmes non réparables.
- **Formule :**

$$\text{MTTF} = \frac{Somme\ des\ temps\ de\ fonctionnement}{Nombre\ d'unite's\ teste'es}$$

I.6.2.4 Disponibilité (A - Availability)

- **Définition :** Fraction du temps où le système est en état de marche par rapport au temps total.
- **Formule :**

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

I.6.2.5 Taux de Défaillance (λ - Failure Rate)

- **Définition :** Nombre de pannes par unité de temps.
- **Formule :**

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

I.6.3 Analyse des Pannes et Méthodes d'Évaluation

- **Analyse des Arbres de Défaillance (FTA - Fault Tree Analysis) :** Schéma graphique pour identifier les causes possibles de défaillance et leurs interactions.
- **Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (FMEA - Failure Mode and Effects Analysis) :** Identification proactive des défaillances potentielles et évaluation de leurs conséquences.
- **Maintenance Basée sur l'État (CBM - Condition-Based Maintenance) :** Surveillance régulière de l'état des équipements pour anticiper les pannes.

I.6.4 Modèles Statistiques en Fiabilité

- **Distribution Exponentielle :** Utilisée lorsque le taux de défaillance est constant.

$$R(t)= e^{-\lambda t}$$

- **Distribution de Wei bull :** Adaptée aux taux de défaillance variables.

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

Où :

- β : Paramètre de forme (évolution des défaillances)
- η : Paramètre d'échelle (durée de vie attendue)

I.7 Conclusion :

La maintenance est bien plus qu'une simple réparation des pannes ; elle est devenue un élément clé pour assurer la performance et la pérennité des équipements. Avec l'évolution des technologies et des exigences industrielles, il ne s'agit plus seulement d'intervenir après un problème, mais d'anticiper, d'optimiser et de prévenir les défaillances. En mettant en place des stratégies adaptées, les entreprises peuvent non seulement prolonger la durée de vie de leurs machines, mais aussi améliorer leur rentabilité et garantir un environnement de travail plus sûr Adopter une approche proactive en matière de maintenance, c'est faire un pas vers plus d'efficacité et de compétitivité

Chapitre II :

La maintenance préventive

II Introduction :

Dans un environnement industriel en constante évolution, la fiabilité des équipements et la qualité de la production représentent des enjeux majeurs pour la compétitivité et la pérennité des entreprises. La maintenance ne se limite plus à intervenir après une panne, mais s'inscrit aujourd'hui dans une démarche proactive à travers la maintenance préventive. [11]

La maintenance préventive consiste en un ensemble d'actions planifiées et régulières, basées sur des données techniques précises, visant à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement et à éviter les arrêts imprévus. En anticipant les défaillances, elle permet non seulement de prolonger la durée de vie des installations, mais aussi de réduire les coûts liés aux interventions d'urgence et aux pertes de production. [12]

Ce chapitre a pour objectif de présenter les fondements de la maintenance préventive, d'en explorer les différentes formes, les avantages et les limites, tout en mettant en lumière les outils de planification et de suivi utilisés dans sa mise en œuvre. Des exemples pratiques viendront illustrer son application dans le contexte industriel. [12]

II.1 Maintenance préventive :

La maintenance préventive désigne l'ensemble des actions planifiées à l'avance, réalisées selon des critères bien définis, dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un équipement ou la dégradation de la qualité d'un service. [13]

On distingue principalement deux formes de maintenance préventive, en fonction du type de critère utilisé :

- **Lorsque le critère repose sur une unité d'usage déterminée** (par exemple : nombre d'heures de fonctionnement, kilomètres parcourus, nombre de pièces produites…), on parle de maintenance préventive systématique. Celle-ci consiste à intervenir à intervalles réguliers, sans tenir compte de l'état réel de l'équipement.
- **En revanche, si le critère est une valeur seuil liée à l'état de l'équipement** (comme un niveau de vibration, une température anormale, ou une usure mesurée), il s'agit alors de maintenance préventive conditionnelle, aussi appelée maintenance selon l'état. Elle permet d'intervenir uniquement lorsque cela est nécessaire, en se basant sur des indicateurs techniques. [13]

Cette distinction permet d'adapter la stratégie de maintenance aux besoins réels de l'équipement, en conciliant efficacité, disponibilité et maîtrise des coûts

II.1.1 La maintenance conditionnelle:

La maintenance conditionnelle repose sur la surveillance des points sensibles de l'équipement lors de visites préventives planifiées avec soin. Ces visites permettent de mesurer plusieur Paramètres techniques qui reflètent l'état réel de l'équipement, tels que l'usure, le jeu mécanique, la température, le niveau de pollution ou tout autre indicateur pouvant signaler une défaillance imminente. Cette surveillance constitue un outil clé pour la détection précoce des dysfonctionnements potentiels, permettant ainsi de prendre les mesures nécessaires à temps pour éviter les arrêts imprévus. [14]

II.1.1.1 Objectifs de la maintenance conditionnelle :

- Réduire les risques de pannes en intervenant avant que la dégradation n'atteigne un niveau critique, ce qui contribue à ralentir le vieillissement des équipements.
- Minimiser l'impact des arrêts sur l'utilisateur en améliorant la préparation et la planification des interventions.
- Réduire les coûts de maintenance en intervenant dès les premiers signes de dégradation, évitant ainsi des réparations coûteuses. [14]

II.1.1.2 Démarche générale de préparation des visites préventives :

- Déterminer les éléments devant être soumis à la maintenance conditionnelle en fonction de leur importance (éléments de sécurité, d'usage courant ou de confort), de leur robustesse et de leur coût.
- Réaliser un inventaire des composants à surveiller pour chaque équipement sélectionné, et établir une liste des points clés devant être contrôlés régulièrement.
- Identifier les défauts possibles, définir les conditions de la visite, les paramètres à contrôler, les valeurs limites et déterminer la périodicité des visites.
- Regrouper les opérations ayant la même périodicité dans des listes distinctes afin d'élaborer des gammes de visites préventives types. Ces gammes incluront la liste des outillages, des instruments de contrôle, des petites fournitures et des consommables, ainsi que les durées nécessaires pour chaque intervention.
- Planifier les visites préventives de manière structurée. [14]

II.1.2 La maintenance prédictive :

La maintenance prédictive se concentre principalement sur la surveillance des équipements à l'aide de techniques avancées ne nécessitant ni arrêt de production ni démontage des systèmes. [15] Ces techniques incluent :

- Le contrôle des vibrations.
- La thermographie (mesure de l'intensité des émissions de rayons infrarouges provenant des équipements).
- La tribologie (étude du comportement des paliers lubrifiés par l'analyse du lubrifiant, des particules d'usure ou de la Ferro graphie).
- Le contrôle des paramètres de processus tels que la pression, l'intensité électrique, la vitesse, et d'autres paramètres techniques.
- L'inspection visuelle régulière pour détecter tout signe de dommage ou de dégradation.
- Le contrôle ultrasonique.
- L'analyse des particules magnétiques pour détecter l'usure interne des équipements.

II.1.3 La maintenance systématique :

La maintenance systématique consiste à effectuer des interventions sur un équipement à des dates planifiées (ou après avoir atteint un volume prédéfini d'unités d'usage). L'importance de ces interventions peut varier, allant du simple remplacement de certaines pièces jusqu'à une révision générale complète. Les travaux réalisés suivent une approche systématique, nécessitant une connaissance approfondie du comportement de l'équipement et de ses modes de fonctionnement. Ce type de maintenance est mis en œuvre lorsqu'on souhaite garantir un niveau élevé de sécurité de fonctionnement pour l'équipement, en remplaçant les pièces ou composants usés ou dégradés suffisamment tôt pour éviter les pannes. [15]

II.2 Objectifs de la maintenance préventive :

- Prolonger la durée de vie des équipements grâce à une maintenance régulière et efficace.
- Réduire la probabilité de défaillances en service, garantissant ainsi une fiabilité accrue.
- Minimiser le temps d'arrêt lors des révisions ou des pannes.
- Prévenir et anticiper les interventions de maintenance corrective coûteuses.
- Permettre des décisions éclairées concernant la maintenance corrective, dans des conditions optimales.
- Éviter la consommation excessive d'énergie, de lubrifiants, et autres ressources.
- Réduire les coûts globaux de maintenance.

- Éliminer les causes d'accidents graves liés à des défaillances d'équipement. [16]

II.3 Objectifs visés par la maintenance préventive :

- Améliorer la fiabilité des équipements afin d'assurer leur durabilité et leur performance.
- Garantir la qualité des produits en optimisant les performances des équipements et en réduisant les pannes.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, ce qui contribue à accroître la productivité.
- Assurer la sécurité des personnes en prévenant les accidents et en améliorant les conditions de travail.
- Améliorer la gestion des stocks pour garantir la disponibilité des pièces nécessaires et réduire les arrêts.
- Améliorer le climat de relation humaine en favorisant une meilleure communication et une organisation des tâches plus fluide. [16]

II.4 Opérations de maintenance préventive :

Les opérations suivantes sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage. [17]

II.4.1 Inspection :

- L'inspection est une activité de surveillance réalisée dans le cadre d'une mission définie.
- Elle ne se limite pas nécessairement à la comparaison avec des données préétablies.
- Elle peut être effectuée sous forme de "rondes" et a pour objectif la détection des défaillances mineures, telles que :
    - Défauts de lubrification (contrôle des niveaux d'huile).
    - Défauts de pression, de température, de vibrations.
    - Détection visuelle des fuites, ainsi que des odeurs et bruits anormaux.
    - Dépannages simples, tels que le réglage de la tension des courroies, le remplacement des ampoules, etc. [17]

II.4.2 Contrôle :

Le contrôle est une activité qui consiste à vérifier la conformité d'un bien par rapport à des données préétablies, suivie d'un jugement. Cette activité peut inclure :

- Une activité d'information pour analyser les données disponibles.
- La prise de décisions telles que la non-conformité, l'acceptation, ou le report.
- La mise en œuvre d'actions correctives en fonction des résultats obtenus.

Il s'agit également d'un examen détaillé et prédéterminé de l'ensemble du bien (visite générale) ou d'une partie de celui-ci (visite partielle ou limitée). Cette activité peut nécessiter:

- Des démontages pour un examen approfondi des éléments.
- Des actions correctives pour traiter les anomalies constatées.
- Des opérations de maintenance de premier niveau pour assurer un bon fonctionnement continu. [17]

II.5 Autres activités du service maintenance

1°. **La révision**

La révision est une opération de maintenance préventive ou corrective, selon qu'elle est déclenchée par un calendrier, la mesure de l'usure ou une défaillance. Elle comprend un ensemble d'actions d'examen, de contrôle et d'interventions réalisées afin de protéger l'équipement contre toute défaillance majeure ou critique pendant une période ou un nombre d'unités d'usage déterminé. [18]

2°. **La rénovation**

Les travaux de rénovation incluent :

- L'inspection complète de tous les composants.
- La reprise dimensionnelle complète (réparation des pièces usées) ou le remplacement des pièces déformées.
- La vérification des caractéristiques et, si nécessaire, la réparation des pièces et sous-ensembles défaillants. La rénovation est une étape possible après une révision générale, selon sa définition stricte. [18]

3°. **La reconstruction**

La reconstruction consiste à remettre l'équipement dans l'état défini par le cahier des charges, ce qui implique le remplacement des pièces vitales par des pièces d'origine ou équivalentes neuves. Elle intervient à la fin de la vie utile de l'équipement. Toutes les pièces sensibles sont remplacées par des pièces d'origine. Des améliorations de performance peuvent également être envisagées par rapport à l'équipement d'origine. En plus de la maintenance et de la durabilité, ces modifications peuvent concerner la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc. [18]

4°. **La modernisation**

La modernisation est une activité visant à améliorer l'aptitude à l'emploi de l'équipement en apportant des perfectionnements techniques qui n'étaient pas présents dans le modèle d'origine. Elle comprend le remplacement d'équipements, accessoires ou appareils. Il s'agit de

remplacer les équipements vieillissants ou d'ajouter des composants ou des logiciels plus modernes. La modernisation peut également être effectuée dans le cadre d'une rénovation ou d'une reconstruction. [18]

5°. **Les travaux neufs**

Les travaux neufs comprennent, entre autres, les tâches suivantes :

- Conseils sur le choix du matériel.
- Réception technique et vérification de la conformité.
- Installation.
- Réglages et essais préliminaires.
- Mise en service. [18]

II.6 Déroulement d'une action de maintenance préventive

Le processus de maintenance préventive suit généralement plusieurs étapes clés pour garantir son efficacité :

1. **Planification et programmation** :

   Le processus commence par la détermination des interventions nécessaires en fonction des besoins de l'équipement, des historiques de défaillances, des recommandations des fabricants, et des critères de criticité des composants. Ces informations permettent d'établir un calendrier précis pour les actions de maintenance préventive.

2. **Préparation des ressources** :

   À cette étape, les pièces de rechange, les outils et les équipements nécessaires sont préparés pour l'intervention. Il peut également être nécessaire de former ou d'informer les techniciens impliqués pour garantir que toutes les exigences sont réunies pour accomplir la tâche efficacement.

3. **Exécution des interventions** :

   Une fois la planification terminée, les actions sont mises en œuvre conformément aux normes établies. Ces actions peuvent inclure des vérifications, des ajustements, le remplacement de pièces usées, le nettoyage des équipements, ou d'autres mesures pour assurer un fonctionnement optimal des installations.

4. **Vérification des résultats** :

   Après l'intervention, l'équipement est testé pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et que les objectifs fixés ont été atteints. Cette étape peut inclure des tests de performance pour garantir que l'équipement respecte les spécifications attendues.

5. **Documentation et suivi** :

Après chaque intervention, un rapport détaillé est rédigé, incluant des informations sur l'équipement, les actions effectuées, les pièces remplacées et les résultats des tests. Cette documentation permet de conserver un historique complet des interventions et facilite le suivi des actions futures. [18]

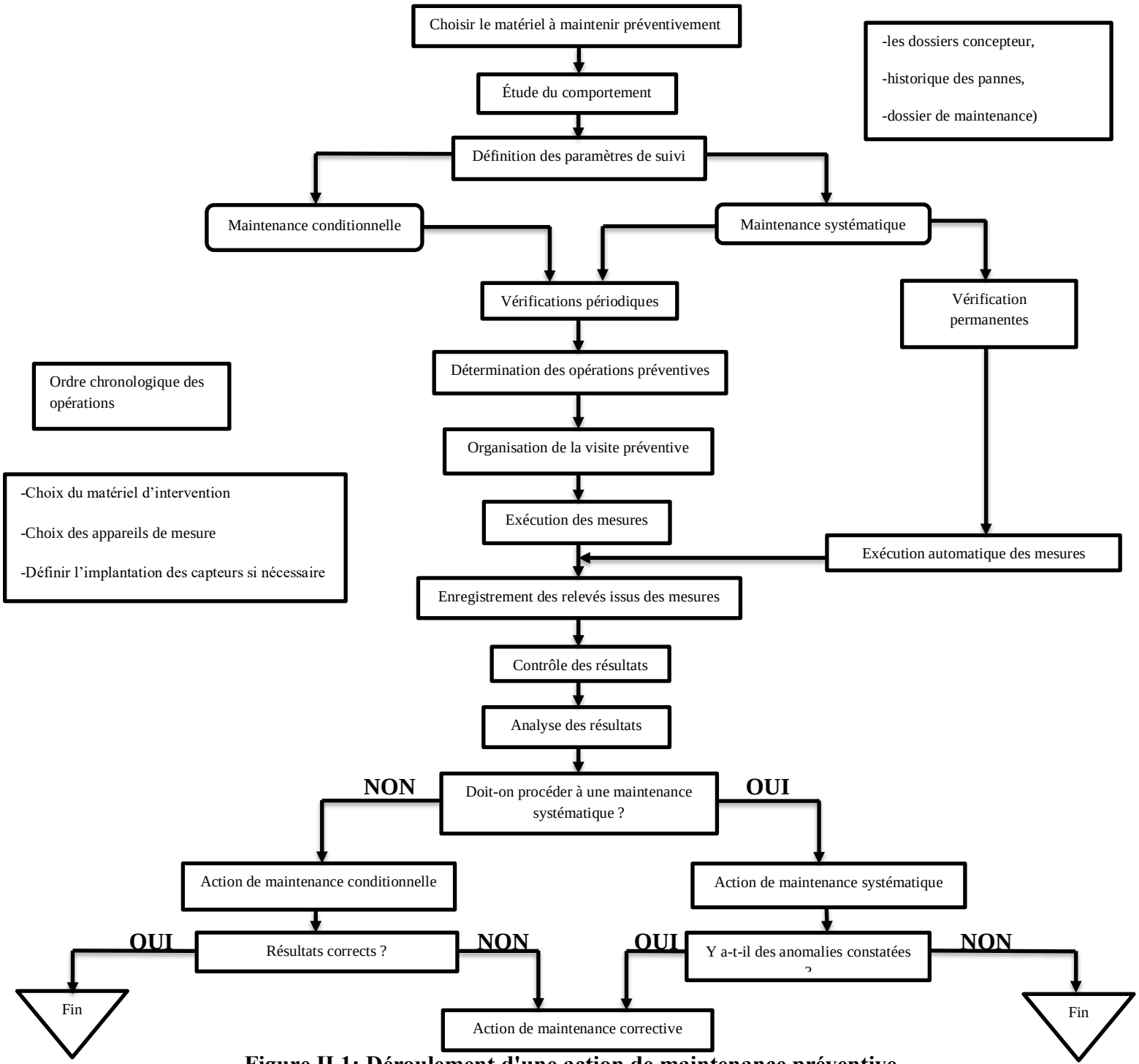


Figure II.1: Déroulement d'une action de maintenance préventive

II.7 La relation entre la défaillance et les moyens de maintenance préventive :

La maintenance préventive est une stratégie visant à prévenir les défaillances potentielles avant qu'elles ne se produisent, réduisant ainsi les arrêts imprévus et les coûts associés aux pannes non planifiées. La relation entre la défaillance et les moyens de maintenance préventive réside dans la manière dont les défaillances potentielles sont identifiées et traitées en utilisant les outils et ressources appropriés de manière préventive. [19]

1. **Diagnostic des défaillances avant qu'elles ne surviennent :**
   Grâce à la maintenance préventive, les composants les plus susceptibles de s'user ou de tomber en panne sont identifiés par le biais d'inspections régulières et d'analyses. Ces procédures permettent de détecter les défaillances potentielles avant qu'elles ne se transforment en problèmes majeurs. Par exemple, en surveillant les vibrations ou la température, les défaillances peuvent être détectées avant qu'elles ne causent un arrêt de l'équipement.
2. **Utilisation des outils et moyens appropriés :**
   Pour limiter les défaillances, la maintenance préventive utilise un ensemble d'outils et de moyens spécialisés, tels que des dispositifs de mesure, des outils de diagnostic et des pièces de rechange. L'utilisation régulière de ces moyens permet de réduire la probabilité de défaillances pouvant affecter les performances de l'équipement.
3. **Actions préventives pour protéger les équipements :**
   La maintenance préventive inclut le remplacement des pièces qui peuvent s'user ou se détériorer avec le temps. Les composants montrant des signes de dégradation, tels que les pièces mécaniques ou électriques, sont remplacés régulièrement pour éviter des défaillances majeures susceptibles de survenir lorsque leur durée de vie est atteinte.
4. **Planification et documentation :**
   Les plannings de maintenance sont établis en fonction des recommandations des fabricants ou des archives de performance des équipements. Cela permet de réaliser les inspections et tests nécessaires au moment opportun, réduisant ainsi le risque de défaillances imprévues.
5. **Assurer la continuité opérationnelle :**
   En utilisant régulièrement les outils de maintenance préventive, les performances de l'équipement peuvent être améliorées et les arrêts non planifiés réduits. La surveillance continue des systèmes permet également de détecter les défauts ou erreurs possibles

tôt, ce qui réduit les coûts des réparations d'urgence et des interventions correctives. [19]

II.8. La relation entre la GMAO et la maintenance préventive

La relation entre la GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) et la maintenance préventive est essentielle pour optimiser la gestion des équipements et garantir leur performance à long terme. [20]

Voici un aperçu détaillé de cette relation :

- **Planification et Programmation des Interventions de Maintenance Préventive :**

  La GMAO permet de planifier les interventions de maintenance préventive de manière automatisée, basée sur des critères prédéfinis tels que le temps de fonctionnement des équipements, le nombre d'heures d'exploitation, ou d'autres indicateurs de performance. En définissant des intervalles réguliers pour les actions de maintenance, la GMAO assure une couverture complète et régulière des équipements.

- **Suivi des Actions de Maintenance :**

  Grâce à la GMAO, chaque intervention de maintenance préventive est suivie de manière détaillée. L'historique des interventions est conservé dans la base de données de la GMAO, ce qui permet de suivre l'état de chaque équipement, les tâches effectuées, les pièces utilisées, et le temps consacré à chaque tâche.

- **Gestion des Ressources et des Stocks :**

  Un des principaux avantages de la GMAO est la gestion des stocks de pièces de rechange. Lors de la planification d'une maintenance préventive, la GMAO peut identifier les pièces nécessaires et vérifier la disponibilité dans les stocks. Cela évite les ruptures de stock qui pourraient entraîner des délais dans les interventions.

- **Optimisation des Coûts :**

  La GMAO aide à réduire les coûts de maintenance en automatisant la planification des interventions. Elle permet de réaliser des actions de maintenance préventive avant qu'un équipement n'atteigne un point de dégradation important, ce qui évite des réparations coûteuses dues à des pannes imprévues. En anticipant les besoins

en maintenance, la GMAO optimise l'utilisation des ressources et réduit les coûts associés.

- **Analyse et Suivi des Performances :**
  La GMAO fournit des outils d'analyse puissants qui permettent de suivre la performance des équipements et de mesurer l'efficacité des actions de maintenance préventive. Les données collectées à travers la GMAO peuvent être analysées pour identifier des tendances ou des problèmes récurrents, ce qui permet de modifier les stratégies de maintenance si nécessaire.
- **Prévision des Besoins de Maintenance :**
  En utilisant les historiques de maintenance et les tendances des performances des équipements, la GMAO permet de prévoir plus précisément les besoins futurs en maintenance préventive. Cela aide à réduire les imprévus et à garantir que les interventions se produisent dans les meilleures conditions possibles.
- **Communication et Collaboration :**
  La GMAO améliore la communication entre les différents départements impliqués dans la gestion de la maintenance. En centralisant toutes les informations liées à la maintenance, elle permet à l'équipe de maintenance de suivre les tâches à effectuer, aux responsables de suivre les budgets, et aux opérateurs de signaler les problèmes. [20]

II.9 L'impact de la maintenance préventive sur la fiabilité :

La maintenance préventive a un effet significatif sur la fiabilité des équipements et des systèmes dans une usine ou une installation industrielle. Voici quelques points clés sur son impact :

- **Réduction des pannes imprévues :** En effectuant une maintenance régulière, les défaillances potentielles sont identifiées avant qu'elles ne causent des arrêts imprévus. Cela permet de maintenir les équipements en bon état de fonctionnement, ce qui améliore leur fiabilité à long terme.
- **Prolongation de la durée de vie des équipements :** La maintenance préventive permet de prolonger la durée de vie des équipements en retardant l'usure prématurée et en effectuant des réparations mineures avant que de gros problèmes ne surviennent.
- **Amélioration de l'efficacité des performances :** Les interventions régulières, telles que l'ajustement des composants et le remplacement des pièces usées, permettent de maintenir les performances optimales des équipements, augmentant ainsi leur fiabilité.

- **Réduction des temps d'arrêt (downtime) :** La maintenance préventive aide à prévenir les pannes majeures et, par conséquent, à réduire les périodes d'arrêt non planifiées, permettant ainsi une production continue et fiable.
- **Identification précoce des problèmes :** Grâce à des inspections régulières et à la surveillance des équipements, les problèmes potentiels sont détectés tôt, ce qui permet une intervention rapide avant qu'une défaillance importante ne survienne, assurant une fiabilité accrue.
- **Réduction des coûts à long terme :** En évitant des réparations coûteuses dues à des pannes majeures, la maintenance préventive permet de réduire les coûts à long terme et garantit un meilleur retour sur investissement, ce qui a un impact positif sur la fiabilité des équipements. [21]

II.10 Contribution de la maintenance préventive à la réduction des pertes de production

Les pertes de production représentent l'un des indicateurs les plus critiques qui compromettent la continuité et la performance des systèmes industriels. Elles se manifestent notamment par des arrêts non planifiés, une faible disponibilité, une dégradation de la qualité des produits, et une surconsommation des ressources. Dans ce contexte, la maintenance préventive s'impose comme une stratégie efficace permettant de maîtriser ces pertes et d'optimiser l'exploitation des ressources techniques et humaines.

L'efficacité de la maintenance préventive repose sur le principe de l'intervention proactive, c'est-à-dire la réalisation d'opérations de maintenance avant la survenue de la défaillance, suivant un programme périodique prédéfini. Ce mode de gestion permet de préserver les performances des équipements, de limiter les pannes soudaines, et d'assurer une stabilité du processus de production. [21]

II.10.1 Réduction des arrêts de production non planifiés

Les arrêts imprévus des équipements constituent l'un des principaux facteurs de baisse de productivité. Ils provoquent des ruptures dans les lignes de production, désorganisent la planification et entraînent des retards de livraison. La maintenance préventive permet de réduire la fréquence de ces arrêts grâce à une surveillance régulière de l'état des installations et au remplacement anticipé des pièces critiques. [21]

L'un des indicateurs les plus influencés par la maintenance préventive est le MTBF (Mean Time Between Failures), qui tend à augmenter, témoignant d'une amélioration de la fiabilité et d'une diminution du nombre d'interruptions techniques. [21]

II.10.2 Maintien de la continuité du flux de production

La continuité du processus de production est un levier essentiel dans l'atteinte des objectifs économiques d'une entreprise, notamment dans les environnements industriels fondés sur des procédés continus ou en flux tendus. La maintenance préventive contribue à cette continuité en planifiant les interventions durant les périodes creuses ou les arrêts programmés, assurant ainsi une synchronisation entre les impératifs techniques et les contraintes opérationnelles. [21]
Ce type de maintenance améliore aussi le taux de disponibilité technique (TDT), calculé selon la formule :

Disponibilité = MTBF / (MTBF + MTTR)

Une réduction du temps moyen de réparation (MTTR) renforce donc directement la disponibilité globale de l'équipement [21].

II.10.3 Amélioration de la qualité des produits et réduction des pertes

- La performance des équipements est directement liée à la qualité des produits finis. Les phénomènes tels que les vibrations excessives, l'usure ou le désalignement des composants peuvent provoquer des écarts dimensionnels ou des défauts de fabrication.
- La mise en œuvre d'un plan de maintenance préventive permet de corriger ces déviations à temps, d'assurer la stabilité des processus et de réduire le taux de rebuts. Cela conduit à une meilleure efficacité globale de la production et à une réduction du gaspillage des matières premières. [21]

II.10.4 Amélioration de l'organisation du travail et réduction des interventions d'urgence

L'un des effets indirects, mais majeurs, de la maintenance préventive est l'optimisation de l'organisation du travail. Elle réduit la pression liée aux interventions d'urgence qui mobilisent les techniciens dans des conditions parfois risquées et désorganisées. À l'inverse, une maintenance planifiée permet une meilleure répartition des tâches, une anticipation des besoins en pièces et en main-d'œuvre, et une exécution plus sereine et efficace des opérations. [21]

II.10.5 Renforcement de la compétitivité de l'entreprise

Dans un environnement concurrentiel, la fiabilité des systèmes industriels devient un critère de différenciation stratégique. Une entreprise qui maîtrise ses équipements grâce à une politique de maintenance préventive rigoureuse inspire confiance à ses clients et partenaires, en garantissant des livraisons dans les délais et une qualité constante.
De plus, l'optimisation de la performance industrielle permet de réduire le coût global de possession (TCO), ce qui offre la possibilité de réinvestir dans d'autres domaines clés tels que

l'innovation technologique, la formation du personnel ou l'expansion des capacités productives. [21]

II.11 Intégration de la maintenance préventive dans le management de la qualité totale (TQM)

La gestion de la qualité totale (Total Qualité Management - TQM) est une approche systématique visant l'amélioration continue de l'ensemble des processus organisationnels afin de satisfaire durablement les exigences des clients. Dans ce cadre, la maintenance préventive occupe une place stratégique, car elle contribue directement à la stabilité des procédés, à la conformité des produits et à la maîtrise des performances industrielles.

L'intégration de la maintenance préventive dans une démarche qualité cohérente permet d'unifier les efforts entre les services techniques, de production et de qualité, tout en assurant un alignement des objectifs opérationnels avec les standards normatifs internationaux. [22]

II.11.1 Contribution de la maintenance à l'amélioration continue de la qualité

La maintenance préventive joue un rôle central dans la prévention des non-conformités et la réduction des défauts de fabrication. En assurant la fiabilité des équipements, elle garantit la répétabilité des processus et la stabilité des paramètres de production, éléments essentiels dans une logique d'amélioration continue. [22]

L'amélioration continue, principe fondamental du TQM, repose notamment sur la mise en place d'actions correctives et préventives (CAPA), qui sont fortement liées aux résultats des interventions de maintenance. Ainsi, la collecte des données issues des opérations de maintenance (pannes récurrentes, performances des machines, durées d'arrêt, etc.) constitue une base précieuse pour la détection des sources de variabilité et l'optimisation des procédés. [22]

II.11.2 Compatibilité avec les normes ISO et les démarches Six Sigma

Les référentiels qualité tels que ISO 9001 ou les méthodes d'amélioration comme Six Sigma reconnaissent l'importance de la maintenance comme facteur de maîtrise des processus.

La norme ISO 9001, dans sa version 2015, insiste sur l'approche par les risques et sur la gestion des ressources, y compris les équipements de production. À ce titre, les programmes de maintenance préventive deviennent des leviers incontournables pour garantir la conformité et la performance. [22]

De plus, l'approche Six Sigma, qui vise à réduire la variabilité et à éliminer les défauts, s'appuie sur des équipements stables et performants. La maintenance préventive contribue directement à l'obtention de capabilités process élevées (indices Cp et Cpk) en limitant les dérives techniques des équipements. [22]

II.11.3 Synergie entre les services qualité et maintenance

L'efficacité d'un système intégré repose sur la collaboration active entre les différents services de l'entreprise. Dans le cadre du TQM, la coordination entre les services qualité et maintenance permet une gestion plus rigoureuse des équipements critiques, une meilleure anticipation des risques et une réactivité accrue face aux incidents.

La synergie se manifeste également dans la mise en œuvre d'audits internes conjoints, dans le suivi des indicateurs de performance (tels que le TRS - taux de rendement synthétique) et dans la gestion des plans d'actions. Cette coopération favorise une culture d'amélioration continue partagée, où la fiabilité des équipements devient un pilier de la qualité globale. [22]

II.12 Impact de la maintenance préventive sur la santé et la sécurité au travail

La santé et la sécurité au travail (SST ou HSE) constituent des piliers fondamentaux dans la gestion industrielle moderne, notamment dans les environnements où les équipements mécaniques, électriques ou les procédés industriels présentent des risques élevés. La maintenance préventive, au-delà de ses objectifs techniques, joue un rôle crucial dans la prévention des accidents, la protection du personnel et la réduction des risques associés aux défaillances imprévues. [22]

II.12.1 Réduction des accidents liés aux défaillances techniques

Les pannes soudaines d'équipements, qu'elles soient mécaniques ou électriques, peuvent entraîner des incidents graves tels que des incendies, explosions, chocs électriques ou effondrements d'installations. La mise en place de programmes de maintenance préventive réguliers permet de surveiller les signes précurseurs d'usure ou de dysfonctionnement et d'intervenir avant que ces anomalies ne conduisent à une défaillance critique.

Ainsi, la maintenance préventive devient un levier de prévention essentiel contre les accidents industriels, en supprimant les causes potentielles de danger avant leur concrétisation. [22]

II.12.2 Création d'un environnement de travail sûr et stable

Un équipement entretenu régulièrement, fonctionnant dans les paramètres techniques recommandés, réduit considérablement les risques tels que les fuites de fluides, les surchauffes ou la rupture d'éléments mécaniques. Cette stabilité technique se traduit par un environnement

de travail plus sûr, où les opérateurs peuvent exercer leurs tâches sans être exposés à des dangers immédiats.

En outre, la réduction des interventions d'urgence, souvent effectuées dans des conditions stressantes ou risquées, améliore le bien-être des équipes de maintenance et de production. [22]

II.12.3 Intégration des exigences HSE dans les activités de maintenance

Il est essentiel que les activités de maintenance préventive soient intégrées dans le système global de santé et sécurité de l'entreprise. Cette intégration se traduit par :

- L'inclusion des consignes de sécurité dans les procédures de maintenance.
- La formation des techniciens aux techniques d'intervention en toute sécurité.
- L'utilisation systématique des équipements de protection individuelle (EPI).
- La réalisation d'évaluations de risques sur les équipements à haute criticité.

Cette synergie entre maintenance et HSE renforce la culture de prévention dans l'entreprise, en remplaçant une logique de réaction par une approche proactive de la gestion des risques. [22]

II.13 Dispositif de formation continue pour le personnel de maintenance

Le développement des compétences techniques constitue un facteur clé de performance pour les services de maintenance industrielle. Avec l'évolution rapide des technologies et l'introduction de systèmes complexes (automatisés, connectés, intelligents), il devient impératif pour les entreprises d'investir dans la formation continue de leur personnel de maintenance. [23]

Cette démarche permet non seulement de garantir la maîtrise des nouveaux outils, mais également de réduire les erreurs humaines, d'améliorer la qualité des interventions et d'assurer une meilleure sécurité sur le lieu de travail. [23]

II.13.1 Nécessité de la montée en compétences dans les métiers de la maintenance

Les métiers de la maintenance ont connu une transformation significative ces dernières années. Le technicien de maintenance n'est plus uniquement un exécutant ; il est devenu un acteur stratégique dans la performance industrielle. Il doit être capable de diagnostiquer rapidement une panne, de lire des schémas complexes, de programmer des automates, ou encore d'intervenir sur des systèmes électromécaniques avancés.

La montée en compétences par la formation permet donc d'adapter les ressources humaines aux exigences technologiques actuelles, tout en développant leur autonomie et leur capacité à anticiper les défaillances. [23]

II.13.2 Contenus pédagogiques axés sur les technologies modernes

Une formation efficace doit répondre aux réalités du terrain. Les programmes doivent être conçus en tenant compte :

- Des technologies utilisées au sein de l'entreprise (GMAO, capteurs IoT, systèmes SCADA, etc.).
- Des normes de sécurité à respecter.
- Des cas concrets rencontrés dans les ateliers.

Le contenu peut inclure aussi bien des aspects techniques (maintenance prédictive, fiabilité, TPM) que des compétences transversales (résolution de problèmes, communication en situation de crise, travail en équipe). [23]

II.13.3 Effets de la formation sur la performance technique et opérationnelle

Les résultats d'un programme de formation bien structuré se traduisent par :

- Une réduction des temps d'arrêt liés à des erreurs de manipulation.
- Une amélioration du MTTR (temps moyen de réparation).
- Une augmentation de la disponibilité des équipements.
- Une meilleure traçabilité des interventions grâce à l'utilisation optimale des outils numériques.

Par ailleurs, la formation continue favorise l'implication du personnel, renforce la culture de fiabilité et améliore la capacité de l'organisation à faire face à des situations complexes. [23]

II.14 Rôle de la maintenance préventive dans l'optimisation de la consommation énergétique

La maîtrise de la consommation énergétique constitue aujourd'hui une priorité stratégique pour les entreprises industrielles, tant sur le plan économique qu'environnemental. Dans cette optique, la maintenance préventive se présente comme un levier essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique des équipements, en assurant leur fonctionnement optimal et en réduisant les pertes liées aux dysfonctionnements, aux fuites ou aux usages inappropriés.

L'intégration de la maintenance dans une démarche de performance énergétique n'est plus une option, mais une exigence dans toute politique de durabilité. [23]

II.14.1 Réduction des pertes énergétiques par une maintenance ciblée

De nombreux équipements industriels consomment plus d'énergie que nécessaire à cause de l'usure interne, des déséquilibres mécaniques, d'un mauvais réglage ou de l'encrassement. La maintenance préventive, à travers des opérations de nettoyage, de lubrification, de réalignement et de remplacement planifié de composants (roulements, filtres, courroies), permet de réduire significativement ces pertes.

Ces interventions diminuent la résistance mécanique, améliorent le rendement des machines et réduisent ainsi la consommation d'énergie spécifique par unité produite. [23]

II.14.2 Surveillance des équipements énergivores

Certains équipements tels que les compresseurs, les systèmes HVAC, les pompes industrielles ou les moteurs électriques sont réputés pour leur consommation énergétique élevée. Leur performance énergétique peut être fortement altérée en cas de dégradation progressive.

L'utilisation de systèmes de supervision (SCADA) ou de compteurs intelligents (Smart Mètres) permet de collecter en temps réel les données relatives à l'énergie consommée, d'identifier les dérives, et d'agir rapidement à travers des actions de maintenance ciblées avant que les pertes ne deviennent significatives. [23]

II.14.3 Corrélation entre efficacité énergétique et maintenance préventive

Il existe une corrélation directe entre la performance énergétique d'une installation et son état de maintenance. Des équipements bien entretenus consomment moins d'énergie, produisent moins de chaleur résiduelle, et présentent un meilleur coefficient de performance (COP).

En intégrant la maintenance préventive dans la politique énergétique de l'entreprise, on peut obtenir :

- Une réduction de la consommation énergétique globale (jusqu'à 10 à 20 %).
- Une augmentation de la durée de vie des actifs.
- Une baisse des émissions polluantes associées aux consommations inutiles.

Ainsi, la maintenance préventive s'affirme non seulement comme un outil technique, mais également comme un levier de compétitivité durable. [23]

II.15 Intégration de la maintenance préventive dans la planification de la production

L'alignement entre les activités de maintenance et la planification de la production constitue un enjeu central dans la gestion industrielle moderne. Bien que la maintenance préventive vise à éviter les pannes et à assurer la disponibilité des équipements, elle peut, si elle est mal planifiée, entrer en conflit avec les objectifs de production et perturber les délais de livraison.

Par conséquent, l'intégration de la maintenance préventive dans le processus de planification devient une stratégie indispensable pour garantir un équilibre entre performance technique et efficacité opérationnelle. [24]

II.15.1 Synchronisation des interventions de maintenance avec les cycles de production

Pour éviter les interruptions inutiles et minimiser l'impact des interventions sur le flux de production, les opérations de maintenance préventive doivent être programmées pendant les périodes creuses : week-ends, changements de poste, ou phases de faible demande.
L'utilisation d'outils numériques tels que la GMAO et les systèmes ERP permet d'intégrer directement les plannings de maintenance dans le calendrier global de la production, offrant ainsi un meilleur contrôle et une planification plus fluide. [24]

II.15.2 Coordination interservices pour une gestion efficace des arrêts programmés

La réussite de cette intégration repose sur une collaboration étroite entre les départements concernés : maintenance, production, planification et logistique. Une communication efficace entre ces services permet de partager des informations clés sur l'état des équipements, les priorités de production, la disponibilité des pièces de rechange, et les interventions prévues.
Ce travail collaboratif aide à prioriser les opérations de maintenance, à évaluer leur impact potentiel sur la production et à éviter les conflits de planification ou les arrêts non justifiés. [24]

II.15.3 Réduction des conflits de planification et amélioration de la performance globale

Lorsque la maintenance est bien intégrée dans la planification de la production, les conflits de timing diminuent, les retards sont évités, et la productivité est optimisée. Cette intégration améliore également plusieurs indicateurs de performance clés :

- La disponibilité technique des équipements.
- Le respect des délais de livraison (OTD).
- Le TRS (Taux de Rendement Synthétique), qui mesure l'efficacité globale des équipements.

En harmonisant les dimensions techniques et opérationnelles, l'entreprise renforce sa capacité à répondre aux exigences du marché tout en assurant la continuité et la qualité du processus de production. [24]

Conclusion

À l'issue de ce chapitre, il convient de souligner que la maintenance préventive constitue une composante stratégique incontournable dans la gestion des systèmes industriels modernes. Loin de se limiter à des interventions ponctuelles, elle s'inscrit dans une démarche proactive, structurée et méthodique visant à anticiper les défaillances, à prolonger la durée de vie des équipements et à optimiser les performances globales des installations.
La présentation des différentes approches – systématique, conditionnelle et prédictive – a permis de mettre en évidence les spécificités et les avantages de chacune, en lien avec les

objectifs de fiabilité, de sécurité, de qualité et de réduction des coûts. Par ailleurs, l'analyse de l'intégration de la maintenance préventive dans des dispositifs tels que la GMAO, le management de la qualité totale (TQM), ou encore les politiques de santé, sécurité et performance énergétique, illustre son rôle transversal et déterminant au sein de l'organisation industrielle.

En somme, l'adoption d'une politique de maintenance préventive rigoureuse et alignée sur les objectifs stratégiques de l'entreprise apparaît non seulement comme un levier de performance, mais également comme une exigence essentielle pour garantir la pérennité, la compétitivité et l'adaptabilité des systèmes de production dans un environnement technologique en constante évolution.

Chapitre III :

Les moyens de transport

III.1 Introduction

Le transport représente l'un des éléments fondamentaux de la chaîne des opérations minières, constituant le lien essentiel entre les différentes étapes de production, de l'extraction jusqu'au concassage et au traitement. L'efficacité et la performance d'un site minier dépendent en grande partie d'une planification rigoureuse, d'une logistique précise, ainsi que de l'utilisation d'équipements spécialisés. Ces opérations sont fréquemment réalisées dans des environnements complexes, caractérisés par des conditions géologiques difficiles, un relief accidenté, et parfois même des conditions climatiques extrêmes.

Dans ce contexte, il est impératif de mettre en œuvre des stratégies et des techniques appropriées afin de garantir la sécurité des travailleurs, d'optimiser la productivité, d'assurer la rentabilité des opérations minières, et d'adapter efficacement le système de transport. Le choix des moyens de transport appropriés influe directement sur la productivité, les coûts d'exploitation, la sécurité des employés et l'impact environnemental. [25]

Les technologies de transport utilisées varient selon le type de mine (à ciel ouvert ou souterraine) et comprennent les camions lourds, les convoyeurs à bande, les voies ferrées, ainsi que, dans certains cas spécifiques, des systèmes hydrauliques ou pneumatiques. Par ailleurs, les progrès technologiques récents ont permis l'introduction de systèmes de transport intelligents et automatisés, améliorant significativement la performance tout en réduisant les risques d'accidents. [26]

Dans ce chapitre, j'examinerai de plus près les différentes méthodes de chargement et de déchargement, ainsi que les moyens de transport utilisés dans les mines, en mettant l'accent sur les équipements et les technologies employés dans ce domaine. [27]

III.2 Le chargement

Le chargement constitue l'une des étapes fondamentales du cycle de production minière. Il consiste à rassembler et transférer les matériaux extraits depuis le site de creusement vers les moyens de transport tels que les camions ou les convoyeurs à bande. Cette étape représente un maillon essentiel entre l'extraction et les opérations de transport et de traitement. L'efficacité du chargement a un impact direct sur la productivité de la mine, car tout retard ou dysfonctionnement dans cette phase peut entraîner l'arrêt complet de la chaîne de production, ce qui affecte négativement la performance globale et les coûts d'exploitation.

Le choix approprié des équipements de chargement, tels que les chargeuses ou les pelles hydrauliques, constitue également un facteur clé pour atteindre une efficacité maximale [28]

III.2.1 Choix d'engin de chargement

Le choix des équipements, tels que les chargeuses ou les pelles hydrauliques, dépend de :

- La nature du matériau,
- Le type de mine et des conditions du site.
- Les distances opérationnelles de production et La production envisagée
- Les mesures de sécurité
- Le bon choix garantit des performances optimales et réduit les temps d'arrêt [29]

III.2.2 Types d'engins de chargement

Les engins de chargement utilisés dans les mines à ciel ouvert peuvent être classés en deux grandes catégories, selon leur mode de fonctionnement : les engins à fonctionnement cyclique et les engins à fonctionnement continu. [30]

III.2.2.1 Engins à fonctionnement cyclique

III.2.2.1.1 Définition :

Ce sont des engins qui réalisent les opérations de chargement par cycles successifs. Chaque cycle comprend généralement : la prise de matériau, le levage, le déplacement vers le point de déchargement, le déchargement, puis le retour. [30]

III.2.2.1.2 Caractéristiques :

- Fonctionnement par séquences discontinues.
- Fréquemment utilisés dans les mines à ciel ouvert de taille moyenne à grande.
- Permettent un contrôle précis du chargement. [30]

III.2.2.1.3 Exemples :

- Pelle hydraulique (Pelle à godet mobile, très répandue).
- Pelle mécanique (shovel).
- Chargeuse sur pneus.
- Chargeuse sur chenilles. [30]

III.2.2.2 Engins à fonctionnement continu

III.2.2.2.1 Définition :

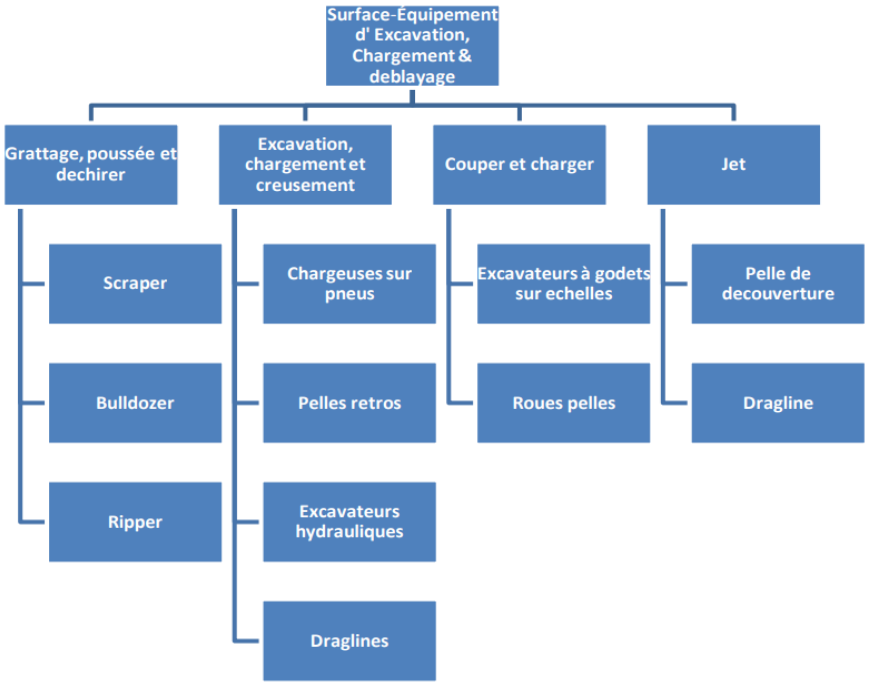
Ce sont des engins qui effectuent le chargement de manière continue, sans interruption de cycle. Ils sont conçus pour extraire et transporter la matière en permanence vers un système de convoyage ou de stockage. [30]

III.2.2.2.2 Caractéristiques :

- Fonctionnement ininterrompu.
- Utilisés dans les exploitations à grand volume, notamment dans l'industrie du charbon ou des minerais tendres.
- Efficacité élevée sur longues durées. [30]

III.2.2.2.3 Exemples :

- Excavatrice à roue-pelle (bucket-wheel excavator).
- Excavatrice à chaîne (chaîne à godets).
- Convoyeurs à bande associés pour le transport direct. [30]



3Figure III.1: Types des engins dans les mines

III.3 Moyens de chargement :

III.3.1 Les chargeuses

Les chargeuses sont parmi les équipements de chargement les plus importants utilisés dans les mines à ciel ouvert. Elles se distinguent par leur capacité à charger rapidement et efficacement des matériaux meubles comme la terre, les roches concassées et le sable. Elles sont équipées d'un godet frontal de grande taille utilisé pour soulever et charger les matériaux dans des camions de transport ou pour les déplacer sur de courtes distances à l'intérieur du site. [31]

III.3.1.1 Fonctionnement des chargeuses

Les chargeuses fonctionnent par des cycles répétés qui comprennent : l'approche vers le tas, l'enfoncement du godet dans le matériau, le levage de la charge, puis le retour à la zone de déchargement. [31]

III.3.1.2 Éléments constitutifs d'une chargeuse :

III.3.1.2.1 Moteur

Les chargeuses sont généralement équipées de moteurs diesel puissants qui fournissent le couple nécessaire pour déplacer la machine et soulever les charges lourdes. Ces moteurs sont conçus pour supporter des conditions de travail difficiles dans les mines, telles que la chaleur, la poussière et l'altitude. [31]

III.3.1.2.2 Transmission

Le système de transmission est utilisé pour transférer la puissance du moteur vers les roues ou les chenilles. Il se compose généralement d'une transmission automatique ou hydraulique. Ce système permet un contrôle fluide de la vitesse de déplacement et une poussée puissante, même dans des terrains difficiles. [31]

III.3.1.2.3 Pneus ou chenilles

- **Chargeuses sur pneus :**

  Utilisées sur des surfaces solides et dans des endroits nécessitant une grande mobilité. Elles se caractérisent par leur rapidité de déplacement et leur maniabilité. [32]

- **Chargeuses sur chenilles :**

  Utilisées dans des terrains mous ou accidentés, elles offrent une meilleure traction et une plus grande stabilité, mais sont généralement plus lentes que les modèles à pneus. [32]

III.3.1.3 Chargeuses sur pneus (Chargeuses à roues)

III.3.1.3.1 Définition :

Les chargeuses sur pneus sont des équipements de chargement équipés de pneus en caoutchouc. Elles sont principalement utilisées dans les mines à ciel ouvert et les projets nécessitant des déplacements à courte distance. Ces chargeuses se caractérisent par leur facilité de mouvement sur des terrains solides et nivelés. [32]

III.3.1.3.2 Avantages :

- **Mobilité élevée :**

  Les chargeuses sur pneus se déplacent rapidement, ce qui les rend idéales pour les mines nécessitant des déplacements fréquents entre différentes zones de travail. [32]

- **Coût d'exploitation plus bas :**

  Les coûts de maintenance et d'exploitation des chargeuses sur pneus sont généralement inférieurs à ceux des chargeuses sur chenilles. [32]

- **Grande flexibilité :**

  Elles peuvent se déplacer sur différents types de terrains, à condition que ceux-ci soient solides ou bien entretenus. [32]

- **Confort pour l'opérateur :**

  Elles offrent plus de confort pour les opérateurs grâce à leur rapidité de déplacement et leur maniabilité. [32]

III.3.1.3.3 Inconvénients :

- **Moins efficaces sur terrains mous ou accidentés :**

  Elles rencontrent des difficultés à se déplacer efficacement sur des terrains meubles ou glissants où elles manquent de traction. [32]

- **Capacité de charge réduite :**

  Leur capacité de charge est souvent inférieure à celle des chargeuses sur chenilles, surtout sur des terrains difficiles. [32]

III.3.1.4 Chargeuses sur chenilles :

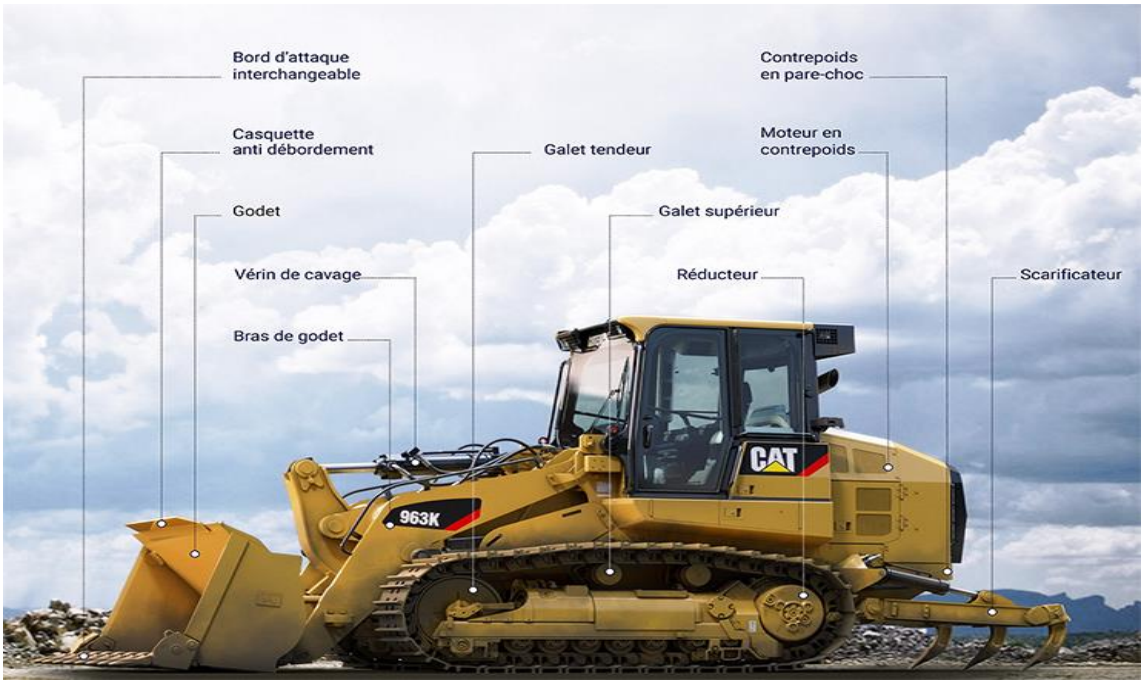


Figure III. 2 : chargeuses sur chenilles

III.3.1.4.1 Définition :

Les chargeuses sur chenilles sont des équipements de chargement équipés de chaînes métalliques ou "chenilles" au lieu de pneus. Elles sont utilisées principalement dans des conditions de terrain difficile ou boueux. Elles sont idéales pour travailler sur des sols instables ou irréguliers. [32]

III.3.1.4.2 Avantages :

- **Excellente traction sur terrains difficiles :**

  Les chargeuses sur chenilles sont capables de se déplacer efficacement sur des terrains meubles ou accidentés tels que le sable, la boue ou la neige, offrant une meilleure stabilité. [32]

- **Capacité de traction supérieure :**

  Les chenilles permettent une meilleure force de traction et la capacité de manœuvrer dans des conditions de terrain difficiles. [32]

- **Stabilité accrue :**

  Elles offrent une plus grande stabilité dans des environnements géographiques difficiles, ce qui les rend particulièrement adaptées à certaines régions minières. [32]

III.3.1.4.3 Inconvénients :

- **Vitesse de déplacement plus lente :**

  Bien que très performantes sur des terrains difficiles, les chargeuses sur chenilles se déplacent plus lentement que celles à pneus. [32]

- **Coûts de maintenance plus élevés :**

  Les chenilles nécessitent un entretien plus fréquent, car elles s'usent plus rapidement que les pneus, ce qui augmente les coûts de maintenance. [32]

- **Consommation de carburant plus élevée :**

  En raison de leur poids plus important, les chargeuses sur chenilles ont généralement une consommation de carburant plus élevée par rapport aux modèles sur pneus. [32]

III.3.1.4.4 Durée de cycle de la chargeuse « tch » :

Le temps de cycle de la chargeuse est déterminé selon plusieurs paramètres :

$$Tch = tch + tdèch + tm + tret$$

Tch : temps de chargement,

Tdéch : temps de déchargement,

Tm : temps de manœuvre du chargeur,

Tret : temps de retour du chargeur à la position initiale,

Les pelles sont des engins essentiels pour les opérations de creusement et de chargement dans les mines à ciel ouvert. Elles se déclinent en plusieurs types selon leur conception, leur mode de fonctionnement et leur domaine d'application. [32]

III.3.1.5 Les pelles hydrauliques (en rétro ou en butte)



Figure III. 3 : pelles hydrauliques

III.3.1.5.1 Pelle hydraulique en rétro :

Cette pelle fonctionne en dessous du niveau de la machine, avec un bras articulé orienté vers l'opérateur, permettant de creuser en tirant les matériaux vers elle. Elle est largement utilisée pour les tranchées et les excavations profondes. [33]

III.3.1.5.1.1 Avantages :

- Grande précision de creusement.
- Adaptée aux espaces restreints et aux travaux en profondeur.
- Facile à manœuvrer sur terrains difficiles.

III.3.1.5.1.2 Inconvénients :

- Moins efficace pour le creusement au-dessus du niveau du sol.
- Capacité du godet souvent inférieure à d'autres types de pelles.

III.3.1.5.2 Pelle hydraulique en butte :

Cette pelle pousse les matériaux devant elle et travaille au-dessus du niveau du sol. Elle est idéale pour le chargement de matériaux meubles et est très utilisée dans les mines à ciel ouvert. [33]

III.3.1.5.2.1 Avantages :

- Efficacité élevée pour le chargement rapide.
- Capacité de déversement à grande hauteur.
- Parfaite pour les volumes importants en exploitation de surface.

III.3.1.5.2.2 Inconvénients :

- Moins précise pour les excavations profondes.
- Moins adaptée aux travaux de précision.

III.3.1.6 Les pelles à câbles sur chenilles



Figure III. 4 : pelles à câbles sur chenilles

Montées sur chenilles, elles offrent une excellente stabilité. Ce type est utilisé pour l'excavation de matériaux durs dans les grandes mines. [34]

III.3.1.6.1 Avantages :

- Grande puissance d'excavation.
- Capacité du godet élevée.
- Robuste et fiable dans des conditions extrêmes.

III.3.1.6.2 Inconvénients :

- Mobilité limitée.
- Système complexe nécessitant un entretien régulier.
- Moins de flexibilité que les pelles hydrauliques.

III.3.1.7 Les draglines marcheuses



Figure III. 5 : draglines marcheuses

Les draglines sont des engins d'excavation géants utilisés principalement dans l'exploitation du charbon à ciel ouvert. Elles possèdent un godet suspendu à un câble et une flèche très longue, permettant de travailler à grande distance. Le déplacement se fait lentement à l'aide d'un système de « pas mécaniques ». [35]

III.3.1.7.1 Avantages :

- Large portée horizontale et verticale.
- Capacité d'extraction massive des stériles.
- Peu de déplacements nécessaires grâce à leur rayon d'action étendu.

III.3.1.7.2 Inconvénients :

- Coût très élevé (achat et entretien).
- Déplacement lent et limité.
- Nécessite un terrain relativement plat pour un bon fonctionnement.

III.4 Le transport

Le transport dans les mines à ciel ouvert constitue une phase essentielle du processus d'exploitation. Il assure le déplacement des matériaux extraits, qu'il s'agisse de minerai ou de stérile, depuis le front de taille vers les installations de traitement, de stockage ou de mise en dépôt. Le choix du moyen de transport dépend de plusieurs paramètres tels que la distance à parcourir, la capacité de production, la nature du terrain, ainsi que les coûts d'exploitation. Parmi les moyens les plus utilisés, on retrouve les camions de type dumper, rigides ou articulés, qui offrent une grande flexibilité et une capacité de charge importante, bien qu'ils soient coûteux à entretenir et qu'ils aient un impact environnemental non négligeable. Les convoyeurs à bande représentent une alternative efficace pour le transport continu sur de longues distances, avec un coût énergétique réduit et une pollution minimale, mais ils manquent de flexibilité et nécessitent un investissement initial important. D'autres équipements comme les trémies ou les bennes basculantes sont utilisés pour le transfert temporaire ou le stockage intermédiaire des matériaux. Le bon dimensionnement du système de transport est crucial pour optimiser la productivité et assurer une exploitation minière rentable et durable. [36]

III.4.1 Engins de transport

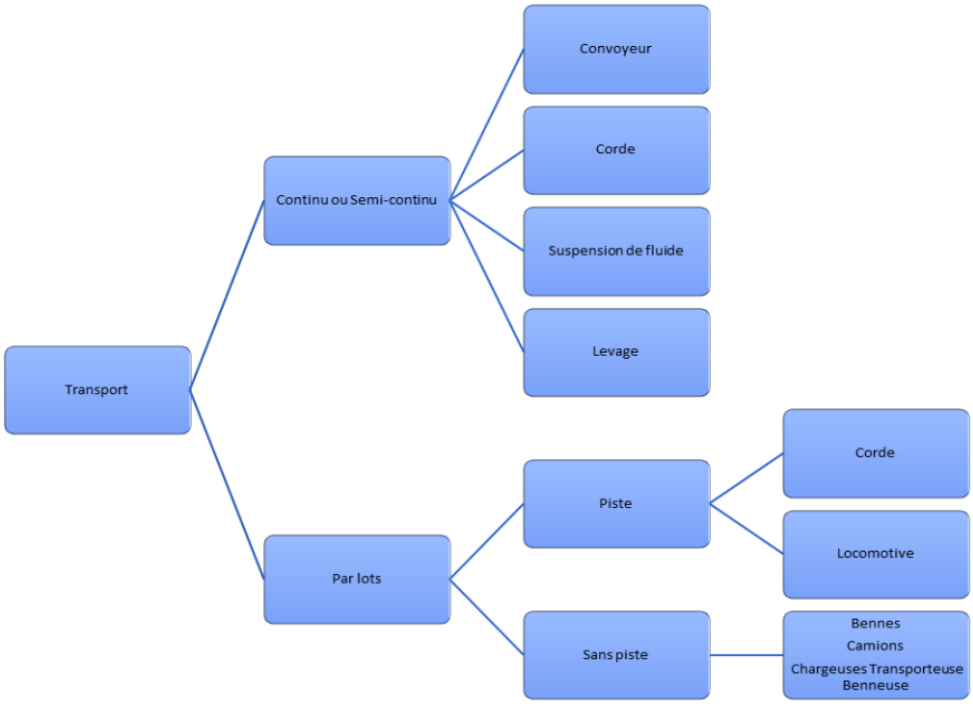


Figure III. 6 :Types des engins de transport.

III.4.2 Cycle des engins de transport :

Le temps de cycle de l'unité de transport est donné par la somme des temps de ses éléments [37] :

$$Tcy = Tc + Ta + Td + Tr + Tat$$

Tcy : Le temps de cycle de l'unité de transport.

Tc : Temps de Chargement.

Ta : Temps d'Aller en charge.

Td : Temps de Déversement.

Tr : Temps de Retour à vide.

Tat : Temps d'Attente aux chargements.

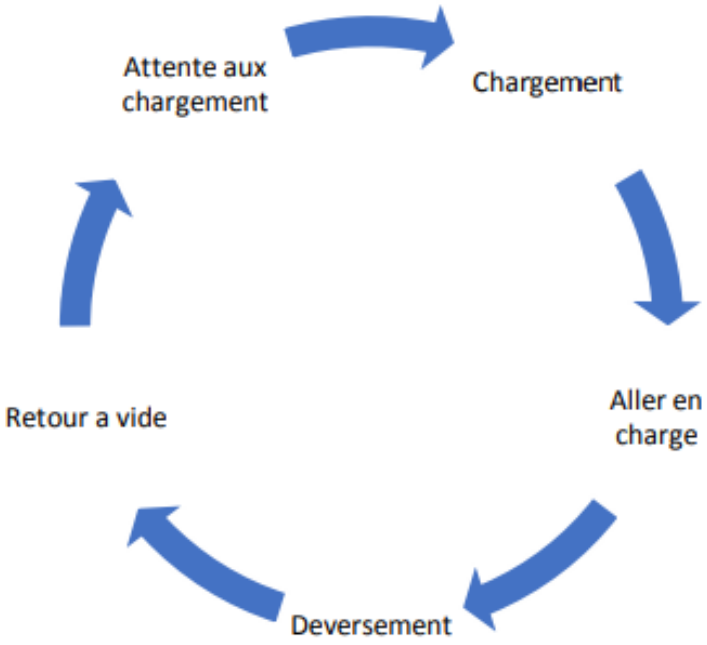


Figure III.7 :schéma de cycle de l'unité de transport

III.4.3 Critères de choix des engins de transport :

- La capacité de production souhaitée (quantité de matériaux transportés par jour).
- La distance entre le front de taille et la zone de déchargement ou de traitement.
- La nature du terrain et la topographie (dureté, pentes, irrégularités).
- L'état des pistes et des rampes à l'intérieur du site minier.
- La flexibilité opérationnelle des engins et leur capacité d'adaptation aux conditions du site.

- Les coûts d'exploitation, tels que la consommation de carburant, la maintenance et les pièces de rechange.
- Le besoin en transport continu ou intermittent selon le mode d'exploitation.
- Le niveau d'investissement initial requis pour l'acquisition ou l'installation des équipements. [38]

III.4.4 Types d'engins de transport :

Les équipements de transport sont des éléments essentiels dans la chaîne de production minière, jouant un rôle clé dans le transport des matériaux extraits des sites d'excavation vers les sites de traitement ou de stockage. Dans les mines à ciel ouvert, les méthodes de transport sont généralement classées en deux types principaux : les méthodes de transport continu et les méthodes de transport discontinu (intermittent). Chaque type diffère en termes de mécanisme de fonctionnement, de capacité de production, de coût et d'adéquation aux conditions de la mine. [39]

III.4.4.1 Transports continus :

Ce sont des systèmes qui fonctionnent sans interruption, comme les convoyeurs, et sont utilisés pour transporter les matériaux de manière continue, en particulier sur de longues distances ou dans des situations nécessitant un flux constant de production. [39]

III.4.4.1.1 Convoyeur à bande :

Le convoyeur à bande est un système de transport continu largement utilisé dans l'industrie minière, ainsi que dans d'autres secteurs de production. Ce dispositif permet le déplacement continu et efficace des matériaux sur de longues distances, à l'aide d'une bande flexible enroulée sur des rouleaux. Il est particulièrement adapté pour transporter des matériaux en vrac, tels que les minerais, sur des surfaces horizontales ou inclinées. Sa grande capacité de transport, sa faible consommation d'énergie et sa capacité à s'adapter à différents types de terrains et de configurations de site en font un choix privilégié dans les mines à ciel ouvert. Les convoyeurs à bande se caractérisent par leur fiabilité et leur facilité d'entretien, bien que leur efficacité puisse être influencée par des facteurs tels que la vitesse de la bande, la charge transportée et les conditions environnementales. Le choix des matériaux et de la structure de la bande est également essentiel pour garantir des performances optimales et une longue durée de vie. [40]

III.4.4.1.1.1 Classification des convoyeurs à bande

Les convoyeurs à bande sont classés selon plusieurs critères qui varient en fonction de l'utilisation et des conditions opérationnelles. Ils peuvent être classés selon les types suivants [40]:

- **Selon le type de mouvement :**
  - **Convoyeurs à bande horizontaux** :
    Ils transportent les matériaux sur des distances horizontales, principalement utilisés dans des endroits nécessitant un transport horizontal des matériaux.
  - **Convoyeurs à bande inclinés** :
    Utilisés pour transporter des matériaux sur des distances inclinées ou surélevées, permettant de déplacer des matériaux d'un niveau à un autre avec un angle incliné.
  - **Convoyeurs à bande verticaux** :
    Utilisés pour transporter des matériaux d'un niveau bas à un niveau élevé de manière verticale.
- **Selon le type de matériaux transportés :**
  - **Convoyeurs à bande pour matériaux en vrac** :
    Utilisés pour transporter des matériaux en vrac tels que des graviers, du sable ou des minerais.
  - **Convoyeurs à bande pour matériaux pulvérisés** :
    Spécialement conçus pour transporter des matériaux écrasés ou broyés, tels que des produits chimiques ou des engrais.
- **Selon le type de bande :**
  - **Convoyeurs à bande en caoutchouc** :
    Caractérisés par leur flexibilité et leur capacité à supporter de fortes pressions, ils sont utilisés dans la plupart des industries.
  - **Convoyeurs à bande en acier** :
    Conçus pour leur robustesse, capables de transporter des matériaux lourds ou coupants, tels que des métaux et des minerais.
  - **Convoyeurs à bande en plastique** :
    Utilisés dans des applications légères ou lorsque l'usure est faible.

- **Selon le type de tension :**
  - **Convoyeurs à bande tendus** :

    La bande est tendue à l'aide d'un mécanisme de contrôle pour garantir une stabilité du transport.
  - **Convoyeurs à bande flexibles** :

    Ces bandes sont plus flexibles, sans avoir besoin d'une tension élevée, ce qui améliore le mouvement, surtout dans des environnements où les conditions de transport changent fréquemment.
- **Selon le type de transport :**
  - **Convoyeurs à bande continus** :

    Fonctionnent sans interruption pour transporter les matériaux de manière continue.
  - **Convoyeurs à bande discontinus** :

    Transportent les matériaux par lots, souvent utilisés dans des sites où la quantité de matériaux varie.

III.4.4.1.1.2 Éléments constitutifs d'une bande transporteuse

Une bande transporteuse est constituée de plusieurs éléments essentiels qui permettent son bon fonctionnement et sa durabilité. Les principaux éléments constitutifs d'une bande transporteuse sont les suivants [40] :

- **La bande (ou courroie)**

  C'est l'élément principal du convoyeur, responsable du transport des matériaux. Elle est généralement composée de plusieurs couches de matériaux pour assurer sa résistance et sa flexibilité. La bande peut être fabriquée à partir de différents matériaux, comme le caoutchouc, le PVC, le polyester, ou encore des matériaux métalliques, en fonction des exigences de l'application.
- **Le tissu ou le renfort (carcasse)**

  Situé à l'intérieur de la bande, le tissu ou la carcasse sert de renfort pour conférer à la bande une résistance mécanique accrue. Il est généralement constitué de fils en polyester, nylon ou acier, qui augmentent la résistance à la traction et assurent une bonne stabilité.
- **Les poulies (ou tambours)**

  Les poulies sont des éléments rotatifs qui supportent la bande et lui permettent de se déplacer. Il y a généralement une poulie motrice, qui est entraînée par un moteur, et

une poulie de tension, qui sert à maintenir la tension de la bande. Ces poulies sont cruciales pour la direction et la stabilité de la bande.

- **Les rouleaux de support**

  Les rouleaux sont placés sous la bande pour la soutenir pendant qu'elle transporte les matériaux. Ils permettent de répartir le poids des matériaux et de réduire la friction entre la bande et les surfaces fixes, assurant ainsi une meilleure efficacité du système.

- **Le moteur et le réducteur**

  Le moteur est l'élément qui génère l'énergie nécessaire pour entraîner le convoyeur. Le réducteur permet de réguler la vitesse de la bande en fonction des besoins du processus de transport, en réduisant la vitesse du moteur tout en augmentant le couple transmis à la bande.

- **Le système de tension**

  Il est utilisé pour ajuster la tension de la bande afin de garantir qu'elle soit suffisamment tendue pour fonctionner correctement, mais pas trop tendue pour éviter l'usure prématurée. Ce système peut inclure des rouleaux de tension ou des dispositifs hydrauliques ou mécaniques.

- **Les dispositifs de nettoyage**

  Pour maintenir l'efficacité du convoyeur, des systèmes de nettoyage sont parfois installés. Ces dispositifs, comme les brosses ou les grattes, servent à éliminer les matériaux qui peuvent s'accumuler sur la bande pendant son fonctionnement.

- **Les guides de bande**

  Les guides de bande servent à maintenir la bande en place et à éviter qu'elle ne dévie de sa trajectoire pendant le transport des matériaux. Ces guides sont souvent en métal ou en plastique et sont installés sur les côtés du convoyeur.

- **Le système de contrôle**

  Il permet de réguler et surveiller le fonctionnement du convoyeur. Il peut inclure des capteurs de vitesse, des systèmes de surveillance de température, des capteurs de charge et d'autres dispositifs pour garantir une performance optimale.

III.4.4.2 Avantages du transport par bande :

- Transport continu.
- Coûts d'exploitation faibles.
- Adaptabilité à différents terrains.
- Capacité de transport élevée.

- Réduction de l'impact environnemental.
- Sécurité accrue.
- Maintenance facile.
- Flexibilité dans le choix des matériaux.
- Réduction de l'usure des équipements.
- Optimisation de l'utilisation de l'espace.
- Réduction des risques de contamination. [41]

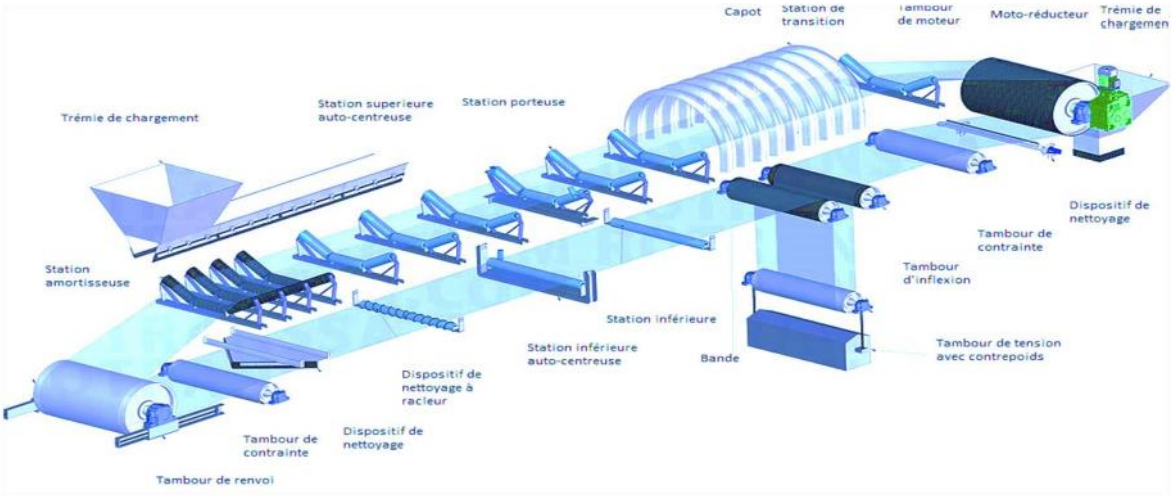


Figure III. 8 : Les différents composants du convoyeur à bande

III.4.4.3 Transports discontinus :

Ces méthodes impliquent le transport des matériaux par lots, comme les camions et les bennes. Elles offrent plus de flexibilité et sont utilisées dans des sites où les fronts de taille changent fréquemment. [40]

III.4.4.3.1 Les camions



Figure III. 9 : dumper Caterpillar 773F

Les camions sont les moyens de transport les plus couramment utilisés dans les mines contemporaines, en vue les avantages qu'ils présentent comparativement aux autres moyens de transport [42]

III.4.4.3.1.1 Les éléments principaux du camion

Le camion, en tant qu'unité de transport essentielle dans les mines à ciel ouvert, est constitué de plusieurs composants mécaniques et techniques qui assurent son bon fonctionnement et sa sécurité d'utilisation. Les éléments principaux sont les suivants [43]:

- **Essieux et roues**

  Ils supportent le poids du camion et permettent son déplacement. Conçus pour résister aux charges lourdes et aux terrains difficiles, ils jouent un rôle clé dans la stabilité et l'équilibre pendant le transport.

- **Châssis**

  Il s'agit de la structure de base sur laquelle sont fixés tous les autres composants du camion. Il doit être solide et rigide pour supporter les contraintes liées à la charge et aux déplacements.

- **Mécanisme de culbutage**

  C'est un système mécanique ou hydraulique permettant de soulever la benne arrière afin de décharger le contenu. Il est essentiel pour optimiser la rapidité et l'efficacité des opérations de déchargement sur le site.

- **Le moteur**

  Constitue le cœur du camion, fournissant l'énergie nécessaire à son déplacement. Sa puissance varie selon la capacité de charge et les conditions d'utilisation, et il fonctionne généralement au diesel pour fournir un couple élevé.

- **Dispositif de freinage**

  Utilisé pour assurer un arrêt sécurisé du camion en toutes circonstances, que ce soit en fonctionnement normal ou en urgence. Il comprend généralement des freins hydrauliques ou pneumatiques, particulièrement performants sur les pentes.

- **Poste de commande**

  Comprend la cabine du conducteur ainsi que les commandes (volant, pédales, instruments de contrôle). Il est conçu pour offrir un environnement de travail confortable et sécurisé, avec une bonne visibilité et une manipulation aisée.

- **La benne**

  Partie destinée au transport des matériaux (rochers, terre, minerais, etc.). Elle est fabriquée à partir de matériaux résistants à l'usure et aux chocs, souvent équipée d'un système de basculement pour faciliter le déchargement.

III.4.4.3.1.2 Les conditions les plus favorables à l'emploi des camions

Le transport par camions constitue un moyen de transport discontinu largement utilisé dans les mines à ciel ouvert, notamment dans les environnements où les fronts de taille changent fréquemment. L'utilisation des camions est particulièrement recommandée dans les situations suivantes [43] :

- Lorsque la distance entre les zones d'extraction et les zones de déchargement ou de stockage est courte ou moyenne.
- Dans les sites présentant une géographie irrégulière ou difficile, où l'installation de systèmes de transport continu est peu pratique.
- Lorsque les volumes de matériaux à transporter varient au cours de la journée.
- Dans des contextes nécessitant une grande flexibilité dans l'adaptation ou la modification des itinéraires.

- Lors des phases initiales d'exploitation ou durant les opérations de maintenance des autres systèmes de transport.
- Le tonnage à déplacer jusqu'à 10 millions de tonnes/an pour les camions dont la capacité des bennes est inférieure à 70 tonnes. On peut aller jusqu'à 70 millions/an pour les camions de plus de capacité (100 tonnes et plus). Actuellement aux Etats-Unis, Il y a des camions de 350 tonnes.

III.4.4.3.2 Avantages du transport par camion

- Grande capacité de la benne
- Grande flexibilité de déplacement entre différentes zones d'exploitation.
- Facilité de mise en service et d'arrêt selon les besoins de production.
- Adaptation rapide des itinéraires en fonction des changements de front ou de site.
- Investissement initial relativement faible comparé à certains systèmes de transport continu.
- Capacité à opérer dans des conditions topographiques complexes ou variables. [44]

III.4.4.3.3 Inconvénient du transport par camion

- Consommation élevée de carburant et coûts d'exploitation importants à long terme.
- Entretien fréquent en raison des contraintes mécaniques et des vibrations constantes.
- Impact environnemental négatif dû aux émissions de gaz et au bruit.
- Rendement de production inférieur à celui des systèmes de transport continu.
- Besoin en main-d'œuvre plus important (chauffeurs, opérateurs), ce qui accroît les charges humaines et administratives.
- Taux d'accidents plus élevé comparé aux systèmes fixes. [44]

III.4.4.3.4 Choix du type de camion

Le choix du type de camion constitue une étape essentielle dans la planification et l'organisation des opérations de transport au sein d'un site minier. Il doit être fondé sur un ensemble de critères techniques et économiques visant à garantir une efficacité maximale dans les conditions spécifiques d'exploitation. Cette sélection repose sur une évaluation approfondie des éléments suivants [45] :

- Pour une distance de transport allant jusqu'à 1,5 km, le choix du type de camion doit être déterminé en fonction de la relation suivante :

$$Vb = (4 : 6).\ E;\ m^3$$

- Pour une distance de 1,5 à 5 km, le choix du camion doit être basé sur la relation suivante :

$$Vb = (6 : 10).\ E\ ;m^3$$

- Pour une distance de 5 à 7 km et plus, le choix du camion doit être déterminé en fonction de la relation suivante :

$$\mathrm{Vb} = (8 : 12).\mathrm{E};\ m^3$$

Où :

Vb : le volume du camion à choisir (m^3)

E : la capacité du godet de l'excavateur en (m^3)

NB : les chiffres 4, 6, 10, 12 indiquent les nombres optimums de godet de l'excavateur.

III.4.4.3.5 Rendement du camion et leur nombre :

L'évaluation de la performance du camion et la détermination du nombre d'unités nécessaires constituent des étapes essentielles dans la conception du système de transport au sein d'une mine. La performance de transport du camion dépend de plusieurs facteurs, tels que la capacité de charge, la vitesse de déplacement, le temps de chargement et de déchargement, ainsi que la distance entre les points de chargement et de déchargement. [45]

III.4.4.3.5.1 Calcul de la charge nette par cycle (Charge nette par cycle)

La charge nette est la base sur laquelle toutes les évaluations de performance sont réalisées. Elle représente la quantité de matière effectivement transportée lors de chaque cycle opérationnel. [45]

$$\mathrm{C} = \mathrm{C\ brute} - \mathrm{C\ camion}$$

Où :

- C : Charge nette par cycle (en tonnes)
- C bruts : Charge brute autorisée (en tonnes)
- C camion : Poids à vide du camion (en tonnes)

III.4.4.3.5.2 Calcul du temps de cycle (Cycle time)

T cycle = C chargement + T transport aller +T Déchargement + T retour + T attente

III.4.4.3.5.3 Calcul de la productivité horaire du camion (Rendement horaire)

$$\mathrm{Q\ camion} = \frac{\mathrm{C}\times\mathrm{n}}{\mathrm{Tcycle}}$$

Où :

- Q camion : productivité en tonnes/heure
- C : charge nette du camion (en tonnes)
- n : nombre de cycles possibles par heure

- T cycle : durée d'un cycle (en heures

III.4.4.3.5.4 Calcul du nombre de camions nécessaires

$$N = \frac{Q\ total}{Q\ camion}$$

Où :

- N : nombre de camions requis
- Q total : débit de production requis (en tonnes/heure)
- Q camion : productivité d'un seul camion (en tonnes/heure)

Ce cadre calculatoire est utilisé pour estimer avec précision la performance et garantir que le nombre de camions est adéquat par rapport aux exigences de production. [45]

III.4.4.3.6 Combinaison des opérations de chargement et de transport

Dans le cadre de l'exploitation minière, la combinaison efficace des opérations de chargement et de transport joue un rôle clé dans l'optimisation de la chaîne logistique. Une coordination adéquate entre les unités de chargement (comme les pelles ou les chargeuses) et les moyens de transport (tels que les camions ou les convoyeurs) permet de :

- Réduire les temps d'attente entre les cycles,
- Améliorer le rendement global des équipements,
- Minimiser les coûts opérationnels.

Cette combinaison repose sur une planification précise des cycles de travail et sur l'équilibrage des capacités entre les engins de chargement et les véhicules de transport. [46]

Pour sélectionner des machines sur les sites miniers, les étapes suivantes doivent être suivies

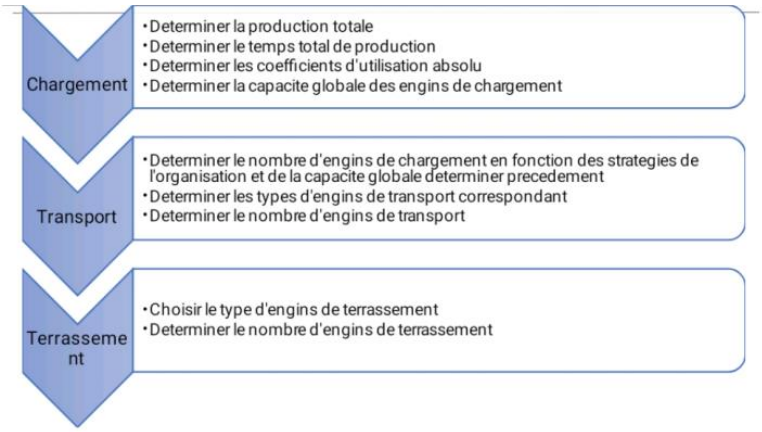


Figure III. 10 : Procédure de détermination de la flotte de production d'une mine.

III Conclusion :

L'ensemble de ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance stratégique du transport et du chargement dans l'industrie minière. Ces deux fonctions, bien qu'apparentes dans leur simplicité, exigent une planification rigoureuse, un choix judicieux des équipements, et une coordination optimale pour assurer la continuité, la sécurité et la rentabilité des opérations. En analysant les différents engins, leurs cycles d'utilisation, ainsi que les critères de choix selon les conditions d'exploitation, il devient évident que chaque décision technique influence directement la performance globale du site minier. Le recours croissant aux technologies modernes, telles que les convoyeurs automatisés et les véhicules à haut rendement, ouvre de nouvelles perspectives d'amélioration continue. Ainsi, la maîtrise des opérations de chargement et de transport demeure un levier fondamental pour la compétitivité des exploitations minières.

Chapitre IV :

L'Abaque de Noiret et la méthode AMDEC

IV.1 L'Abaque de Noiret :

Un Outil d'Aide à la Décision en Stratégie de Maintenance

L'abaque de Noiret est un outil classique en gestion de la maintenance, utilisé comme support à la prise de décision en matière de choix de stratégie de maintenance, qu'elle soit **préventive** ou **corrective**.

Contrairement à l'idée reçue selon laquelle la maintenance préventive est toujours préférable, cet abaque montre que le choix entre les deux types de maintenance doit être fondé sur une analyse rigoureuse de critères à la fois quantitatifs et qualitatifs. [47]

IV.1.1 Objectif de l'outil

L'objectif de l'abaque de Noiret est de formuler des recommandations sur la pertinence de mettre en place une maintenance préventive sur un équipement donné dans un contexte de production, en la comparant à une stratégie basée uniquement sur la maintenance corrective, et ce, à partir de l'étude des facteurs influençant la performance, le coût et la fiabilité. [47]

IV.1.2 Critères fondamentaux de décision

L'analyse repose sur trois axes principaux [47] :

- **Caractéristiques techniques de l'équipement**
  - Taux et fréquence de pannes
  - Impact des défaillances sur la production
  - Temps et complexité des réparations
  - Disponibilité des pièces de rechange et des ressources techniques
- **Conditions d'utilisation**
  - Nature de l'usage (continu ou intermittent)
  - Environnement opérationnel (température, humidité, poussière...)
  - Importance de l'équipement dans le processus de production
- **Analyse économique**
  - Coût de la maintenance préventive
  - Coût des pannes en cas de maintenance corrective uniquement
  - Gains attendus en termes de réduction des pannes et d'augmentation de la disponibilité

IV.1.3 Résultat de l'analyse

L'abaque de Noiret ne fournit généralement pas une solution binaire, mais suggère un compromis optimal entre les deux types de maintenance, basé sur les données collectées :

- Si l'équipement est critique et les coûts de panne élevés, la **maintenance préventive** est souvent recommandée.

- Si l'équipement est peu sollicité ou peu critique, la **maintenance corrective** peut suffire.

Il s'agit donc de définir un équilibre pertinent entre les deux approches, permettant d'atteindre un niveau de performance souhaité tout en maîtrisant les coûts.

L'utilisation de l'abaque de Noiret constitue une méthode scientifique d'aide à la décision stratégique dans le domaine de la maintenance industrielle. Elle permet à l'entreprise d'optimiser sa politique de maintenance en recherchant un juste équilibre entre efficacité opérationnelle et maîtrise des dépenses, contribuant ainsi à l'amélioration de sa performance globale. [48]

IV.2 L'Abaque de Noiret (L'abaque de Noiret) :

Est un outil scientifique utilisé dans le domaine de la gestion de la maintenance industrielle, dont l'objectif principal est d'aider les décideurs à choisir le type de maintenance le plus approprié pour un équipement ou une machine spécifique dans un environnement de travail. Cet abaque repose sur une analyse précise d'un ensemble de facteurs techniques et opérationnels, et oriente le choix entre maintenance préventive et maintenance corrective selon des critères définis. [48]

IV.2.1 Critères Fondamentaux sur lesquels l'Abaque de Noiret repose

L'abaque se base sur l'analyse de deux axes principaux [48] :

1. **Caractéristiques techniques de l'équipement**
   Cela inclut des facteurs tels que le taux de pannes, la complexité de la maintenance, le temps de réparation nécessaire, la capacité de l'équipement à s'arrêter sans affecter la production, ainsi que d'autres aspects techniques.
2. **Conditions et usage de l'équipement**
   Cela couvre le mode d'utilisation (intensif ou limité), les conditions opérationnelles (telles que la température, l'humidité, ou la poussière), ainsi que l'importance de l'équipement au sein du processus de production.

IV.2.2 Résultats de l'Abaque : Trois Options Possibles

Après l'analyse des données, l'abaque de Noiret fournit une recommandation parmi trois possibilités [49] :

- **Maintenance préventive recommandée**
  Lorsque les données montrent que les pannes prévues sont fréquentes ou coûteuses, et qu'il est plus rentable de les prévenir par la maintenance préventive.

- **Maintenance préventive possible (pas nécessaire)**
  Lorsque les risques de pannes sont modérés, et que la maintenance préventive peut être envisagée si les ressources sont disponibles, mais qu’elle n'est pas indispensable.
- **Maintenance préventive non nécessaire**
  Lorsque les pannes sont rares ou de faible impact, ou que le coût de la maintenance préventive dépasse les avantages qu'elle apporterait.

IV.2.3 Analyse économique : Complément essentiel à l’Abaque

Il est important de souligner que les résultats de l’Abaque de Noiret ne sont pas suffisants pour prendre la décision finale, mais doivent être complétés par une analyse économique détaillée, portant sur [49] :

- **Le coût de la maintenance préventive** comparé au coût des pannes qui surviendraient en cas de maintenance corrective uniquement.
- **Le retour sur investissement (ROI)** découlant de la réduction des pannes ou de l'amélioration de la disponibilité des équipements.

Cette analyse permet de mesurer les avantages réels attendus de l’application d’une maintenance préventive et de déterminer si celle-ci est justifiée sur le plan économique.

L'abaque de Noiret est basé sur les critères suivants :

a) l'âge de l'équipement

b) sont l'interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production

c) son coût

d) sa complexité et son accessibilité

e) sa robustesse et sa précision

f) son origine : France ou Etranger

g) son utilisation dans le temps

h) les conséquences de ses défaillances sur les produits

i) les délais de production qui lui sont liés

Chaque critère se décline en plusieurs options qui chacune correspond à un certain nombre de points. Les points ainsi obtenus sont additionnés.

Remarque : un seul choix n'est possible par critère ; il faut donc prendre celui qui est le plus représentatif de l'équipement :

A) l'âge de l'équipement :

2Tableau IV.1 : Nombre des points correspondant à l'âge de l'équipement

Age (ans)	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Point	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90

Formule de calcul : Points = 90 – âge*4

0 ans = moins d'un an

B) Interdépendance :

3Tableau IV. 2 : Nombre des points correspondant à interdépendance de matériel

Critère	Points
Matériel essentiel et marche continue	70
Matériel essentiel et marche semi discontinue	60
Matériel essentiel et marche discontinue	50
Matériel sans tampon aval ou amont	40
Matériel semi indépendant	30
Matériel indépendant	20
Matériel double (ou plus)	10

C) Coût :

4Tableau IV. 3 : Nombre des points correspondant au coût de l'équipement

Critère en €	Points
Moins de 3000	5
[3000 à 15000]	15
[15000 à 30000]	25
[30000 à 45000]	35
[45000 à 150000]	45
150000 ou plus	55

D) Complexité et accessibilité :

5Tableau IV. 4 : Nombre des points correspondant à la complexité et l'accessibilité de l'équipement

Critère	Points
Matériel peu complexe et accessible	5
Matériel très complexe et accessible	25
Matériel peu complexe et inaccessible	25
Matériel très complexe et inaccessible	45

E) Robustesse et sa précision :

6Tableau IV. 5 : Nombre des points correspondant à la robustesse et la précision de l'équipement

Critère	Points
Robuste	5
Courant	10
Robuste et de précision	15
Peu robuste (délicat)	20
Travail en surcharge	25
Délicat et de précision	30

F) Origine :

7Tableau IV. 6 : Nombre des points correspondant aux l'origine de matériel

Critère	Points
Français de grande série	20
Français de petite série	40
Etranger avec SAV en France	50
Etranger sans SAV en France	70
Etranger sans service technique	90

G) Utilisation :

8Tableau IV. 7 : Nombre des points correspondant à l'utilisation de l'équipement dans le temps

Critère	Points
Marche à 1 poste de travail	75
Marche à 2 postes de travail	175
Marche à 3 postes de travail	250

H) **Perte de produits :**(Conséquence sur les produits en cas de défaillance machine)

9Tableau IV. 8 : Nombre des points correspondant aux conséquences des défaillances sur la machine

Critère	Points
Produits vendables	10
Produits à reprendre	35
Produits perdus	55

I)Délais :

10Tableau IV. 9 : Nombre des points correspondant aux délais de production qui lui sont liés

Critère	Points
Délai libre (constitution de stock)	25
Délai serré	100
Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Délai impératif (risque de pénalités de perte client)	225

IV.3 Coefficients pondéré

Ce tableau repose sur les mêmes critères que ceux de l'abaque de Noiret, mais il introduit une pondération à travers des coefficients de points. Chaque critère est ainsi évalué selon un système de notation pondérée, et le total des points obtenus permet de positionner l'équipement dans l'une des trois zones décisionnelles suivantes [50] :

- **Zone 1 :** total inférieur à 500 points → la maintenance préventive n'est pas jugée nécessaire.
- **Zone 2 :** total compris entre 500 et 540 points → la maintenance préventive est envisageable.
- **Zone 3 :** total supérieur à 540 points → la maintenance préventive est jugée nécessaire.

IV.4 Analyse prévisionnelle des défaillances (AMDEC)

Définition :

L'AMDEC, ou Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, a été créée en 1949 par l'US Air Force, afin d'assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception. Avec cette méthode, les entreprises classent les défaillances en fonction de leur impact sur les personnes et sur le fonctionnement de l'équipement.

En 1993, l'ASQC (American Society for Qualité Control) donne une nouvelle définition de l'AMDEC : « un procédé systématique pour identifier les modes potentiels et traiter les défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés ». [51]

IV.4.1 Principes de l'AMDEC

L'AMDEC repose sur trois éléments fondamentaux pour chaque mode de défaillance identifié :

- **Le mode de défaillance** :
  La manière dont l'élément peut tomber en panne.
- **L'effet de la défaillance** :
  Les conséquences directes et indirectes sur le système ou le client.
- **La criticité de la défaillance** :
  Niveau de gravité, fréquence d'apparition et capacité de détection.

IV.4.2 Objectifs principaux de l'AMDEC

- Réduire les risques liés à la conception ou à l'utilisation des équipements.

- Améliorer la fiabilité et la qualité des produits ou des processus.
- Prioriser les actions correctives en fonction du niveau de criticité.
- Optimiser la maintenance préventive et la gestion des ressources.

IV.4.3 Les avantages de l'AMDEC

1. **Amélioration de la fiabilité des produits et systèmes**
   La méthode permet de détecter précocement les défaillances potentielles, dès la phase de conception ou en cours d'exploitation, ce qui augmente la fiabilité globale du système ou du produit.
2. **Réduction des coûts liés aux défaillances**
   En anticipant les pannes critiques, l'AMDEC contribue à éviter les interruptions de production, les coûts de réparation d'urgence et les retours de produits défectueux.
3. **Amélioration de la sécurité**
   En identifiant les défaillances susceptibles de nuire à la sécurité des utilisateurs ou des opérateurs, la méthode permet de mettre en place des mesures préventives appropriées.
4. **Meilleure compréhension du fonctionnement du système**
   L'analyse exige une connaissance approfondie du système ou du processus étudié, ce qui renforce la compréhension technique au sein de l'équipe projet.
5. **Favorise l'amélioration continue**
   L'AMDEC s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue, en intégrant la prévention des risques comme élément clé de gestion de la qualité.
6. **Aide à la prise de décision**
   En fournissant une évaluation structurée de la criticité des risques, elle constitue un outil d'aide précieux pour orienter les choix en matière de conception, de maintenance ou d'investissements.

IV.4.4 Types d'AMDEC :

En fonction de leur objectif, différents types d'AMDEC sont utilisés dans les phases successives du développement d'un produit :

IV.4.4.1 AMDEC Produit (AMDEC produit fini ou composant)

L'AMDEC produit s'applique à un **produit ou un composant** dès sa phase de conception. Elle vise à :

- Identifier les défaillances possibles du produit.
- Étudier leurs causes et conséquences sur la sécurité, la qualité ou le fonctionnement.
- Proposer des améliorations de conception avant la mise en production.

Objectif : Concevoir un produit fiable, sûr et conforme aux attentes clients. [51]

IV.4.4.2 AMDEC Processus (ou AMDEC de fabrication)

Elle s'applique aux étapes de fabrication ou d'assemblage d'un produit. Elle permet de :

- Identifier les défauts pouvant apparaître lors de la production.
- Analyser les causes (machine, main-d'œuvre, méthode…).
- Réduire les risques de non-conformité en améliorant les procédures.

Objectif : Sécuriser le processus de production pour garantir la qualité des produits. [51]

IV.4.4.3 AMDEC Machine (ou AMDEC maintenance)

Cette forme s'applique à une machine ou un équipement industriel. Elle sert à :

- Anticiper les défaillances mécaniques ou électriques.
- Évaluer leur impact sur la production.
- Définir un plan de maintenance préventive.

Objectif : Éviter les pannes, améliorer la disponibilité des équipements et réduire les arrêts de production.

IV.4.5 Démarche pratique de l'AMDEC

La démarche AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) suit une série d'étapes structurées et bien définies. Voici une présentation pratique des différentes étapes de cette démarche, que l'on applique généralement dans un environnement industriel ou de conception. [51]

IV.4.6 Étapes de la démarche AMDEC :

Étape 1 : Initiation de l'étude

- **Objectif :** Définir clairement les objectifs et la portée de l'analyse.
- **Éléments clés :**
  - Identifier le système, le produit ou l'équipement à analyser.
  - Former l'équipe d'analyse avec des experts de différents domaines.
  - Collecter les informations préalables (historique des défaillances, données techniques, etc.).
  - Définir les ressources nécessaires (temps, outils, etc.).

Étape 2 : Description fonctionnelle de la machine

- **Objectif :** Décomposer et décrire les fonctions du système ou de la machine.
- **Éléments clés :**
  - Identifier les fonctions principales et secondaires de la machine ou du processus.

- Décrire les interactions entre les différentes fonctions.
- Expliquer comment chaque fonction doit opérer pour assurer la performance et la sécurité.
- Élaborer un diagramme fonctionnel ou un organigramme pour visualiser la hiérarchie des fonctions.

Étape 3 : Analyse AMDEC

- **Objectif :** Identifier les modes de défaillance, leur effet et leur criticité.
- **Éléments clés :**
  - **Identification des modes de défaillance :**
    Lister tous les types d'anomalies possibles dans chaque fonction.
  - **Identification des causes :**
    Analyser les raisons potentielles des défaillances (erreurs humaines, défauts matériels, etc.).
  - **Évaluation de la gravité (G) :**
    Mesurer l'impact de chaque défaillance sur la sécurité, la performance ou la qualité.
  - **Évaluation de la fréquence (F) :**
    Estimer la probabilité de survenue de chaque défaillance.
  - **Évaluation de la détectabilité (D) :**
    Évaluer la capacité à détecter une défaillance avant qu'elle n'affecte le système.
  - **Calcul de l'Indice de Criticité (C) :**
    Utiliser la formule $C = G \times F \times D$ pour prioriser les défaillances.

Étape 4 : Résumé des évaluations et des décisions

- **Objectif :** Résumer les résultats de l'analyse et prendre des décisions concernant les actions à mettre en place.
- **Éléments clés :**
  - Présenter un tableau récapitulatif des modes de défaillance, de leur gravité, fréquence et détectabilité.
  - Identifier les défaillances les plus critiques nécessitant des actions immédiates.
  - Définir un plan d'action correctif ou préventif pour chaque mode de défaillance identifié.
  - Prioriser les actions en fonction des résultats de l'analyse AMDEC.

IV.4.7 Les indice de Criticité (C) :

La criticité est définie par le produit : C = F×G×D

IV.4.7.1 Indice F :

Il est relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance. Cette fréquence représente la probabilité combinée de survenue du mode de défaillance en fonction de l'apparition de sa cause. L'indice F est déterminé selon un barème de cotation (tableau), où la note attribuée varie entre 1 et 4. [51]

11Tableau IV. 10 : Grille de cotation de la probabilité d'occurrence

Valeurs de fréquence : F	Définition des niveaux
Très faibles **F = 1**	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 5 ans
Faibles **F = 2**	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par 2 ans
Moyennes **F = 3**	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par 6 mois
Fortes **F = 4**	Défaillance très fréquente : Une ou plus d'une défaillance par 3 mois

IV.4.7.2 L'indice G :

Il est relatif aux conséquences résultant de l'apparition du mode de défaillance, en termes de :

- **Temps d'intervention (TI)** :
  Composant du temps d'indisponibilité du moyen de production, correspondant au temps de maintenance corrective active (diagnostic, réparation ou échange, remise en service).
- **Qualité de la production** :
  Impact sur la qualité des produits fabriqués.
- **Sécurité des hommes et des biens** :
  Effets sur la sécurité des personnes et des biens matériels.

L'indice G est déterminé selon un barème de cotation (tableau). Il prend en compte uniquement l'effet le plus grave produit par le mode de défaillance, même si plusieurs effets ont été identifiés. La note attribuée varie entre 1 et 5.

12Tableau IV. 11 : Grille de cotation de la gravite

Valeurs de gravité G		Définition des niveaux
Gravité mineure	**G = 1**	Défaillance mineure : • Indisponibilité de la machine inférieure à 1 jour. • Aucune dégradation notable du matériel.
Gravité Moyenne	**G = 2**	Défaillance moyenne : • Indisponibilité de la machine de 1 jour à 2 jours. • Remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire
Gravité critique	**G = 3**	Défaillance critique : • Indisponibilité de la machine de 2 jours à 7 jours. • Changement du matériel défectueux nécessaire (ou réparation).
Gravité très critique	**G = 4**	Défaillance très critique : • Indisponibilité de la machine plus à 7 jours. • Intervention nécessitent des moyens coûteux.
Gravité majeur	**G = 5**	Défaillance majeure : • Indisponibilité de la machine pour une durée indéterminée.

IV.4.7.3 Indice D :

Il concerne la capacité à détecter la défaillance (association mode de défaillance–cause) avant qu'elle ne génère un effet néfaste. Cet indice évalue donc l'efficacité des dispositifs ou procédures de détection existante. L'indice D est attribué en fonction d'un barème de cotation (tableau), et la note peut varier de 1 à 4. [51]

13Tableau IV. 12 : Grille de cotation de la probabilité de non détection

Valeurs de la probabilité de non détection : D		Définition des niveaux
Détection évidente	**D=1**	Alarme en salle de contrôle
Détection possible	**D=2**	Défaillance détectable par action de l'opérateur ou par des relevés vibratoires
Détection difficile	**D=3**	Défaillance difficilement détectable : Le signe avant-coureur difficilement détectable
Détection impossible	**D=4**	Défaillance indétectable : il n'existe aucun signe avant-coureur.

IV.4.7.4 Indice de criticité C :

Il est calculé à l'aide de la formule **C = F × G × D**, ce qui permet de classer les défaillances selon leur niveau de criticité et d'identifier celles dont la criticité dépasse un seuil prédéfini, propre au système analysé.

Ce seuil critique varie selon les exigences de fiabilité ou selon les technologies en question. Dans notre cas, étant donné l'importance de la fonction de la pompe dans le processus de traitement, ainsi que les pertes matérielles liées à son indisponibilité, nous avons fixé ce seuil à 10.

Ainsi, toute défaillance dont l'indice de criticité dépasse ce seuil devra faire l'objet d'une action corrective.

De plus, même si l'indice global de criticité n'atteint pas le seuil fixé, une intervention corrective est également envisagée si l'un des indices F, G ou D est supérieur ou égal à 4.

IV.5 Méthode ABC (Diagramme Pareto) :

La méthode ABC est une approche analytique et classificatoire utilisée pour analyser un ensemble d'éléments (tels que des produits, des machines, des stocks ou des clients) en fonction de leur importance relative, selon un critère défini (comme la valeur financière, le taux d'utilisation, le coût de maintenance ou l'impact sur la performance globale). [52]

Les éléments étudiés sont répartis en trois catégories principales :

- **Classe A (éléments de haute importance) :**
  Cette catégorie représente environ 20 % des éléments, mais contribue à environ 80 % de la valeur ou de l'impact global.
- **Classe B (éléments d'importance moyenne) :**
  Elle regroupe environ 30 % des éléments et contribue à près de 15 % de la valeur totale.
- **Classe C (éléments de faible importance) :**
  Cette classe comprend environ 50 % des éléments, mais sa contribution ne dépasse pas 5 % de la valeur totale.

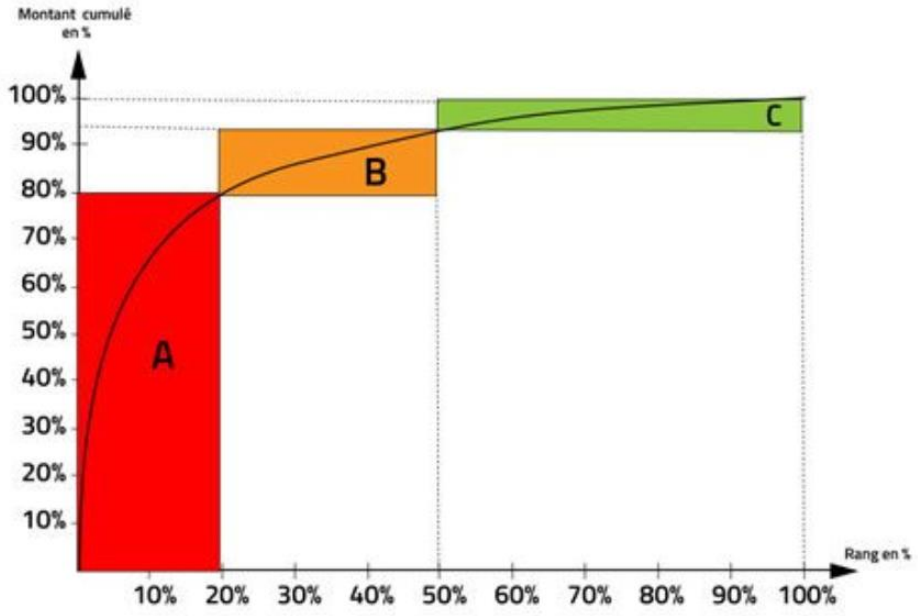


Figure IV. 1 : La courbe de Pareto

IV.5.1 But de la méthode ABC :

Le principal objectif de la méthode ABC est d'identifier et de hiérarchiser les éléments en fonction de leur importance relative, afin d'optimiser la gestion des ressources, le contrôle des coûts et l'efficacité opérationnelle.

Plus précisément, la méthode ABC vise à :

- **Concentrer les efforts sur les éléments stratégiques :**
  En mettant en évidence les 20 % d'éléments (classe A) qui génèrent environ 80 % de la valeur ou des problèmes, la méthode permet de focaliser l'attention et les ressources sur les priorités réelles.
- **Améliorer la prise de décision :**
  En classant les éléments selon leur impact, la méthode facilite une planification plus rationnelle des actions de maintenance, d'approvisionnement, ou de gestion des stocks.
- **Optimiser la gestion des coûts :**
  En réduisant les investissements inutiles dans les éléments de faible importance (classe C) et en allouant les ressources là où elles sont le plus rentables.
- **Réduire les risques et améliorer la performance globale :**
  En anticipant les défaillances critiques et en assurant une meilleure disponibilité des ressources clés.

IV.5.2 Démarche d'application de la méthode ABC :

La méthodologie de la méthode ABC repose sur une série d'étapes structurées permettant de classer les éléments d'un système (produits, machines, clients, etc.) en fonction de leur importance relative. Voici les étapes clés de cette méthodologie [52]:

1. **Définir le critère de classification :**
   La première étape consiste à choisir un critère de classement pertinent. Ce critère peut être basé sur plusieurs facteurs tels que la valeur monétaire, la fréquence des pannes, les coûts de maintenance, les ventes, ou toute autre mesure en fonction des objectifs de gestion**.**
2. **Collecte et analyse des données :**
   Une fois le critère choisi, il est nécessaire de collecter les données concernant chaque élément à analyser. Par exemple, pour un inventaire de produits, il s'agira de rassembler les informations sur les ventes ou les coûts associés à chaque produit.

3. **Classer les éléments** :

   Après la collecte des données, les éléments sont classés selon l'importance du critère choisi. Les éléments qui ont la plus grande valeur (ou qui causent le plus grand nombre de problèmes) sont classés en classe A, ceux de valeur moyenne en classe B, et les éléments de faible valeur en classe C.

4. **Calcul des pourcentages cumulatifs** :

   Un calcul des pourcentages cumulés est effectué pour chaque élément, en fonction de son impact global sur le critère choisi. Cela permet d'avoir une vision claire de la distribution de la valeur ou des problèmes à travers les différentes classes.

5. **Affectation des éléments aux classes :**

   En fonction des pourcentages cumulés, les éléments sont affectés aux différentes classes :

   - **Classe A :** Environ 20% des éléments, mais ils génèrent 80% de l'impact (valeur, coûts, etc.).
   - **Classe B :** Environ 30% des éléments, contribuant à 15% de l'impact.
   - **Classe C :** Environ 50% des éléments, représentant 5% de l'impact.

6. **Analyse et action** :

   Une fois la classification terminée, l'entreprise peut alors focaliser ses efforts sur les éléments de la classe A, qui sont les plus critiques. Les actions de gestion, telles que les interventions de maintenance ou l'optimisation des stocks, seront priorisées en fonction de cette hiérarchisation. [52]

IV.5.3 Importance de la méthode ABC :

- Concentrer les efforts et les ressources sur les éléments ayant l'impact le plus significatif (classe A), garantissant ainsi une gestion plus efficace.
- Améliorer la prise de décision dans les domaines de la maintenance, de la gestion des stocks, de la planification de la production et de la maîtrise des coûts.
- Optimiser l'efficacité opérationnelle et réduire le gaspillage de ressources.

Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter deux approches complémentaires et fondamentales dans la stratégie de maintenance industrielle : l'Abaque de Noiret et la méthode AMDEC (incluant l'AMDEC et l'analyse ABC). L'Abaque de Noiret constitue un outil décisionnel structuré, basé sur des critères techniques, économiques et opérationnels, permettant de juger de la

pertinence d'une maintenance préventive face à une stratégie corrective. Son approche quantitative offre une base rationnelle pour le choix optimal.

En parallèle, la méthode AMDEC intègre une évaluation de la criticité des défaillances selon leur fréquence, gravité et détectabilité, permettant une hiérarchisation claire des risques et des priorités d'intervention. Enfin, l'analyse ABC, fondée sur le principe de Pareto, apporte un éclairage stratégique sur la concentration des efforts de maintenance, en ciblant les équipements les plus influents.

En combinant ces outils, l'entreprise peut bâtir une politique de maintenance plus performante, alignée sur ses objectifs de fiabilité, de sécurité et de rentabilité.

IV.6 Parti pratique

IV.6.1 Introduction

Dans le contexte industriel minier, la gestion et la priorisation des opérations de maintenance sont essentielles pour assurer la disponibilité et la fiabilité des équipements critiques. Les arrêts non planifiés peuvent entraîner des pertes importantes, d'où la nécessité d'évaluer régulièrement l'état et l'importance stratégique des machines.

La méthode de Noiret offre une approche qualitative et quantitative pour évaluer la criticité d'un équipement en se basant sur neuf critères pondérés. Elle permet de mieux cibler les actions de maintenance, en fonction de l'impact technique, économique et organisationnel de chaque machine.

Dans cette étude, cette méthode est appliquée à deux camions de transport de minerai utilisés dans la mine de Djebel Onk (SOMIPHOS – Tébessa) :

Le Terex TRX60 (9 ans d'utilisation),

Le Caterpillar 773F (13 ans d'utilisation).

L'objectif est de comparer leur niveau de criticité afin de proposer des orientations de maintenance adaptées et rationnelles.

IV.6.2 Évaluation de la criticité du Terex TRX60 selon la méthode de Noiret

14Tableau IV. 13 : Évaluation de la criticité du Terex TRX60 selon la méthode de Noiret

Critère	Option choisie	Points
1. Âge	9 ans	54
2. Interdépendance	Matériel essentiel et marche continue	70
3. Coût	150000 ou plus	55

Critère	Option choisie	Points
4. Complexité	Matériel très complexe et accessible	25
5. Robustesse & précision	Travail en surcharge	25
6. Origine	Etranger avec SAV en France	50
7. Utilisation	Marche à 3 postes de travail	250
8. Perte de production	Produits perdus	55
9. Délais	Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Total		734

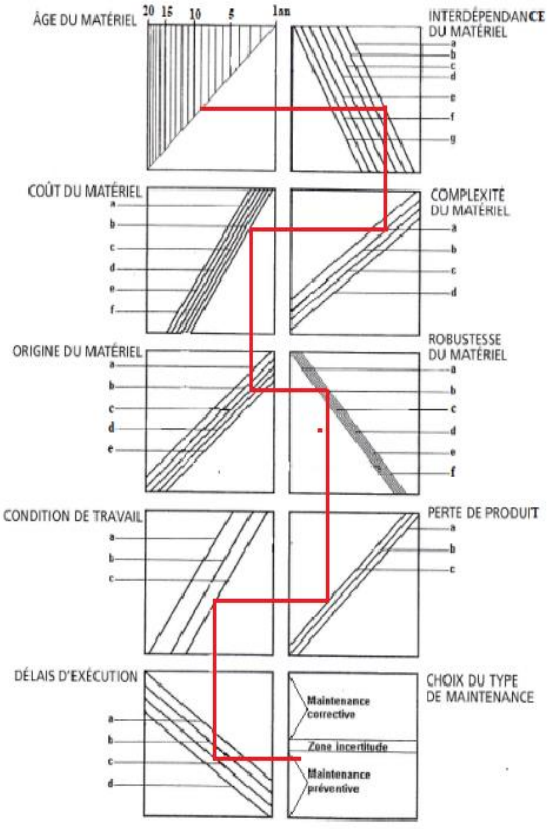


Figure IV. 2 : Le niveau de criticité du Terex TRX60 (Méthode Noiret)

IV.6.3 Évaluation de la criticité du Caterpillar 773F selon la méthode de Noiret

15Tableau IV. 14 : Évaluation de la criticité du Caterpillar 773F selon la méthode de Noiret

Critère	Option choisie	Points
1. Âge	13 ans	38
2. Interdépendance	Matériel essentiel et marche continue	70
3. Coût	150000 ou plus	55
4. Complexité	Matériel très complexe et accessible	25
5. Robustesse & précision	Travail en surcharge	25
6. Origine	Etranger avec SAV en France	50
7. Utilisation	Marche à 3 postes de travail	250
8. Perte de production	Produits perdus	55
9. Délais	Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Total		718

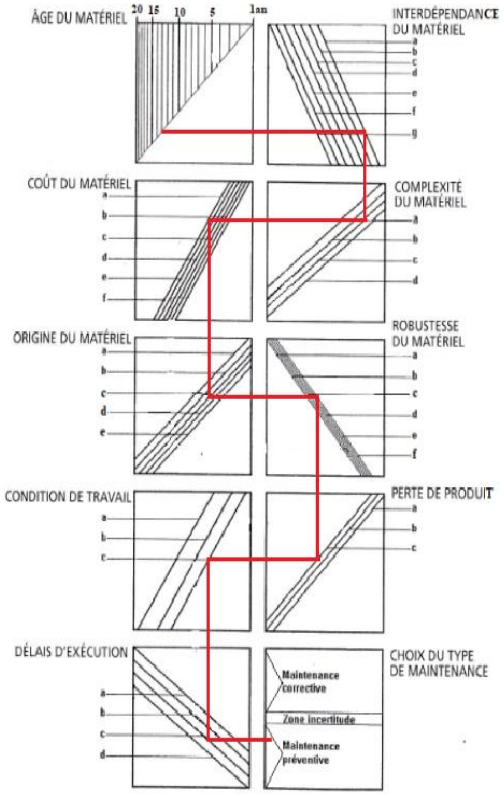


Figure IV. 3 : Le niveau de criticité du Caterpillar 773F (Méthode Noiret)

IV.6.4 Application concrète et conclusion

Sur la base des résultats de l'évaluation selon la méthode Noiret, qui ont révélé des niveaux de criticité élevés pour les deux camions étudiés, les types de maintenance les plus adaptés ont été proposés. Pour le Caterpillar 773F, ayant obtenu 718 points, sa criticité est principalement liée à son ancienneté, malgré sa robustesse et la disponibilité de ses pièces de rechange. Cela justifie la mise en place d'une maintenance préventive renforcée, incluant des inspections régulières et des analyses périodiques des huiles, ainsi qu'une surveillance de l'état des composants critiques. Il est également recommandé d'intégrer certaines techniques de maintenance prédictive afin d'éviter les pannes imprévues.

Quant au Terex TRX60, avec un score de 734 points, il présente un niveau de criticité similaire, en raison de sa robustesse moyenne et de la difficulté d'accès à certaines pièces de rechange. Il est donc conseillé d'adopter une maintenance préventive planifiée, centrée sur une gestion rigoureuse des calendriers d'interventions, en améliorant la gestion des stocks et en assurant la disponibilité anticipée des pièces critiques.

Ces résultats mettent en évidence l'importance d'adapter le type de maintenance aux spécificités de chaque équipement, tout en confirmant la pertinence de la méthode Noiret comme outil d'aide à la décision dans la gestion de la maintenance du parc minier.

IV.6.5 Application AMDEC et ABC sur camion trx60 :

16Tableau IV. 15 : Les gammes camion trx60

Gamme (Heure)	250h	500h	1000h	1500h	2000h	3000h	Nombre opérations	Temp opérations (min)	Temp total (min)
Nombre d'opérations	6	1	1	2	2	1			
Vidange Huile Moteur	60	60	60	60	60	60	13	20	260
Filtre Huile Moteur	Non	1	1	1	1	1	7	10	70
Vidange Transmission	Non	Non	92	Non	92	92	4	35	140
Filtre Transmission	Non	Non	1	Non	1	1	4	15	60
Vidange PTO	Non	Non	Non	4	NON	4	3	10	30
Vidange Différentiel	Non	Non	NON	60	Non	60	3	25	75
Vidange Planétaires	Non	Non	56	56	Non	56	4	22	88
Vidange Hydraulique	Non	Non	Non	Non	250	250	3	40	120
Filtre Hydraulique	Non	Non	2	Non	2	2	4	7	28
Filtre Liquide Refroid.	Non	1	1	1	1	1	7	6	42
Filtre Carburant Secondaire	Non	1	1	1	1	1	7	3	21
Préfiltre Carburant	Non	1	1	1	1	1	7	5	35
Filtre Frein	1	1	1	1	1	1	13	9	117
Filtre Ligne Direction	Non	Non	1	Non	1	1	4	12	48

IV.6.5.1 Application de la méthode ABC sur camion trx60 :

17Tableau IV. 16 : Application de la méthode ABC sur camion trx60

Opérations	Temp (min)	Cumule	Percentage
Vidange Huile Moteur	260	260	22.92768959
Vidange Transmission	140	400	35.27336861
Vidange Hydraulique	120	520	45.85537919
Filtre Frein	117	637	56.17283951
Vidange Planétaires	88	725	63.9329806
Vidange Différentiel	75	800	70.54673721
Filtre Huile Moteur	70	870	76.71957672
Filtre Transmission	60	930	82.01058201
Filtre Ligne Direction	48	978	86.24338624
Filtre Liquide Refroid.	42	1020	89.94708995
Préfiltre Carburant	35	1055	93.0335097
Vidange PTO	30	1085	95.67901235
Filtre Hydraulique	28	1113	98.14814815
Filtre Carburant Secondaire	21	1134	100
Total	1134		

- Pour identifier les opérations les plus importantes, on commence par calculer le temps consacré à chaque opération, puis on les classe par ordre décroissant.
- Ensuite, on additionne le temps consacré à chaque opération de manière cumulative.
- Ensuite, on calcule le pourcentage de chaque opération à l'aide de la formule suivante :

$$pourcentage = \frac{comule * 100}{\text{total}}$$

IV.6.5.2 Application de la méthode AMDEC sur camion trx60 :

18Tableau IV. 17 : Application de la méthode AMDEC sur camion trx60

Opération	Nombre d'opération	Pourcentage de fréquence	F	G	D	C
Vidange Huile Moteur	13	15.66265	4	4	1	16
Vidange Transmission	4	4.819277	1	4	1	4
Vidange Hydraulique	3	3.614458	1	4	1	4
Filtre Frein	13	15.66265	4	1	1	4
Vidange Planétaires	4	4.819277	1	4	1	4
Vidange Différentiel	3	3.614458	1	4	1	4
Filtre Huile Moteur	7	8.433735	2	2	1	4
Filtre Transmission	4	4.819277	1	2	1	2
Filtre Ligne Direction	4	4.819277	1	2	1	2
Filtre Liquide Refroid.	7	8.433735	2	1	1	2
Préfiltre Carburant	7	8.433735	2	1	1	2
Vidange PTO	3	3.614458	1	2	1	2
Filtre Hydraulique	4	4.819277	1	2	1	2
Filtre Carburant Secondaire	7	8.433735	2	1	1	2
Total	83					

- Pour identifier les éléments les plus critiques selon la méthode AMDEC, on commence par calculer le pourcentage conformément à la formule suivante :

$$pourcentage\ de\ friquance = \frac{nombre\ d'operation}{total} * 100$$

- Par la suite, la gravité (G) est évaluée en tenant compte de l'impact potentiel de la défaillance sur le fonctionnement du système, la sécurité des personnes ou la qualité du produit. Cette évaluation se fait selon une échelle préétablie, en lien avec la criticité du mode de défaillance identifié
- La détection est la probabilité qu'un système de contrôle, d'inspection ou de surveillance détecte un mode de défaillance à un stade précoce. Plus la probabilité de détection est faible, plus le risque est élevé
- Ensuite, nous calculons la criticité pour déterminer quelles opérations sont les plus critiques (celles qui doivent être traitées rapidement) selon la formule suivante :

$$C = G * F * D$$

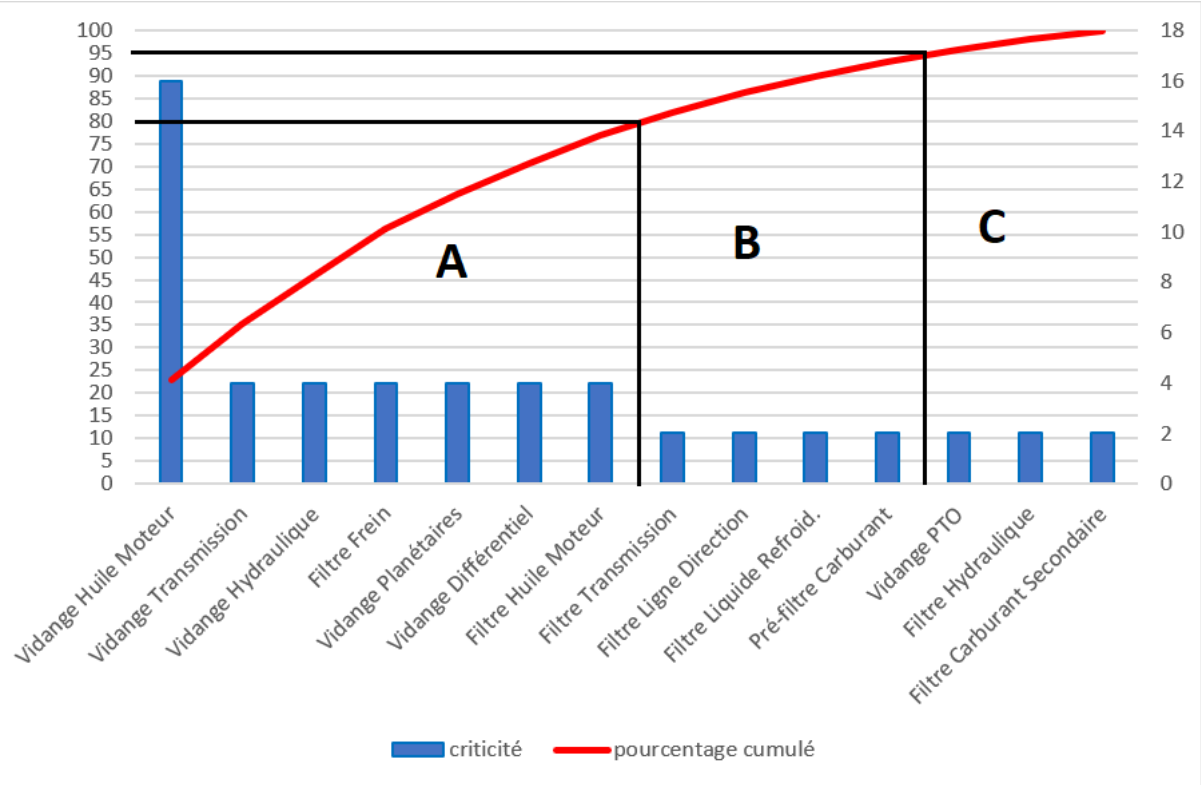


Figure IV. 4 :Les courbe Pareto (ABC) et AMDEC sur camion trx60

Les barres bleues du graphique représentent le nombre ou le degré de fréquence de chaque type d'intervention de maintenance préventive analysée selon la méthodologie AMDEC

Chaque barre bleue correspond à une intervention spécifique de maintenance (par exemple : vidange de l'huile moteur, remplacement du filtre de frein, etc.). La hauteur de la barre indique :

Les points de criticité calculés.

Le graphique est utilisé pour identifier :

Les interventions préventives liées aux composants les plus susceptibles de tomber en panne.

Le niveau d'impact de chaque intervention sur la performance globale de la machine.

Les zones prioritaires à cibler dans le plan de maintenance afin de réduire les défaillances critiques.

Le graphique bleu fournit une vue quantitative de l'importance relative de chaque action de maintenance préventive, telle qu'évaluée par l'analyse AMDEC.

En le combinant avec la courbe de Pareto, il est possible de :

Hiérarchiser les interventions prioritaires,

Orienter les ressources de maintenance vers les actions les plus critiques,

Élaborer un programme de maintenance préventive plus intelligent et plus efficace.

IV.6.5.4 Analyse des catégories (A, B, C) :

Catégorie A (les plus impactantes) :

Elle comprend des interventions telles que : Vidange Huile Moteur (changement d'huile moteur) et Vidange Transmission...

Cette catégorie représente environ 80% des résultats (coûts ou pannes), bien qu'elle ne constitue que 20% des activités.

Ces interventions doivent être considérées comme prioritaires dans le programme de maintenance préventive.

Catégorie B (impact moyen) :

Elle regroupe des éléments ayant un impact moyen, contribuant à la portion entre 80% et 95% des effets.

Ces interventions nécessitent une surveillance régulière, mais elles ne sont pas aussi prioritaires que celles de la catégorie A.

Catégorie C (moins impactantes) :

Les interventions de cette catégorie ont un impact faible, responsables d'une petite portion des résultats (environ 5%).

Elles sont traitées lorsque le temps ou les ressources sont disponibles, et ne constituent pas une priorité.

IV.6.6 Application AMDEC et ABC sur camion Caterpillar773F :

19Tableau IV. 18 : Les gammes camion Caterpillar773F

Gamme (Heures)	250h	500h	1000h	2000h	3000h	4000h	6000h	Nombre d'opération	Temp opération (min)	Temp total (min)
Nombre d'opération	7	5	1	1	1	1	No			
Huile moteur	95	95	95	95	95	95	No	16	20	320
Huile roue AV	No	30	30	30	30	30	No	9	10	90
Huile de benne et frein	No	No	133	133	133	133	No	4	40	160
Huile hyd de direction	No	No	60	60	60	60	No	4	14	56
Huile convertisseur de couple	No	No	19	19	19	19	No	4	7	28
Huile de transmission	No	No	53	53	53	53	No	4	33	132
Huile différentiel (Pont)	No	No	No	No	No	155	No	1	22	22
Filtre a huile moteur	No	1	1	1	1	1	No	9	12	108
Filtre a huile de frein	No	1	1	1	1	1	No	9	5	45
Filtre a carburent primer	No	1	1	1	1	1	No	9	8	72
Filtre a carburent seconder	No	1	1	1	1	1	No	9	6	54
Filtre BV	No	1	1	1	1	1	No	9	11	99
Filtre refoulement au carter de pompe direction	No	1	1	1	1	1	No	9	6	54

Filtre de direction	No	1	1	1	1	1	No	9	11	99

IV.6.6.1Application de la méthodes ABC sur Caterpillar773F :

20Tableau IV. 19 : Application de la méthode ABC sur camion Caterpillar773F

Opération	Temp (min)	Cumul	Pourcentage
Vidange huile moteur	320	320	23.89843167
Vidange huile de benne et frein	160	480	35.8476475
Vidange huile de transmission	132	612	45.70575056
Filtre à huile moteur	108	720	53.77147125
Filtre BV	99	819	61.16504854
Filtre de direction	99	918	68.55862584
Vidange huile roue AV	90	1008	75.28005975
Filtre a carburent primer	72	1080	80.65720687
Vidange huile hyd de direction	56	1136	84.83943241
Filtre a carburent seconder	54	1190	88.87229276
Filtre refoulement au carter de pompe direction	54	1244	92.9051531
Filtre a huile de frein	45	1289	96.26587005
Vidange huile convertisseur de couple	28	1317	98.35698282
Vidange huile différentiel (Pont)	22	1339	100
Total	1339		

- Pour identifier les opérations les plus importantes, on commence par calculer le temps consacré à chaque opération, puis on les classe par ordre décroissant.
- Ensuite, on additionne le temps consacré à chaque opération de manière cumulative.
- Ensuite, on calcule le pourcentage de chaque opération à l'aide de la formule suivante :

$$porsentage = \frac{comule * 100}{\text{total}}$$

IV.6.6.2Application de la méthode AMDEC sur Caterpillar773F :

21Tableau IV. 20 : Application de la méthode AMDEC sur Caterpillar773F

Opération	Nombre d'opération	Pourcentage de fréquence	F	G	D	C
Huile moteur	16	15.23809524	4	4	1	16
Huile de benne et frein	9	8.571428571	2	3	1	6
Huile hyd de direction	9	8.571428571	2	3	1	6
Filtre refoulement au carter de pompe direction	9	8.571428571	2	3	1	6
Filtre a huile de frein	9	8.571428571	2	3	1	6
Huile convertisseur de couple	9	8.571428571	2	3	1	6
Huile différentiel (Pont)	9	8.571428571	2	3	1	6
Filtre a carburent primer	9	8.571428571	2	2	1	4
Filtre a carburent seconder	9	8.571428571	2	2	1	4
Huile de transmission	4	3.80952381	1	3	1	3
Filtre a huile moteur	4	3.80952381	1	3	1	3
Filtre BV	4	3.80952381	1	3	1	3
Filtre de direction	4	3.80952381	1	2	1	2
Huile roue AV	1	0.952380952	1	2	1	2

- Pour identifier les éléments les plus critiques selon la méthode AMDEC, on commence par calculer le pourcentage conformément à la formule suivante :

$$porcentage\ de\ friquance = \frac{nombre\ d'operation}{total} * 100$$

- Par la suite, la gravité (G) est évaluée en tenant compte de l'impact potentiel de la défaillance sur le fonctionnement du système, la sécurité des personnes ou la qualité du produit. Cette évaluation se fait selon une échelle préétablie, en lien avec la criticité du mode de défaillance identifié
- La détection est la probabilité qu'un système de contrôle, d'inspection ou de surveillance détecte un mode de défaillance à un stade précoce. Plus la probabilité de détection est faible, plus le risque est élevé
- Ensuite, nous calculons la criticité pour déterminer quelles opérations sont les plus critiques (celles qui doivent être traitées rapidement) selon la formule suivante :

$$C = G * F * D$$

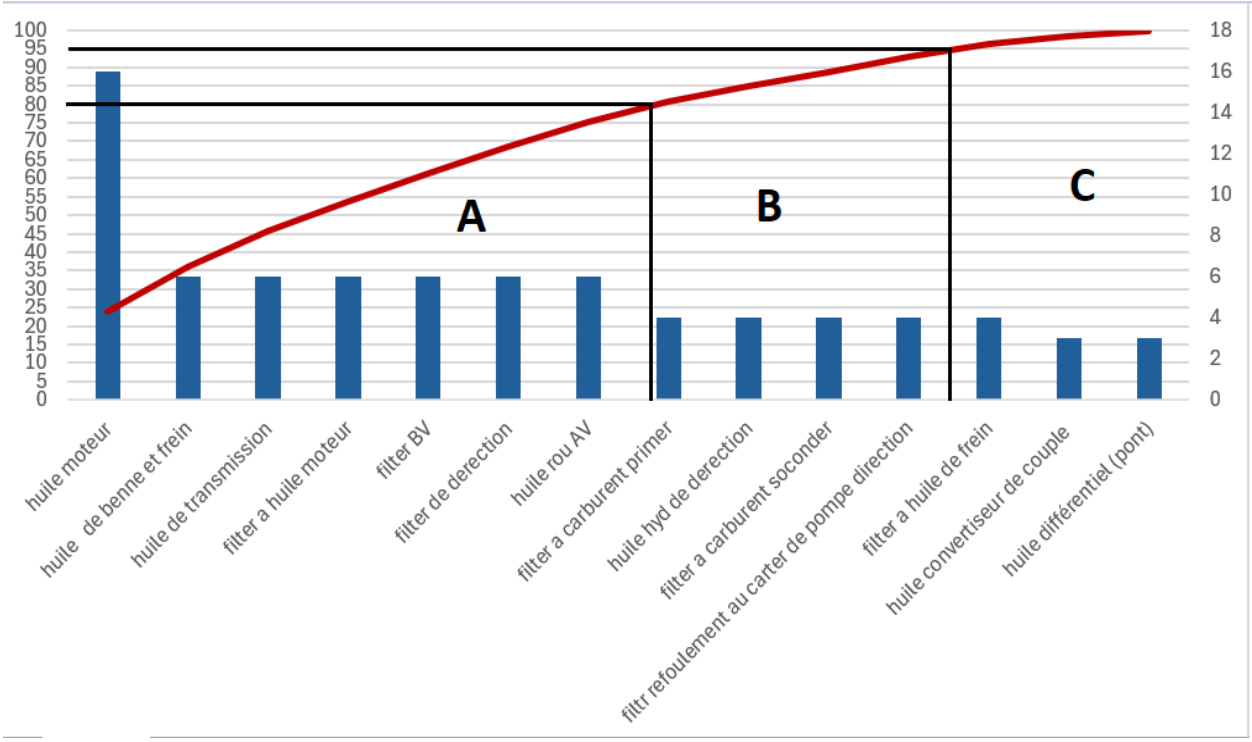


Figure IV. 5 :la courbe de Pareto et AMDEC sur camion Caterpillar773F

Les barres bleues du graphique représentent le nombre ou le degré de fréquence de chaque type d'intervention de maintenance préventive analysée selon la méthodologie AMDEC

Chaque barre bleue correspond à une intervention spécifique de maintenance (par exemple : vidange de l'huile moteur, remplacement du filtre de frein, etc.). La hauteur de la barre indique :

Les points de criticité calculés.

Le graphique est utilisé pour identifier :

Les interventions préventives liées aux composants les plus susceptibles de tomber en panne.

Le niveau d'impact de chaque intervention sur la performance globale de la machine.

Les zones prioritaires à cibler dans le plan de maintenance afin de réduire les défaillances critiques.

Le graphique bleu fournit une vue quantitative de l'importance relative de chaque action de maintenance préventive, telle qu'évaluée par l'analyse AMDEC.

En le combinant avec la courbe de Pareto, il est possible de :

Hiérarchiser les interventions prioritaires,

Orienter les ressources de maintenance vers les actions les plus critiques,

Élaborer un programme de maintenance préventive plus intelligent et plus efficace.

IV.6.6.4 Analyse des catégories (A, B, C) :

Catégorie A (les plus impactantes) :

Elle comprend des interventions telles que : Vidange Huile Moteur (changement d'huile moteur) et Vidange Transmission...

Cette catégorie représente environ 80% des résultats (coûts ou pannes), bien qu'elle ne constitue que 20% des activités.

Ces interventions doivent être considérées comme prioritaires dans le programme de maintenance préventive.

Catégorie B (impact moyen) :

Elle regroupe des éléments ayant un impact moyen, contribuant à la portion entre 80% et 95% des effets.

Ces interventions nécessitent une surveillance régulière, mais elles ne sont pas aussi prioritaires que celles de la catégorie A.

Catégorie C (moins impactantes) :

Les interventions de cette catégorie ont un impact faible, responsables d'une petite portion des résultats (environ 5%).

Elles sont traitées lorsque le temps ou les ressources sont disponibles, et ne constituent pas une priorité.

Conclusion générale

Conclusion générale :

À l'issue de cette étude, il apparaît clairement que la maintenance préventive constitue un levier essentiel pour améliorer la performance des équipements industriels, en particulier dans le secteur minier où les contraintes d'exploitation sont élevées. La disponibilité et la fiabilité des machines sont au cœur des préoccupations des entreprises comme SOMIPHOS, dont l'activité dépend fortement du bon fonctionnement des moyens de production, notamment les engins de transport et d'extraction.

Le travail réalisé a permis d'analyser de manière approfondie les pratiques actuelles de maintenance au sein de l'unité étudiée, d'identifier les principales faiblesses organisationnelles et techniques, et de proposer des pistes concrètes d'amélioration. En mettant l'accent sur la maintenance préventive, ce mémoire a souligné l'importance de la planification des interventions, du suivi rigoureux des équipements, et de la collecte de données fiables pour anticiper les défaillances.

L'intégration d'outils méthodologiques comme la méthode Noiret et l'analyse multicritère AMDEC a permis de hiérarchiser les priorités d'intervention de manière plus objective et structurée. Ces outils offrent aux responsables de maintenance des moyens efficaces pour optimiser les ressources, réduire les arrêts imprévus, et orienter les décisions en fonction de critères techniques et économiques bien définis.

Ce travail ouvre également des perspectives intéressantes pour l'avenir. L'utilisation des technologies numériques (capteurs IoT, systèmes GMAO, intelligence artificielle) pourrait enrichir davantage les stratégies de maintenance en rendant les systèmes plus intelligents, plus prédictifs, et plus adaptés aux réalités du terrain. De même, le développement des compétences du personnel, à travers des formations ciblées, s'avère indispensable pour accompagner cette évolution.

En conclusion, cette contribution vise à renforcer la culture de la maintenance préventive au sein de SOMIPHOS et à encourager une démarche d'amélioration continue, essentielle pour garantir la durabilité, la sécurité et l'efficacité des opérations minières dans un contexte industriel de plus en plus exigeant.

Bibliographie

[1] Benrabah M., La maintenance industrielle, Editions Universitaires Européennes, 2018.

[2] Dhillon B. S., Engineering Maintenance: A Modern Approach, CRC Press, 2002.

[3] NF EN 13306 :2018, Maintenance - Terminologie, AFNOR, 2018.

[4] Bouyssou D., Gestion de la maintenance industrielle, Dunod, 2015.

[5] Ghodrati B., Maintenance Performance: Critical Analysis and Measurement, Luleå University of Technology, 2005.

[6] Moubray J., Reliability-centered Maintenance, Industrial Press Inc., 2001.

[7] Smith A.M., Hinchcliffe G., RCM - Gateway to World Class Maintenance, Elsevier, 2004.

[8] Pintelon L., Parodi-Herz A., Maintenance Management in Network Utilities, Springer, 2008.

[9] Kaffel N., Organisation et gestion de la maintenance, Éditions Cépadues, 2001.

[10] Blanchard B. S., Logistics Engineering and Management, Prentice Hall, 1998.

[11] Bouzidi M., Fondements de la maintenance préventive, Éditions Techniques Algériennes, 2021.

[12] Ait Ahmed L., Maintenance industrielle: stratégie et pratique, ENP Editions, 2019.

[13] NF EN 13306:2018, Maintenance - Terminologie, AFNOR.

[14] Gharbi A., Maintenance conditionnelle et fiabilité, Université de Tizi-Ouzou, 2020.

[15] Djelloul R., Techniques modernes de maintenance prédictive, Centre de publication universitaire, 2022.

[16] Haddad Y., Gestion de la maintenance, CNERIB, 2017.

[17] Nait A., Surveillance et contrôle en maintenance, Publications universitaires de Béjaïa, 2018.

[18] Merouani K., Organisation des services de maintenance, Éditions ENSTP, 2020.

[19] Bensaid M., Ingénierie de la maintenance, USTHB Press, 2019.

[20] Tlemcani H., GMAO et productivité industrielle, CRMEF, 2016.

[21] Rezig A., Fiabilité des systèmes industriels, Ed. Université Constantine, 2021.

[22] ISO 9001:2015 et Méthode Six Sigma, Guide Qualité, 2020.

[23] Boulahrouf Z., Formation continue et performance, Institut National de la Maintenance, 2020.

[24] Bouterfa M., Planification industrielle et optimisation, Éditions SétifTech, 2018.12:26

[25] B. Dupont, "Les systèmes de transport dans les mines modernes", Revue de l'Industrie Minière, vol. 12, pp. 45–52, 2019.

[26] M. Renard, "Technologies avancées en exploitation minière", Techniques & Méthodes, vol. 15, pp. 78–84, 2021.

[27] J. Morel, "Chargement et transport dans les mines à ciel ouvert", Manuel Pratique de l'Ingénieur Minier, Éditions TechnoPress, 2022.

[28] P. Laurent, "Optimisation des cycles de production dans les mines", Revue Minérale, vol. 17, pp. 63–71, 2021.

[29] R. Garnier, "Choix des équipements miniers", Techniques de l'Ingénieur, vol. 19, pp. 22–28, 2020.

[30] L. Bertrand, "Typologie des engins miniers", Ouvrage de Technologie Minière, Éd. AtlasMine, 2023.

[31] D. Martin, "Utilisation des chargeuses en contexte minier", MinéoTech, vol. 14, pp. 52–59, 2022.

[32] J.-M. Renaud, "Performance des chargeuses", Technologie Minérale, vol. 11, pp. 37–43, 2021.

[33] T. Blanc, "Pelles hydrauliques : choix et application", Ingénierie Minière, vol. 20, pp. 61–69, 2023.

[34] G. Faure, "Les pelles à câbles : efficacité et robustesse", Mémoire d'Exploitations Minières, 2021.

[35] S. Keller, "Draglines dans l'extraction charbonnière", Atlas Minier International, 2020.

[36] J. Richard, "Transport minier moderne", Manuel des Exploitations, Éditions Terra, 2021. [37] L. Picard, "Optimisation du cycle des transporteurs", Mines & Logistique, 2023.

[38] V. Gautier, "Critères de choix des équipements", Engineering Minier, vol. 12, pp. 49–55, 2022.

[39] R. Lambert, "Typologie des engins de transport minier", Institut du Transport Minier, 2021. [40] B. Tessier, "Convoyeurs à bande : fonctionnement et utilisation", Manuel Pratique, 2023. [41] A. Leroy, "Avantages du transport par bande", Journal des Mines, 2022.

[42] N. Deschamps, "Transport discontinu dans les exploitations minières", Mines & Techniques, 2023.

[43] C. Mercier, "Anatomie technique des camions miniers", Cahiers Techniques du Matériel Lourd, 2020.

[44] M. Lambert, "Avantages et inconvénients des camions de transport", Transport & Performance, 2021.

[45] E. Briand, "Choisir le bon camion minier", Sélection Industrielle, 2022.

[46] R. Millet, "Coordination des phases de chargement et transport", Planification Minière, 2023.

[47] Noiret, J., "Méthodes d'analyse de maintenance", Éditions Techniques, 2009.

[48] Bernard, L., "Optimisation des choix stratégiques en maintenance", Revue Génie Industriel, vol. 15, 2018.

[49] Durand, C., "Fiabilité des équipements et gestion des risques", AFNOR, 2020.

[50] Lemoine, S., "Méthodologies pondérées en maintenance", Cahiers Techniques, vol. 10, 2019.

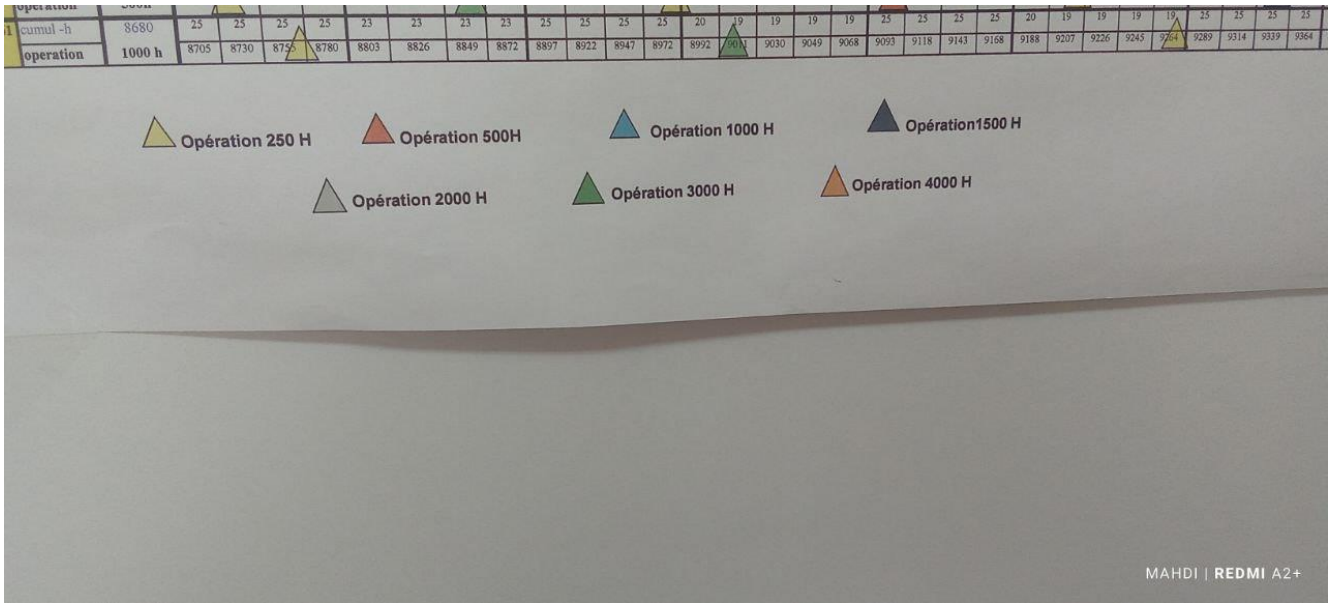
[51] Michel, A., "Approche combinée pour une maintenance intelligente", Techniques & Méthodes Industrielles, vol. 19, 2022.

[52] Pareto, V., "Application du principe 80/20 en maintenance", Journal Maintenance Stratégique, 2021.

LES ANNEXES

1 Plan de maintenance préventive 2024/2025 :





Gamme d'entretien dumper cat 773F :

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF				P24-443	Société	SOMIPHOS
					Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR
8667	**250 h**	Dumper CAT 773 F	**593**	17/10/2024	Service	BPM

Travaux à effectuer		Observations
-Laver la machine		
-Vidanger l'huile Moteur		
-Vidanger le filtre a carburant primaire (séparateur d'eau)		
-Graisser les Paliers d'articulation de benne		
-Graisser le système de graissage centralise		
-Graisser les tiges des cylindres de suspension avant		
-Graisser les Paliers des vérins de benne		
-Graisser le Palier de châssis en A d'essieu arrière		
-Graisser les Paliers des cylindres de suspension arrière		
-Graisser les Paliers des vérins de direction		
-Graisser les barres d'accouplt de direction et coussinets d'axe		
-Nettoyer les filtresa air du climatiseur et cabine		
-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air		
-Nettoyer le pré filtre a air du Moteur		
-Nettoyer le tamis (refroidisseur d'huile de freins)		
-Nettoyer le tamis (réservoir de benne et de freins)		
-Nettoyer le filtre d'aspiration (reprise du converti. de couple)		
-Nettoyer le châssis et sabots de benne		
-Vérifier le niveau d'huile moteur		
-Vérifier le niveau d'huile différentiel /réducteurs		
-Vérifier le niveau d'huile du convert.de couple / transmission		
-Vérifier le niveau de liquide de refroidissement		
-Vérifier le niveau d'huile du réservoir de benne et de frein		
-Vérifier le niveau d'huile du circuit de direction		
-Contrôler les jantes des roues		
-Contrôler les bouchons magnétiques de roues		
-Contrôler le gonflage des pneus		

Fait par	Temps	compteur	Visa SCE ENT.PREV.	Visa SCE BPM

	N° 22-096	Société	SOMIPHOS

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF					Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR
168	**500 h**	Dumper CAT 773 F	**577**	04/03/2020	Service	BPM

Travaux à effectuer		Observations
-Laver la machine		
-Vidanger l'huile Moteur		
-Remplacer les filtres a huile Moteur		
-Vidanger le filtre a carburant primaire (séparateur d'eau)		
-Graisser les Paliers d'articulation de benne		
-Graisser le système de graissage centralise		
-Graisser les tiges des cylindres de suspension avant		
-Graisser les Paliers des vérins de benne		
-Graisser le Palier de châssis en A d'essieu arrière		
-Graisser les Paliers des cylindres de suspension arrière		
-Graisser les Paliers des vérins de direction		
-Graisser les barres d'accouplt de direction et coussinets d'axe		
-Nettoyer les filtresa air du climatiseur et cabine		
-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air		
-Nettoyer le pré filtre a air du Moteur		
-Nettoyer le tamis (refroidisseur d'huile de freins)		
-Nettoyer le tamis (réservoir de benne et de freins)		
-Nettoyer le filtre d'aspiration (reprise du converti. de couple)		
-Nettoyer le châssis et sabots de benne		
-Vérifier le niveau d'huile moteur		
-Vérifier le niveau d'huile différentiel /réducteurs		
-Vérifier le niveau d'huile du convert.de couple / transmission		
-Vérifier le niveau de liquide de refroidissement		
-Vérifier le niveau d'huile du réservoir de benne et de frein		
-Vérifier le niveau d'huile du circuit de direction		
-Contrôler les jantes des roues		
-Contrôler les bouchons magnétiques de roues		
-Contrôler le gonflage des pneus		

Fait par	Temps	compteur	Visa SCE ENT.PREV.	Visa SCE BPM

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF	N° 16-	Société	SOMIPHOS
		Unité	Maintenance

DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR
	1000 h	Dumper CAT 773 F			Service	BPM

Travaux à effectuer		Observations
-Laver la machine		

Fait par	Temps	compteur	Visa SCE ENT.PREV.	Visa SCE BPM

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF				N° 16-	Société	SOMIPHOS
					Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR

	2000 h	*Chargeuse HITACHI ZW310*	**622**		*Service*	*BPM*

Travaux à effectuer		*Observations*
-Laver la machine		
-Vidanger l'huile Moteur et remplacer les filtres		
-Remplacer le filtre a carburant principal et le pré-filtre		
-Vidanger l'huile de transmission et remplacer le filtre		
-Vidanger l'huile d'essieux avant et arrière		
-Remplacer le filtre a huile du réservoir hydraulique		
-Graisser l'axe de godet et l'axe de biellette de godet		
-Graisser l'axe de vérin de godet		
-Graisser l'axe de levier coudé		
-Graisser l'axe de vérin de bras de levage		
-Graisser l'axe de pivot de vérin de bras de levage		
-Graisser l'axe de vérin de direction		
-Graisser l'axe de tige de vérin de direction		
-Graisser l'axe de support d'essieu		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission avant		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission central		
-Graisser la cannelure d'arbre de transmission central		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission arrière		
-Graisser la cannelure d'arbre de transmission arrière		
-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air		
-Nettoyer le filtre a air du climatiseur		
-Nettoyer le reniflard du carter d'essieux		
-Nettoyer la crépine d'huile de transmission		
-Nettoyer le reniflard du convertisseur de couple		
-Nettoyer le filtre tamis de pope électromagnétique carburant		
-Nettoyer le filtre d'aspiration		
-Vérifier le niveau d'huile moteur		
-Vérifier le niveau d'huile de transmission		
-Vérifier le niveau d'huile hydraulique		
-Vérifier le niveau de liquide de refroidissement		
-Contrôler l'état des pneus		
-Contrôler la pression des pneus		
-Contrôler le couple de serrage des boulons de roue		

Fait par	*Temps*	*compteur*	*Visa SCE ENT.PREV.*	*Visa SCE BPM*

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF				N° 16-	*Société*	*SOMIPHOS*
					Unité	*Maintenance*
DI N°	*Gamme*	*Engin*	*N°*	*Date*	*Division*	*DEMR*
	4000 h	*Chargeuse HITACHI ZW310*	**622**		*Service*	*BPM*

Travaux à effectuer		*Observations*
-Laver la machine		
-Vidanger l'huile Moteur et remplacer les filtres		
-Remplacer le filtre a carburant principal et le pré-filtre		
-Vidanger l'huile de transmission et remplacer le filtre		
-Vidanger l'huile d'essieux avant et arrière		
-Vidanger l'huile du circuit hydraulique		
-Remplacer le filtre à huile pilote		
-Remplacer le filtre a huile du réservoir hydraulique		
-Remplacer le liquide de refroidissement		
-Graisser l'axe de godet et l'axe de biellette de godet		
-Graisser l'axe de vérin de godet et l'axe de levier coudé		
-Graisser l'axe de vérin de bras de levage		
-Graisser l'axe de pivot de vérin de bras de levage		
-Graisser l'axe de vérin de direction		
-Graisser l'axe de tige de vérin de direction		
-Graisser l'axe de support d'essieu		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission avant		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission central		
-Graisser la cannelure d'arbre de transmission central		
-Graisser le joint de cardan d'arbre de transmission arrière		
-Graisser la cannelure d'arbre de transmission arrière		
-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air		
-Nettoyer le filtre a air du climatiseur		
-Nettoyer le reniflard du carter d'essieux et convert.de couple		
-Nettoyer la crépine d'huile de transmission		
-Nettoyer le filtre d'aspiration hydraulique		
-Nettoyer le filtre tamis de pope électromagnétique carburant		
-Vérifier le niveau d'huile moteur, transmission et HYD.		
-Vérifier le niveau de liquide de refroidissement		
-Contrôler la pression des pneus		
-Contrôler le couple de serrage des boulons de roue		

Fait par	*Temps*	*compteur*	*Visa SCE ENT.PREV.*	*Visa SCE BPM*

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF				N° 16-	Société	SOMIPHOS
					Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR
	250 h	Chargeuse HITACHI ZW310	**622**		Service	BPM

Travaux à effectuer		Observations
-Vérifier la courroie de ventilateur		
-Vérifier l'étanchéité des flexibles et des conduites		
-Vérifier l'absence de fissures, plis, sur les flexibles et conduites		
-Vérifier l'état des flexibles de carburant (fuites, fissures, etc.)		
-Vérifier le fonctionnement l'asservissement des freins droit et g.		
-Vérifier la force du frein de stationnement		
-Vérifier les dents et la lame du godet		
-Vérifier la ceinture de sécurité (remplacement- tous les 3 ans)		
-Vérifier la cabine ROPS, boulons de fixation toit		
-Vérifier le jeu dans la course du volant		
-Vérifier le fonctionnement de la pédale d'accélérateur		
-Vérifier les rétroviseurs extérieur et intérieur		

Fait par	Temps	compteur	Visa SCE ENT.CH.EXT.	Visa SCE BPM

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF				N° 16-	Société	SOMIPHOS
					Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N°	Date	Division	DEMR
	250 h	Chargeuse HITACHI ZW310	**622**		Service	BPM

Travaux à effectuer		Observations

Fait par	Temps	compteur	Visa SCE RENOVATION	Visa SCE BPM

Gamme d'entretien dumper TEREX TR 60 :

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF							Société	SOMIPHOS
							Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concerné	Date	Gamme N°	Division	DEMR
8050	250 h	Dumper TEREX TR60	806	Entretien préventif	01/04/2025	P25-122	Service	BPM

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
Vidange	-Vidangez - l'huile Moteur-.			-Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement	
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière			-Vérifiez l'état des pneus	
	-Lubrifiez les cylindres de direction			-Contrôlez les pressions des pneus	
	-Lubrifiez la timonerie de direction			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Vérifiez le niveau du réservoir supérieur. radiateur. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayan en option			-Vérification les goujons des roues avant et arrière (serrage).	
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage			- commandes instruments et témoins : vérifier leur bon fonctionnement	
				-inspection générale : vérifier l'absence de fuite et de pièces / endommages ; réparer /remplacer si nécessaire	
Nettoyage	-Nettoyez le renifiard du carter moteur			Ventilateur carter de vilebrequin moteur : nettoyer	
	-Nettoyez le renifiard du différentiel			Courroies d'entrainement alternateur : vérifier	
	-Nettoyez l'aérateur de transmission			Garnitures de frein avant : versifierl'usure, remplacer si NESS	
	-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air			-Courroies d'entrainement –inspecter(remplacer si nécessaire).	
Vérification	-Vérifiez le niveau d'huile moteur. Ajoutez si bas			- frein avant vérifier les plaquettes et les disques	
	Vérins avant et arrière : inspecter visuellement les hauteurs			- inspecter les ceintures de sécurité	
	Courroies d'entrainement : inspecter visuellement toutes les courroies			-Batteries et casses –vérifier + Eclairage	
	-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas			-Essuie-glace et lave-glace –vérifier.	
	-Vérifiez le niveau du réservoir hydraulique principal. Ajoutez si bas			-Ecrous de jante –vérifier	
	Ventilateur de refroidissement : rechercher visuellement tous débris ou dommage.				
	Soupapes vacuateur du filtre à air : vérifier leur bon fonctionnement				

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF							Société	SOMIPHOS
							Unité	Maintenance
DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concernée	Date	Gamme N°	Division	DEMR
8527	500 h	Dumper TEREX TR60	598	Entretien préventif	25/10/2024	P24-461	Service	BPM

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile moteur. Ajoutez si bas	
Vidange	-Vidangez l'huile Moteur et Remplacez les filtres			-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le filtre de liquide de refroidissement.			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Remplacez les filtres à carburant secondaire			-Vérifiez le niveau du réservoir supé. radiateur. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le pré-filtre de carburant				
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez les cylindres de direction			-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la timonerie de direction			-Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement	
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			-Vérifiez l'état des pneus	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			-Contrôlez les pressions des pneus	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayan en option			-Courroies d'entrainement –inspecter(remplacer si nécessaire).	
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage			- frein avant vérifier les plaquettes et les disques	
	-Lubrifiez les cardans de l'arbre de transmission.			- inspecter les ceintures de sécurité	
	-Lubrifiez les joints de glissement de l'arbre de transmission.			-Batteries et casses –vérifier	
	-Lubrifiez les joints universels de la colonne de direction.			-Essuie-glace et lave-glace –vérifier.	
				-Ecrous de jante –vérifier	
Nettoyage	-Nettoyez le renifiard du carter moteur				
	-Nettoyez le renifiard du différentiel				
	-Nettoyez l'aérateur de transmission				
	-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air				
	-Nettoyez le tamis et le capuchon du réservoir de carburant		VISA SCE BPM	Intervenant / Temps	H.Compteur / VISA SCE ENT-PREV
	-Nettoyez l'épurateur d'air tubes primaire et les filtres d'admission				Chef section
	-Nettoyez le renifiard du réservoir hydraulique				
	-Nettoyez le renifiard du réservoir direction.				

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF

Société	SOMIPHOS
Unité	Maintenance
Division	DEMR
Service	BPM

DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concernée	Date	Gamme N°
8666	1000 h	Dumper TEREX TR60	808	Entretien préventif	18/10/2024	P24-442

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile moteur. Ajoutez si bas	
Vidange	-Vidangez l'huile Moteur et Remplacez les filtres			-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas	
	-Vidanger l'huile transmissionet Remplacez les filtres			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le filtre de liquide de refroidissement.			-Vérifiez le niveau du réservoir supé. radiateur. Ajoutez si bas	
	-Remplacez les filtres à carburant+ pré filtre			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
	-Remplacez les filtres hydrauliques + filtre du frein a disque arrière.			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Remplacez filtre en ligne de direction			-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant			-Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement	
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Lubrifiez les cylindres de direction			-Vérifiez l'état des pneus	
	-Lubrifiez la timonerie de direction			-Contrôlez les pressions des pneus	
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Courroies d'entrainement –inspecter(remplacer si nécessaire).	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			- frein avant vérifier les plaquettes et les disques	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			- inspecter les ceintures de sécurité	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayon en option			-Batteries et casses –vérifier	
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage			-Essuie-glace et lave-glace –vérifier.	
	-Lubrifiez les cardans de l'arbre de transmission.			-Ecrous de jante –vérifier	
	-Lubrifiez les joints de glissement de l'arbre de transmission.				
	-Lubrifiez les joints universels de la colonne de direction.				
Nettoyage	-Nettoyez le renifiard du carter moteur				
	-Nettoyez le renifiard du différentiel				
	-Nettoyez l'aérateur de transmission				
	-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air				
	-Nettoyez le tamis et le capuchon du réservoir de carburant				
	-Nettoyez l'épurateur d'air tubes primaire et les filtres d'admission				
	-Nettoyez le renifiard du réservoir hydraulique				
	-Nettoyez le renifiard du réservoir direction.				

VISA SCE BPM	Intervenant	Temps	H.Compteur	VISA SCE RENOVATION
				Chef section

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF

Société	SOMIPHOS
Unité	Maintenance
Division	DEMR
Service	BPM

DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concernée	Date	Gamme N°
8487	1500 h	Dumper TEREX TR60	805	Entretien préventif	12/09/2024	P24-395

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine.		Nettoyage	-Nettoyez le tamis et le capuchon du réservoir de carburant	
Vidange	-Vidangez l'huile Moteur et Remplacez les filtres.			-Nettoyez l'aérateur de transmission	
	-Vidangez l'huile la prise de force Moteur.			-Nettoyez le renifiard du réservoir hydraulique	
	-Vidangez l'huile du différentiel (pont)			-Nettoyez le renifiard du réservoir direction.	
	-Vidangez l'huile des planétaires de roues.		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile moteur. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le filtre de liquide de refroidissement.			-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas	
	-Remplacez les filtres à carburant secondaire.			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le pré-filtre de carburant.			-Vérifiez le niveau du réservoir supé. radiateur. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le renifiard du carter Moteur.			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant.			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière.			-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez les cylindres de direction			-Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement	
	-Lubrifiez la timonerie de direction			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Vérifiez l'état des pneus	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			-Contrôlez les pressions des pneus	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			-Courroies d'entrainement –inspecter(remplacer si nécessaire).	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayon en option			- frein avant vérifier les plaquettes et les disques	
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage			- inspecter les ceintures de sécurité	
	-Lubrifiez les cardans de l'arbre de transmission.			-Batteries et casses –vérifier	
	-Lubrifiez les joints de glissement de l'arbre de transmission.			-Essuie-glace et lave-glace –vérifier.	
	-Lubrifiez les joints universels de la colonne de direction.			-Ecrous de jante –vérifier	
	-Lubrifiez le bras du pivot de pignon intermédiaire du ventilateur				
Nettoyage	-Nettoyez le renifiard du différentiel				
	-Nettoyez l'épurateur d'air tubes primaire et les filtres d'admission				
	-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air				

VISA SCE BPM	Intervenant	Temps	H.Compteur	VISA SCE ENT-PREV
				Chef section

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF

Société	SOMIPHOS
Unité	Maintenance
Division	DEMR
Service	BPM

DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concernée	Date	Gamme N°
7079	2000 h	Dumper TEREX TR60	804	Entretien préventif	21/04/2024	P24-169

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine		Nettoyage	-Nettoyez l'aérateur de transmission	
Vidange	-Vidangez l'huile Moteur et Remplacez les filtres			-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air	
	-Vidanger l'huile transmissionet Remplacez les filtres			-Nettoyez le tamis et le capuchon du réservoir de carburant	
	-Vidangez l'huile du réservoir hydraulique principal			-Nettoyez le reniflard du réservoir hydraulique	
	-Vidangez l'huile du réservoir de direction			-Nettoyez le reniflard du réservoir direction.	
	-Remplacez le filtre du réservoir hydraulique de direction			-Nettoyez le tamis d'aspiration du réservoir hydraulique principal	
	-Remplacez le filtre de liquide de refroidissement si nécessaire			-Nettoyez le tamis d'aspiration du réservoir de direction	
	-Remplacez les filtres à carburant+ pré filtre		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas	
	-Remplacez les filtres hydrauliques + filtre du frein a disque arrière.			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Remplacez filtre en ligne de direction			-Vérifiez le niveau du réservoir supé. radiateur. Ajoutez si bas	
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez les cylindres de direction			-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
	-Lubrifiez la timonerie de direction			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Vérifiez l'état des pneus- Contrôlez les pressions des pneus	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			-Courroies d'entrainement –inspecter(remplacer si nécessaire).	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			- frein avant vérifier les plaquettes et les disques	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayon en option			- Eclairages - Contrôle	
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage			- inspecter les ceintures de sécurité	
				-Batteries ; cosses – câblages –vérifier	
	-Lubrifiez les cardans de l'arbre de transmission.			-Essuie-glace et lave-glace –vérifier.	
	-Lubrifiez les joints de glissement de l'arbre de transmission.			-Ecrous de jante –vérifier	
	-Lubrifiez les joints universels de la colonne de direction.		VISA SCE BPM	Intervenant / Temps	H.Compteur / VISA SCE INT.CH.EXT
Nettoyage	-Nettoyez le reniflard du carter moteur				Chef section
	-Nettoyez le reniflard du différentiel				
	-Nettoyez l'épurateur d'air tubes primaire et les filtres d'admission				

GAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF

Société	SOMIPHOS
Unité	Maintenance
Division	DEMR
Service	BPM

DI N°	Gamme	Engin	N° Interne	Service concernée	Date	Gamme N°
8502	3000 h	Dumper TEREX TR60	804	Entretien préventif	23/09/2024	P24-410

Operations	Travaux à effectuer		Operations	Travaux à effectuer	
Lavage	-Lavez la machine		Vérification et Contrôle	-Vérifiez le niveau d'huile moteur. Ajoutez si bas	
Vidange	-Vidangez l'huile Moteur et Remplacez les filtres			-Vérifiez le niveau d'huile de transmission. Ajoutez si bas	
	-Vidanger l'huile transmissionet Remplacez les filtres			-Vérifiez le niveau du réservoir hyd. de direction. Ajoutez si bas	
	-Vidangez l'huile de la prise de force Moteur.			-Vérifiez le niveau du réservoir supé. radiateur. Ajoutez si bas	
	-Vidangez l'huile du différentiel (pont)			-Vérifiez le niveau d'huile de prise de force moteur. Ajoutez si bas	
	-Vidangez l'huile hydraulique + réservoir de la direction			-Vérifiez le niveau d'huile du différentiel. Ajoutez si bas	
	-Vidangez l'huile des planétaires de roues.			-Vérifiez le niveau d'huile des planétaires de roues. Ajoutez si bas	
	-Remplacez le filtre de liquide de refroidissement si nécessaire			-Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement	
	-Remplacez les filtres à carburant+ pré filtre			-Vérifiez l'indicateur du filtre de frein, remplacez si nécessaire	
	-Remplacez les filtres hydrauliques + filtre du frein a disque arrière.			-Vérifiez l'état des pneus	
	-Remplacez filtre en ligne de direction			-Contrôlez les pressions des pneus	
Graissage	-Lubrifiez les cylindres des amortisseurs avant				
	-Lubrifiez la douille sphérique du cylindre amortisseur arrière				
	-Lubrifiez les cylindres de direction				
	-Lubrifiez la timonerie de direction				
	-Lubrifiez la goupille de pivot de direction			-Nettoyez l'épurateur d'air tubes primaire et les filtres d'admission	
	-Lubrifiez la douille sphérique du nez de triangle "CHASSIS" en A			-Nettoyez le reniflard du réservoir hydraulique	
	-Lubrifiez la goupille sphérique du stabilisateur de banjo			-Nettoyez le reniflard du réservoir direction.	
	-Lubrifiez les goupilles à charnières de la benne/hayon en option				
	-Lubrifiez les douilles des vérins de levage				
	-Lubrifiez les cardans de l'arbre de transmission.				
	-Lubrifiez les joints de glissement de l'arbre de transmission.				
	-Lubrifiez les joints universels de la colonne de direction.				
Nettoyage	-Nettoyez le reniflard du carter moteur+ Nettoyez le reniflard du différentiel				
	-Nettoyez l'aérateur de transmission				
	-Nettoyer l'élément primaire et secondaire du filtre a air				

Filtration des engines de carrière 2025 :

DUMPERS CAT 773F				
Nomenclature	Désignation			Q
210739904	SECONDARY FILTRE 246 5010			93
210739905	PRIMARY FILTRE 246 5009			169
210739906	ELEMENT CLIMATIS 268 6704 SC90009			15
210739908	RENIFLARD BV 9C 4937			4
210739909	ELEMENT CLIMATIS 259 3222			6
210739921	RENIFLARD 9T 1119			19
210749902	FILTRE A HUILE MOTEUR 1R1808			97
210749907	FILTRE DIRECTION 144 0832			105
210749908	RENI FLARD 9C 4937			0
210749913	FILTRE A AIR 107-0266			31
210749915	FILTRE A GAS OIL P 3261644			103
210749916	FILTRE A GAS OIL S 1R0755			123
210749917	FILTRE A HUILE BV 328-3655			131
210749918	FILTRE DIRECTION 126-1813			130
210749919	FILTRE A HUILE HYDR 134-0964			61
210749920	FILTRE CABINE 149-1912			80
210749921	RENIFLARD 294-2090			37
210749922	JOINT FILTRE HYD 194 7986			62
210749923	FIL A AIR 175 2841			19

DUMPERS TEREX TR60				
Nomenclature	Désignation			Q
211569900	FILTRE A CARBURANT 10315503185	1		89
211569901	ELEMENT FUEL FIL 103 15503187	2		141
211569902	FILTRE LUBE OIL 10315275439	2		97
211569903	ELEMENT COOLANT 10315503337	1		73
211569904	ELEMENT MAIN 10315270188	2		52
211569905	ELEMENT SAFETY 10315270189	2		83
211569906	ELEMENT 10315270496	1		26
211569908	ELEMENT 103 15265318	1		6
211569909	KIT ELEMENT 103 09038953	1		40
211569910	ELEMENT ET CAP 103 15504915	1		54
211569911	FILTRE 103 15270794	1		17
211569912	ELEMNT AIR FILT 103 15501105	1		116
211569913	FILTRE A HUILE 103/15505542	1		0

211569914	FILTRE GB A HUILE 103/15505685	1		12
211569915	FILTRE GB A HUILE 103/15505692	1		28
211569916	FILTRE GB FULE 103/15505687	1		0
211569917	FILTRE GB A HUILE 103/15505686	1		6
211569918	FILTRE HYDRAULIQUE BV SH66359	1		21
211569920	RENIFLARD GASOIL 15503046	1		12
211569921	RENIFLARD HYD15246949	1		8
211569922	RING REF:09250686			0

SUIVI D'ENTRETIEN PREVENTIF-ENGINS DE CARRIERE-ANNEE 2024 :

SUIVI D'ENTRETIEN PREVENTIF-ENGINS DE CARRIERE-ANNEE 2024

N° FAP	N°D.I	Gamme	Date de prog.	Date d'execut.	type d'engin	Nº Int.
P24-002	2741	500 h	1/4/2024	1/4/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-025	2764	250H	1/18/2024	1/18/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-059	2864	2000 H	2/8/2024	2/8/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-091	6264	250H	2/29/2024	3/1/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-113	2918	500 H	3/19/2024	3/26/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-161	4519	250 H	4/10/2024	4/15/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-202	4477	3000 H	5/10/2024	5/13/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-233	4540	250 H	5/30/2024	6/10/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-287	7827	500 H	7/3/2024	7/4/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-311	7851	250 H	7/17/2024	7/18/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-341	7881	4000 H	8/12/2024	8/12/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-374	6497	1000 H	8/31/2024	8/31/2024	Dumper CAT 773F	802
P24-379	4577	250H	9/2/2024	9/2/2024	DUMPER TEREX	804
P24-382	4580	500 H	9/3/2024	9/3/2024	DUMPER TEREX	808
P24-391	8483	250 H	9/7/2024	9/7/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-395	8487	1500 H	9/11/2024	9/12/2024	DUMPER TEREX	805
P24-405	8497	250 H	9/19/2024	9/19/2024	DUMPER TEREX	802
P24-407	8499	250 H	9/20/2024	9/24/2024	DUMPER TEREX	808
P24-410	8502	3000 H	9/23/2024	9/23/2024	DUMPER TEREX	804
P24-415	8507	500 H	9/28/2024	9/28/2024	Dumper CAT 773F	583
P24-453	8677	1000 H	10/27/2024	10/27/2024	Dumper CAT 773F	583

P24-479	8545	*250 H*	*11/11/2024*	*11/12/2024*	Dumper CAT 773F	583
P24-530	8108	*500 H*	*12/16/2024*	*12/26/2024*	Dumper CAT 773F	583