



UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : **C**onception **M**écanique et **I**nnovation

Amélioration de la fiabilité des viroles
tournantes des anciennes lignes de
production des engrais

Soutenu publiquement le 27 Juin 2012

Par

Mlle JIHANE KOJMANE

Jury :

- Mr A. BIYAALI (FSTF)
- Mr B. HARASS (FSTF)
- Mr A. SEDDOUKI (FSTF)

Encadrée par :

- Mr H. BOUGHARYOUNE (OCP)
- Mr A. BIYAALI (FSTF)

Année Universitaire 2011-2012

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents ; que Dieu vous garde et vous récompense pour votre soutien qui n'a jamais cessé de m'accompagner depuis ma naissance

A ma chère tante ; que Dieu te récompense pour ton soutien et ta générosité qui m'ont accompagné durant ces trois dernières années

A ma très chère sœur Widade, son mari Simohemmed, et leur petite étoile Inès qui vient de naître ; trouvez ici dans ce modeste travail l'expression de mes remerciements pour votre soutien et vos encouragements, que Dieu garde et protège votre petite princesse

A mon meilleur ami Anass, merci pour tes conseils, tes encouragements, que Dieu t'illumine et t'offre tout le bonheur que tu mérites

A mes amies, Ghizlane, Jamila, Loubna, Asmae, Mounia ; merci d'avoir rendu très agréable ce stage de fin d'études

A tous ceux qui ont cru en moi ; un seul mot : Merci...

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à adresser ma profonde reconnaissance et mon extrême gratitude à Monsieur Mostafa TERRAB le Président Directeur Général du Groupe OCP S.A, qui a bien voulu m'accorder un stage au sein de son entreprise, afin de me faire bénéficier de la compétence de ses personnels et leurs conseils enrichissants.

Je tiens à remercier mon parrain de stage, Mr Hassane Bougharyoune pour sa disponibilité, son encadrement subtil qui m'ont accompagné tout au long de ce stage.

Je remercie chaleureusement Mr. A.BIYAALI professeur à la FST de Fès pour son encadrement, ses conseils et sa contribution à l'aboutissement de ce travail.

Ma gratitude s'adresse collectivement à Mr Assali Responsable Maintenance, Mr Hroua Responsable de la Section Amélioration, ainsi que toute l'équipe du BDM, à savoir Messieurs DAIYAA, GOTAR, OUABIR de la Section Documentation, Messieurs BOURMANI, MESKINI de la Section Approvisionnement, Messieurs MADANI, ABID, ABOUELFATH, DERHOURI de la Section Inspection, sans oublier Messieurs BENYASSINE, AZZA, RACHIDI, NEKKACH.

Un grand merci pour votre soutien technique et moral, et pour toute l'aide que vous m'avez offert tout au long de ma période de stage.

Je n'oublierais pas d'allouer mes expressions de considération à tous ceux qui ont participé de prêt ou de loin à l'élaboration de ce travail et à rendre mon stage si riche et si fructueux.

TABLE DES MATIERES

Liste des Tableaux	5
Liste des Figures.....	6
Résumé.....	7
Introduction Générale.....	10
Chapitre Introductif : Présentation de l'Organisme d'Accueil.....	11
- Présentation du Groupe OCP.....	12
- Complexe Industriel Jorf Lasfar.....	15
- Complexe Industriel Maroc Phosphore III & IV.....	16
- Atelier de Production des Engrais PCJ/PE.....	18
- Description du procédé de fabrication du DAP.....	19
CHAPITRE II : CONTEXTE DU PROJET.....	22
- Importance de la maintenance.....	23
- Diagnostic de la fonction maintenance.....	27
- Maintenance basée sur la fiabilité.....	29
CHAPITRE III : Application de la fiabilité pour le choix des équipements critiques.....	31
- Objectif du projet.....	32
- Fiabilité appliquée à la maintenance industrielle.....	33
- Application.....	38
CHAPITRE IV : Choix de la maintenance.....	41
- Types de la maintenance.....	42
- Choix du type de la maintenance.....	45
• Approche qualitative.....	46
• Approche quantitative.....	49
• Conclusion.....	51
CHAPITRE V : Définition des actions de maintenance.....	52
- Présentation de la méthode DAME.....	53
- ETAPE I : Décomposition fonctionnelle et technique.....	55
- ETAPE II : Répertoire des dysfonctionnements potentiels.....	60
- ETAPE III : Analyse Causes-Racines.....	65
- ETAPE IV : Proposition de solutions techniques.....	70
- ETAPE V : Proposition de solutions préventives.....	83
- ETAPE VI : Proposition de solutions prédictives.....	86
- ETAPE VII : Proposition de solutions méthodiques.....	89
CHAPITRE VI : Gestion des pièces de rechange.....	91
- Planning de renouvellement.....	92
- Approche théorique : Concept LCC.....	93
- Approche pratique.....	97
- Conclusion.....	100
CONCLUSION GENERALE	101

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1** : Grille de cotation de la fonction maintenance au sein du service
- Tableau 2** : Notation de la fonction maintenance
- Tableau 3** : Classification par grandes familles d'équipements
- Tableau 4** : Classification par petites familles d'équipements
- Tableau 5** : Cumul des heures d'arrêt des viroles tournantes
- Tableau 6** : Pertes occasionnées par les arrêts des viroles tournantes
- Tableau 7** : Résultats de l'application des tables de Noiret sur les viroles tournantes et leurs sous-ensembles
- Tableau 8** : Calcul de la période optimale d'une intervention préventive pour les sous-ensembles des viroles tournantes
- Tableau 9** : Décomposition fonctionnelle du sécheur F02
- Tableau 10** : Décomposition fonctionnelle du granulateur M01
- Tableau 11** : Résultats du vote pondéré de la méthode de la matrice de criticité
- Tableau 12** : Matrice de criticité N°1
- Tableau 13** : Matrice de criticité N°2
- Tableau 14** : Matrice de criticité N°4
- Tableau 15** : Matrice de criticité N°5
- Tableau 16** : Matrice de criticité N°6
- Tableau 17** : Courbe du coût LCC en fonction des années
- Tableau 18** : Périodicité de renouvellement des sous ensembles par l'approche théorique
- Tableau 19** : Périodicité de renouvellement des sous ensembles du granulateur par l'approche pratique
- Tableau 20** : Périodicité de renouvellement des sous ensembles du sécheur par l'approche pratique

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** : Schéma simplifié de la boucle de Granulation
- Figure 2** : Granulation du DAP
- Figure 3** : La maintenance au sein d'une entreprise
- Figure 4** : Principes de la MBF
- Figure 5** : Fonction fiabilité en fonction du temps
- Figure 6** : Courbe en baignoire
- Figure 7** : MTBF des viroles tournantes
- Figure 8** : Courbe descriptive de la maintenance corrective
- Figure 9** : Phases d'une intervention type de maintenance corrective
- Figure 10** : Courbe descriptive de la maintenance préventive
- Figure 11** : Phases d'une intervention type de maintenance préventive
- Figure 12** : Tables de Noiret
- Figure 13** : Démarche à suivre pour le choix du type de maintenance
- Figure 14** : Causes Racines Problème N°1
- Figure 15** : Causes Racines Problème N°2
- Figure 16** : Causes Racines Problème N°3
- Figure 17** : Causes Racines Problème N°4
- Figure 18** : Effet vilebrequin de l'axe
- Figure 19** : Bague d'usure
- Figure 20** : Sabot boulonné
- Figure 21** : Reniflard industriel
- Figure 22** : Usure des bandages
- Figure 23** : PMP systématique actuel
- Figure 24** : PMP conditionnel actuel
- Figure 25** : Domaine de surveillance des indicateurs vibratoires

RESUME

Elève ingénieure en dernière année en Conception Mécanique et Innovation, un stage de fin d'études est une étape primordiale pour répondre aux besoins du secteur industriel et du marché de l'emploi en général.

Afin d'améliorer la production, de contrôler les procédés, il faut avant tout perfectionner les méthodes industrielles, et tenter d'apporter des améliorations au niveau de la fonction maintenance.

Mon sujet s'inscrit dans cette optique, et suit une démarche d'amélioration de la politique de maintenance mécanique et de fiabilisation des équipements critiques des unités de production des Engrais au sein de Maroc Phosphore de Jorf Lasfar, filiale de l'Office Chérifien des Phosphates.

ABSTRACT

Engineer in the last year in Mechanical Design and Innovation, a practical training is the best way to know the needs of the industry and the labor market generally.

To improve the production and control the processes, it's a necessary to perfect the industrial methods, and try to bring improvements to the maintenance function.

My subject joins this vision, and follows an approach of improvement of mechanical maintenance policy, and reliability of the critical equipments of the production units of fertilizers of Morocco Phosphor - Jorf Lasfar, subsidiary company of the Cherifian Office of Phosphate.

ملخص

كوني طالبة مهندسة في السنة الختامية في " التصميم الميكانيكي والابتكار "، دورة اختتام الدراسة هي خطوة رئيسية لتلبية احتياجات القطاع الصناعي و سوق الشغل بصفة عامة.

وبغية تحسين الإنتاج و رصد العمليات فإنه من الضروري أولا و قبل كل شيء تحسين الممارسات الصناعية و محاولة إدخال تحسينات على مستوى خدمة الصيانة.

موضوعي يندرج في هذا السياق ، حيث يتبع نهجا لتحسين سياسة الصيانة الميكانيكية واعتماد معدات حساسة من وحدات إنتاج الأسمدة داخل"مغرب فوسفور " للجرف الأصفر فرع من المكتب الشريف للفوسفات.

INTRODUCTION GENERALE

La mondialisation des échanges place les entreprises dans un contexte de compétition qui nécessite, entre autres :

- sur le plan des investissements, d'éviter de commettre des erreurs quantitatives ou qualitatives et d'optimiser l'efficacité des investissements déjà réalisés ;
- sur le plan des prix de revient, de maîtriser et d'optimiser les coûts dans leur diversité ;
- sur le plan des structures, d'engager des actions de décloisonnement et d'entraîner les hommes, de fonctions, spécialités et niveaux différents, dans un travail d'équipe orienté vers la réalisation d'objectifs communs, dans le cadre d'une culture commune librement partagée.

C'est ainsi que l'exploitation d'un outil, quelle qu'en soit la finalité (production de biens, services,...), doit être conduite avec le double souci de l'efficacité technico-économique et de la sécurité dans le respect des exigences des référentiels de management universellement reconnus dans le domaine de la qualité et de l'environnement.

L'efficacité économique de l'entreprise est fonction entre autres du coût global de cycle de vie, intégrant d'une part le coût total d'acquisition et d'autre part le coût d'exploitation (main d'œuvre, énergie, matières premières et fournitures, maintenance).

Dans ce contexte, l'importance stratégique de la fonction maintenance, qu'elle soit intégrée (centralisée dans un seul service ou répartie sur l'ensemble des acteurs du système productif) ou qu'elle soit externalisée (partiellement ou totalement) prend une nouvelle dimension dans le management d'une entreprise.

Le présent travail propose une démarche d'amélioration de la politique de maintenance mécanique et de fiabilisation des équipements critiques des unités de production des engrais au sein de Maroc Phosphore de Jorf Lasfar, filiale d'Office Chérifien des Phosphates.

Pour ce fait j'ai appliqué la méthode MBF, acronyme de Maintenance Basée sur la Fiabilité, dont la démarche a été de sélectionner la famille d'équipements critiques, de faire un choix de maintenance pour cette famille, ressortir les défaillances majeures, pour enfin proposer différentes solutions à la fois sur le plan correctif, préventif ou prédictif, dans un cadre d'amélioration permanente de la fonction maintenance.

CHAPITRE INTRODUCTIF

PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

PRESENTATION DU GROUPE OCP

Le Maroc est un pays de très grande tradition minière, non seulement pour les phosphates qui constituent sa principale richesse, mais également par la diversité des autres substances minérales qui existent dans son sous-sol.

En effet, avec les phosphates, le Maroc occupe une place de choix : trois quarts des réserves mondiales (98% dans le centre du pays et 2% dans le sud), troisième producteur et premier exportateur mondial de phosphate concentré, d'acide phosphorique et de P₂O₅ sous toutes ses formes.

Et afin d'éviter que ces richesses de phosphates tombent aux mains d'organismes privés, le gouvernement promulgua le Dahir du 27 janvier 1920 qui réservait à l'état marocain les droits de recherche, d'exploitation et de commercialisation des phosphates. De ce fait, l'Office Chérifien des Phosphates fût créé par le Dahir du 7 août 1920.

Voici déjà quelques années, le groupe est devenu le premier opérateur international dans le domaine de l'industrie du phosphate et des produits dérivés.

Le groupe O.C.P (Office Chérifien des Phosphates) est parmi les plus grands producteurs des phosphates dans le monde. Ainsi, il est le premier exportateur mondial des phosphates et de ces dérivés. Il est composé de plusieurs pôles et sociétés sous forme de filiales. Chaque pôle et filiale a un rôle dans l'activité principale, soit l'extraction et la commercialisation des phosphates, soit la production et la commercialisation de ses dérivés.

L'Office Chérifien des Phosphates est une firme Etatique créée depuis août 1920, dans le cadre de l'exploitation de la richesse nationale en phosphates, il est transformé à un groupe nommé le groupe OCP à partir de 1975. Le développement des activités assurées par le groupe OCP s'est propagé dans le temps et l'espace, car en commençant par la seule activité initiale qui était l'extraction des phosphates en 1921, le groupe est passé à une autre fonction telle que la commercialisation des produits dérivés du phosphate au niveau international, ainsi qu'il a entamé la fabrication et l'exportation de l'acide phosphorique en 1998. De même il est dénommé groupe, voire l'élargissement continu de son réseau sur le territoire national.

➤ Rôle économique du groupe OCP :

D'abord, il est primordial de souligner que le groupe OCP détient le monopole au niveau national, et classé à la tête des leaders à l'échelle internationale.

Cela revient à l'importance de la production phosphatique marocaine, qui atteint 23 millions de tonnes de minerais est extraites du sous-sol marocain, soit 75 % des réserves du globe. Entant qu'exportateur, le groupe OCP oriente 95 % de sa production (Phosphate 38%, Acide Phosphorique 43%, Engrais 12%) vers le marché extérieur qui se compose de tous les continents, et réalise ainsi un chiffre d'affaire de 1,3 milliard de dollars annuellement .Le groupe OCP contribue au PIB avec une part de 2 à 3 %, alors que ses exportations

représentent 18 à 20 % de la valeur des exportations marocaines. Les clients du groupe OCP sont nombreux, dont les principaux sont l'Inde, les Etats-Unis, l'Espagne et le Mexique.

A côté de son rôle dans l'économie nationale, le groupe OCP assume une seconde responsabilité à caractère social, matérialisée par l'ensemble des actions citoyennes, qui visent à participer à la promotion de l'environnement social, à titre d'exemple il s'agit d'accorder des facilités aux porteurs de projets (comme la location des terrains pour réaliser leur projet...), garantir la scolarité aux enfants dans certaines zones négligées ...

➤ **Statut juridique du groupe OCP :**

Le groupe OCP est un établissement public, honoré de la personnalité civile, et dispose d'une autonomie financière absolue, et ses filiales acquièrent la forme de sociétés anonymes, ainsi comme l'indique l'article premier du Dahir 1-60-178, le groupe OCP est mis sous tutelle administrative du ministère de l'économie nationale.

➤ **Composition du groupe OCP :**

Le groupe OCP se compose d'un certain nombre de filiales étalées sur le territoire marocain, en fonction de leur cadre de spécialité, notamment pour l'activité chimique, on s'adresse directement à la zone de Safi, et la zone de Jorf Lasfar, alors que pour l'activité dite minière, elle est limitée dans les zones de Khouribga, Youssoufia (GANTOUR) et Boucraâ, Laâyoune. En outre, le groupe OCP procède à la conclusion des Contrats de partenariats avec plusieurs opérateurs étrangers tels que SOTREG, SMESI, STAR, CERPHOS...

Pour assurer la commercialisation externe de sa production, le groupe OCP utilise quatre ports dans des zones différentes : Casablanca, Jorf Lasfar, Safi, Laâyoune.

➤ **Fiche signalétique :**

- Nomination Sociale : Groupe Office Chérifien des Phosphates
- Date de création du groupe : 1975
- Président du conseil d'administration : le premier ministre
- Directeur Général : M. Mostafa TERRAB
- Réserves de Phosphate : ¾ des réserves mondiales
- Sites de Production :
 - ✓ Phosphate : Khouribga, Benguérir, Youssoufia, Boucraâ-Laâyoune.
 - ✓ Dérivés : Safi, Jorf Lasfar
- Statut juridique : public (à gestion autonome)
- Effectifs : 19.500 dont 830 ingénieurs et équivalents
- Actionnaires : Etat marocain
- Exploitation Minière : Khouribga, Ben guérir, Youssoufia et Boucraâ
- Industrie chimique : Safi et Jorf Lasfar

➤ **Dates importantes dans l'histoire de l'OCP :**

- ↪ 1921 : Début de l'exploitation souterraine dans la région de Oued – Zem sur le gisement de Oulad- Abdoun.
- ↪ 1931 : Début de l'extraction en souterrain à Youssoufia ;
- ↪ 1951 : Démarrage de l'extraction en découverte à Sidi–Daoui (Khouribga).
- ↪ 1965 : Extension de l'extraction à ciel ouvert à la mine de Merah El Ahrach (Khouribga).
- ↪ 1974 : Lancement de travaux pour la réalisation du centre minier de Ben guérir.
- ↪ 1975 : Création du Groupe OCP.
- ↪ 1976 : Acquisition par L'OCP de 65 % du capital de la société Phosboucraa.
- ↪ 1980 : Entrée en exploitation du centre de Ben guérir.
- ↪ 1986 : Démarrage du complexe industriel de Jorf Lasfar.
- ↪ 1993 : Entrée en exploitation de Ben guérir II.

Le Groupe OCP vit au rythme de sa nouvelle organisation.

Objectif :

Mobiliser, responsabiliser et capitaliser plus fortement les ressources de l'entreprise pour lui assurer un développement rentable et durable.

Cette réorganisation s'est traduite, sur le terrain, par la mise en place, entre autres, d'une logique de gestion en « Business Unit » à travers l'instauration de trois Pôles d'activités, dont le Pôle Chimie, en plus des autres Directions.

En effet, pour répondre au marché international et développer une industrie locale des phosphates, le Groupe OCP s'est doté dès 1965 de complexes chimiques. Ces unités d'envergure internationale sont spécialisées dans la production d'acide phosphorique et d'engrais dérivés. Cette capacité est répartie entre deux sites regroupés au sein du Pôle Chimie : Safi et Jorf Lasfar. Environ la moitié de la production est concentrée puis exportée comme produit semi-fini (acide phosphorique marchand) tandis que l'autre moitié est transformée localement en engrais solides. La majeure partie de ces engrais, où le DAP est largement prédominant, est expédiée hors du Maroc. La part vendue aux clients locaux permet une satisfaction du marché local.

Complexe industriel Jorf Lasfar

Situé sur le littoral atlantique, à 20 km au sud-ouest d'El Jadida, le complexe industriel de Jorf Lasfar a démarré sa production en 1986. Cette nouvelle unité a permis au Groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Le site a été choisi pour de multiples avantages :

- Proximité des zones minières,
- Existence d'un port profond,
- Disponibilité de grandes réserves d'eau,
- Présence de terrains pour les extensions futures.

Cet ensemble, qui s'étend sur 1.700 hectares, permet de produire chaque année 2 millions de tonnes P₂O₅ sous forme d'acide phosphorique, nécessitant la transformation de 7,7 millions de tonnes de phosphate extraits des gisements de Khouribga, 2 millions de tonnes de soufre et 0,5 million de tonnes d'ammoniac. Les besoins en énergie du complexe sont satisfaits par une centrale de 111 MW utilisant la chaleur de récupération.

Une partie de la production est transformée localement en engrais DAP, MAP, éventuellement NPK et TSP, ainsi qu'en acide phosphorique purifié. L'autre partie est exportée sous forme d'acide phosphorique marchand via les installations portuaires locales.

Le complexe de Jorf Lasfar compte trois entités, dont l'unité Maroc Phosphore III-IV créée en 1986. Avec la construction de l'usine Emaphos en 1997, en partenariat avec Prayon (Belgique) et CFB (Allemagne), le Groupe OCP a inauguré une nouvelle ère dans la diversification de ses produits finis par la production d'un acide à haute valeur ajoutée : l'acide phosphorique purifié.

Deux ans plus tard, la mise en service d'Imacid, en partenariat avec le Groupe indien Birla, lui a permis d'accroître sa capacité de production d'acide phosphorique de 25% sur le site de Jorf Lasfar.

COMPLEXE INDUSTRIEL MAROC PHOSPHORE III ET IV

Pour la valorisation des phosphates provenant des pôles miniers, le groupe OCP a décidé de réaliser le complexe industriel Maroc Phosphore III-IV à Jorf Lasfar pour doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Ce complexe qui a démarré en 1986 permet de produire annuellement : 1,7 millions de tonnes d'acide phosphorique et 1,8 millions de tonnes équivalent DAP, nécessitant la transformation de :

- 1,7 millions de tonnes de soufre.
- 0,5 million de tonnes d'ammoniac.
- 6,5 millions de tonnes de phosphate.

1. ATELIER SULFURIQUE

L'atelier de production d'acide sulfurique de MAROC PHOSPHORE Jorf Lasfar est composé de six unités de production identiques, de capacité unitaire 2650 TMH/j, de 2 bacs de stockage de soufre liquide, de 6 bacs de stockage d'acide sulfurique, de 3 stations de chargement de camions citernes, utilisant le procédé à double absorption Monsanto (USA).

L'acide sulfurique produit est destiné aux clients internes (PCJ/PA pour la production de l'acide phosphorique, PCJ/ PE pour la production des engrais, EMAPHOS, IMACID) et aux clients externes au pôle chimie Jorf Lasfar.

L'alimentation des clients internes (PCJ/PA, EMAPHOS, IMACID) se fait par des tuyauteries. Les clients externes sont desservis par des camions citernes.

2. ATELIER PHOSPHORIQUE

Comprenant respectivement:

- 8 unités de broyage de phosphate.
- 8 unités de production d'acide phosphorique dont 3 fonctionnant selon le procédé Rhône Poulenc (France) et 5 selon le procédé Jorf (OCP).
- 20 échelons, sursaturations et bacs de stockage.

3. ATELIER FERTILISANT

Il comprend 4 unités de production de MAP et DAP dont deux peuvent produire du TSP.

- capacité en MAP : 1200 tonnes / jour/ unité.
- capacité en DAP : 1400 tonnes / jour/ unité.
- capacité en TSP : 1200 tonnes / jour/ unité.

4. ATELIER UTILITES

Il comprend :

- 1 centrale thermoélectrique avec 3 groupes turboalternateurs de 37MW chacun.
- 1 réservoir d'eau douce et une station de traitement de 2000 m³/h.
- 1 station de filtration et de pompage d'eau de mer.
- 1 station de reprise d'eau de mer 60000 m³/h.

5. INFRASTRUCTURES

- Hangar de stockage de soufre liquide.
- Unité de fusion et filtration de soufre.
- Bacs de stockage de soufre liquide.
- Bacs de stockage d'acide sulfurique.
- Des sphères de stockage d'ammoniac.
- Hangar de stockage de phosphate et fertilisants.
- Bacs de stockage d'acide phosphorique.
- Station d'ensachage des fertilise.

6. PORT :

Les installations suivantes sont implantées dans la zone réservée au groupe OCP au port :

- Hangar de stockage de soufre solide
- Unité de fusion filtration de soufre
- Stockage du soufre liquide
- Station de filtration et de pompage d'eau de mer
- Station d'ensachage des engrais destinés à l'exportation

Les quais réservés au groupe OCP permettent de :

- Décharger les bateaux de soufre à l'aide de deux portiques
- Déporter l'ammoniac à l'aide d'un bras
- Charger le phosphate et les engrais à l'aide de deux portiques
- Charger l'acide phosphorique à l'aide de quatre bras

7. SERVICES FONCTIONNELS :

Le complexe comprend d'autres services dits fonctionnels rattachés à la Direction dont lesquels on trouve :

- Un service du personnel.
- Un service d'étude et analyse.
- Un service de contrôle de gestion.
- Services opérationnels constitués par les services de production et de maintenances.

ATELIER DE PRODUCTION DES ENGRAIS PCJ/ PE

L'atelier des fertilisants de Maroc phosphores III et IV est composé de six unités : une unité de production et quatre unités annexes pour les anciennes lignes dites revampés et une unité de production de la nouvelle ligne mis en service en 2006.

➤ Unités de Production :

L'unité 07, est composé de quatre lignes parallèles de production adoptant le procédé JACOBS (07A/ 07B/07C/07D) dont deux peuvent produire du DAP (diammonium phosphate) et le MAP (monoammonium phosphate). Chaque ligne revampée est dimensionnée pour une capacité de production de 90 tonne par heure.

La nouvelle unité de production adopte le même procédé Jacobs, qui peut produire en plus des engrais azoté, du NPK. Sa production en équivalent DAP est estimé à 120 tonne par heure.

➤ Unités annexes aux unités de production :

Ces entités s'occupent du stockage des matières premières nécessaires à la production du engrais qui sont : l'ammoniac, l'acide phosphorique 29% et 54%, l'acide sulfurique, le fuel, et l'enrobant. Les anciennes et la nouvelle ligne ont deux unités annexes de stockages indépendants. Les quatre unités de granulation sont alimentées en matières premières par les unités U16, U17 et U07I.

DESCRIPTION DU PROCEDE DE FABRICATION DU DAP.

➤ SCHEMA SIMPLIFIE DE LA BOUCLE DE GRANULATION

Le Di Ammonium Phosphate (DAP) est produit dans la nouvelle unité de production des engrais granulés selon le procédé JACOBS, fait appel aux principales étapes de fabrication constituant le diagramme général présenté sur le schéma suivant :

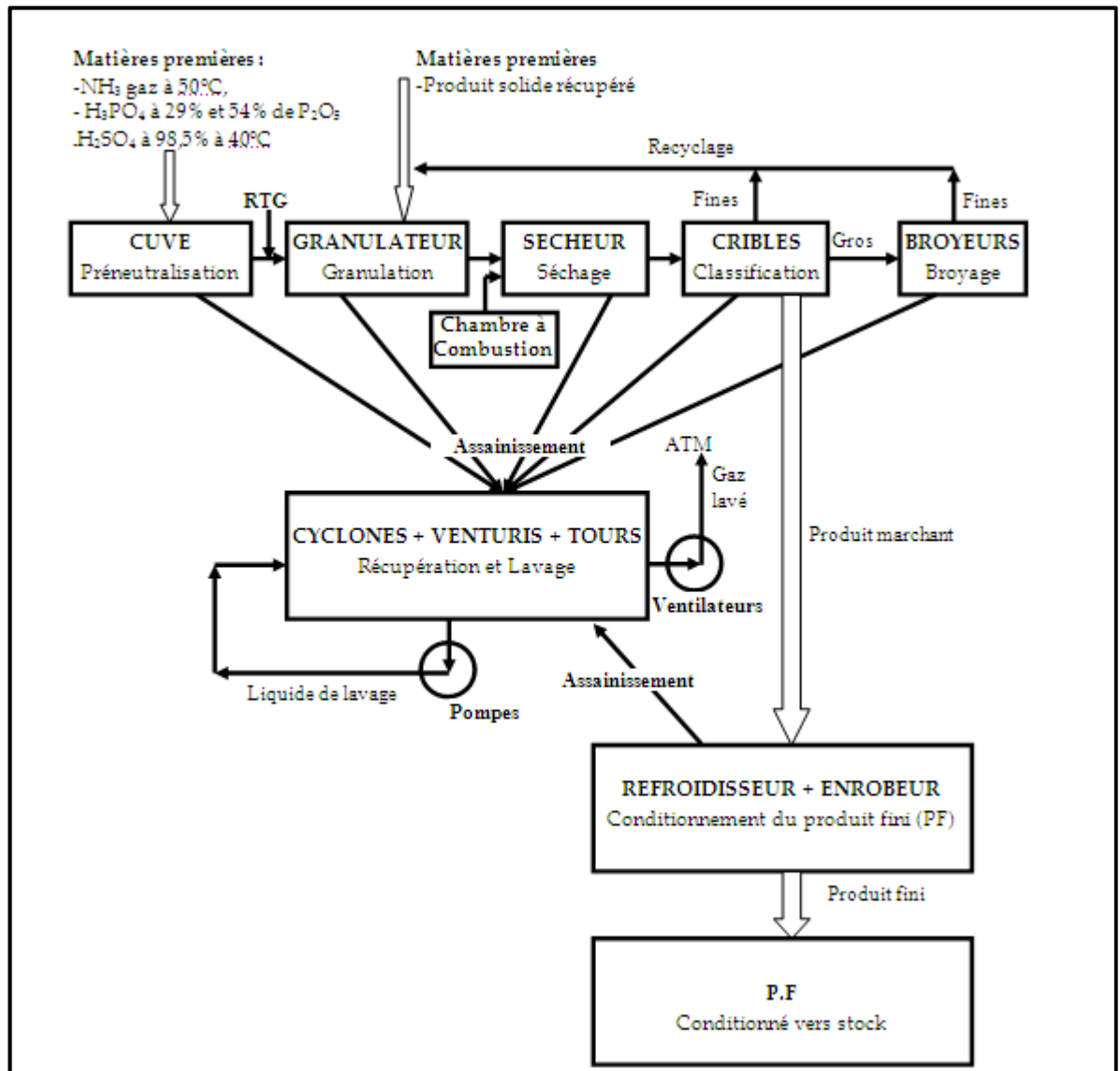


Figure 1 : Schéma simplifié de la boucle de Granulation

➤ **ETAPES DE FABRICATION DE DAP :**

• **Première étape : Préneutralisation**

Permet la neutralisation de l'ensemble d'acides phosphoriques (H_3PO_4) à 29% et à 54% de P_2O_5 par l'ammoniac (NH_3) gaz, dans une cuve fermée équipée d'un agitateur. La bouillie résultante se projette sur un lit de produit de recyclage roulant dans le tambour granulateur.

• **Deuxième étape : Granulation**

La granulation du DAP s'effectue dans un tambour rotatif ammoniateur – granulateur muni d'une rampe d'ammonisation fixe, et revêtu intérieurement par 14 panneaux en caoutchouc qui remplissent deux fonctions, d'un côté le décolmatage du produit, et d'autre part la protection de la paroi interne de la virole contre la bouillie.

Les granulés en formation doivent soit rouler, ou glisser, par action mécanique de rotation du tambour suivant le schéma ci-dessous.

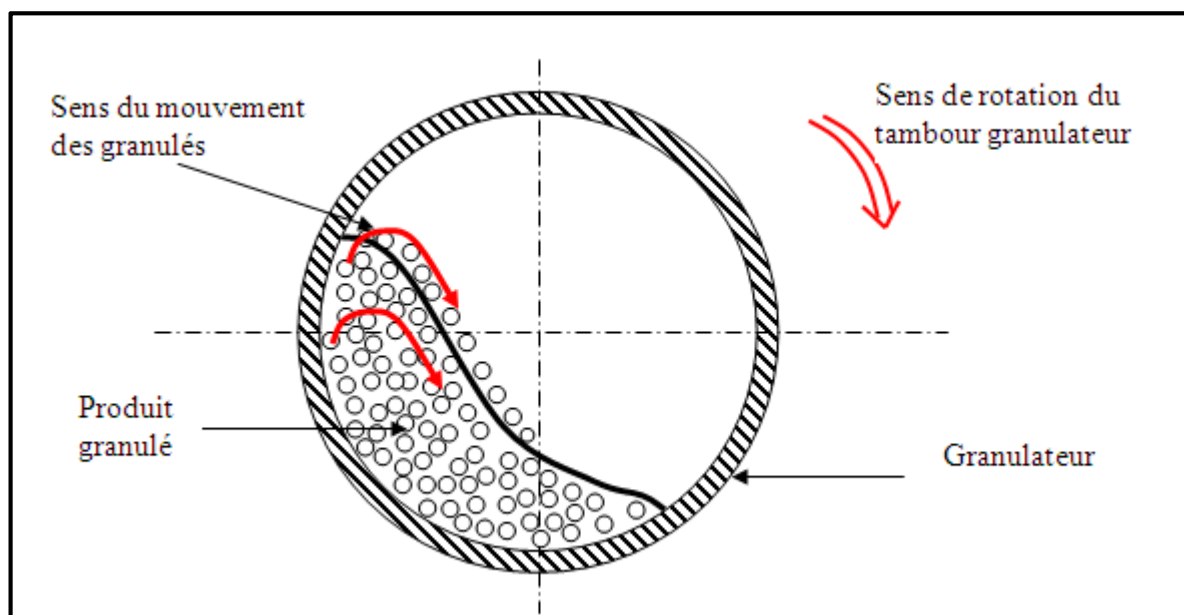


Figure 2 : Granulation du DAP

• **Troisième étape : Séchage**

L'engrais granulé humide sortant du granulateur est séché dans un tambour tournant appelé sécheur, par un co-courant d'air chaud parallèle provenant de la chambre de combustion à fuel-oil ou gaz-oil.

• **Quatrième étape : Classification**

Une fois le DAP est séché, il est repris par un transporteur à bande puis par un élévateur à godets qui alimente quatre cribles vibrants à deux étages, fonctionnant en parallèle, chacun des cribles est suivi d'un broyeur à chaînes.

Le refus de l'étage supérieur de maille 4mmx50mm, après broyage, ainsi que les fines de l'étage inférieur de maille 3mmx50mm constitue la grande partie du produit recyclé.

Le produit sélectionné entre les étages constitue, le produit marchand.

- **Cinquième étape : Conditionnement**

Afin de prévenir la prise en masse et le dégagement de poussière lors du stockage, et le transport, le produit calibré est conditionné, avant son stockage, dans un refroidisseur et en suite enrobé dans un enrobeur.

- Le refroidissement s'effectue dans un refroidisseur à lit fluidisé par soufflage d'air préalablement déshumidifié et chauffé.
- L'enrobage s'effectue par pulvérisation du fuel-oil, huiles aminées ou enrobant sous forme de poudre dans un tambour tournant enrobeur.

- **Sixième étape : Assainissement et lavage des gaz**

Les gaz provenant du dépoussiérage général des équipements sont cyclonés et lavés avec les gaz chargés en ammoniac, aspirés du granulateur et préneutraliseur dans un venturi et tour cylindro-conique.

Les gaz chargés en poussière provenant du sécheur sont dépoussiérés dans une batterie de cyclones, et sont lavés dans un venturi et tour cylindro-conique.

L'ensemble de ces gaz avec ceux provenant du refroidisseur subissent un dernier lavage au niveau du couloir menant à la cheminée avant rejet vers l'atmosphère.

Le liquide de lavage, gaz d'ammoniac et poussières fines d'engrais qui sont récupérés vont être recyclés dans le procédé.

CHAPITRE II

CONTEXTE DU PROJET

- L'importance de la maintenance

La maîtrise des systèmes de production a toujours constitué le souci majeur des industriels. Cette maîtrise n'aura un sens que si elle passe incontestablement par une maîtrise de la disponibilité des équipements.

En effet, la pratique de la maintenance qui, au départ était exclusivement de la réparation (maintenance curative), a évolué de façon drastique et les pratiques sont actuellement très diversifiées dans l'entreprise. La maintenance constitue actuellement une partie toute entière de l'entreprise avec des besoins (pour sa réalisation) et des retombées (résultats attendus). Ainsi, la maintenance au sein de l'entreprise se retrouve comme sur la figure ci-dessous :

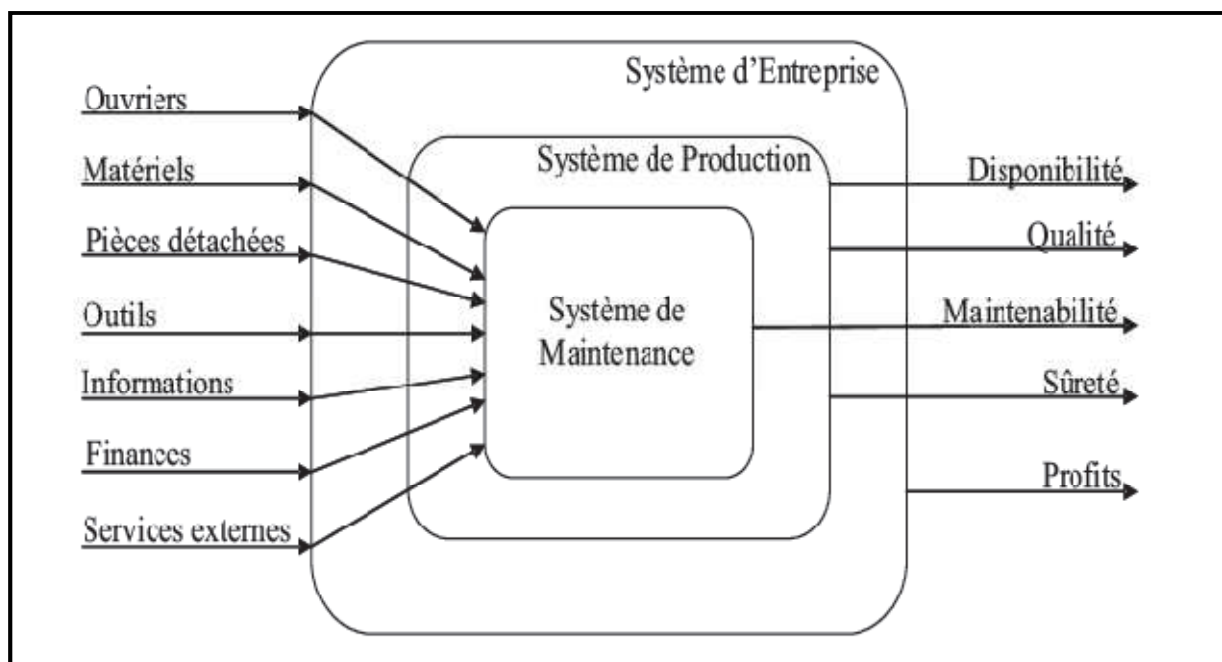


Figure 3 : La maintenance au sein d'une entreprise

Dans toutes les grandes entreprises industrielles, le service maintenance mécanique est un service à part entière dans l'organigramme de l'entreprise. Il est chargé de tous les problèmes liés à la maintenance pour ne pas dire entretien vu le caractère évolutif du concept. Il a ainsi comme devoir d'assurer la disponibilité des équipements, leur maintenabilité et leur fiabilité pour la bonne marche de la production.

Or, l'évolution de la maintenance a entraîné l'apparition de divers problèmes qui lui sont liés et auxquels est confronté constamment le service de maintenance mécanique.

Les problèmes sont relevés au niveau de :

- L'organisation de la maintenance et gestion du personnel.
- La qualité et stratégies de maintenance.
- La maintenance préventive et modèles de remplacement.
- La maintenance prédictive.
- La budgétisation et contrôle des coûts.
- La modélisation et optimisation des systèmes de maintenance.
- La planification et ordonnancement de la maintenance.

- La planification des charges (capacités) de maintenance.
- L'approvisionnement et gestion de stocks en maintenance.
- La maintenance basée sur la fiabilité.
- Le contrôle qualité, processus de capabilité et maintenance.
- La maintenance productive totale.
- Les techniques de maintenance conditionnelle.
- Les systèmes d'information en maintenance.
- La gestion du coût d'exploitation des systèmes.
- L'analyse des performances et standards en maintenance.
- La maintenance et nouvelles technologies.

Pour mieux assimiler le contexte de notre projet, nous avons jugé intéressant de faire un audit sous forme d'une analyse de l'existant afin d'évaluer et diagnostiquer les manquements de la fonction maintenance.

En maintenance, l'audit ne peut exister car le référentiel n'existe pas, ou il en existe plusieurs. En conséquence seuls des diagnostics peuvent être réalisés à partir de questionnaires et de critères réalisés par des experts.

Le diagnostic de l'efficacité de la Fonction Maintenance comporte un ensemble de questions qui servent à évaluer le niveau de réalisation des activités de la Maintenance, qu'elles soient réalisées par le Service Maintenance ou d'autres entités (Production, Méthodes, Prestataires)

La démarche consiste à indiquer honnêtement l'avis de l'entreprise sur le degré de réalisation des fonctions analysées de l'organisation globale de la Maintenance dans l'entreprise.

L'évaluation s'effectue sur les 10 thèmes suivants :

1. Définition des missions et responsabilités
2. Méthodes de travail
3. Préparation de la réalisation des opérations
4. Réalisation des opérations de Maintenance
5. Gestion et tenue des pièces de rechange
6. Contrôle des coûts globaux
7. Interfaces de la Maintenance avec les autres services
8. Ressources humaines et animation
9. Stratégie d'utilisation des prestataires extérieurs
10. Système d'information et utilisation de l'informatique

Cette cotation s'effectue de 0 à 100%. Il faut indiquer le niveau de la réalisation de chaque demande de manière analogique avec l'aide de la grille de cotation suivante :

COTATION	CRITERES
0%	La fonction, l'action ne sont pas remplies ou le moyen n'existe pas.
25%	La fonction, l'action sont remplies en partie ou sont en phase de mise en place. Le moyen vient d'être acquis et est en phase de mise en service.
50%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels mais ne donnent pas encore satisfaction.
75%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels donnent apparemment satisfaction mais ne sont pas évalués (indicateurs d'activité)
100%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels, ils donnent satisfaction et sont contrôlés par des indicateurs d'efficacité.

Tableau 1 : Grille de cotation de la fonction maintenance au sein du service

Afin de valider l'avis donné et la cotation effectuée, l'entreprise doit normalement apporter des éléments de justification tels que ; documents, rapports, définition de fonctions, indicateurs, tableaux de bord, programmes de réunions, et toutes informations expliquant et démontrant l'avis émis.

Comme il a été difficile de réunir toutes ces informations à la fois, nous avons opté pour un brainstorming fait avec l'équipe de bureau de méthodes, à savoir les responsables maintenance, les inspecteurs, les responsables de la gestion des PDR, etc.

Le tableau ci-dessous résume les renseignements obtenus.

Thème	0%	25%	50%	75%	100%	Points
Définition des missions et responsabilités			▲			50
Méthodes de travail			▲			50
Préparation des opérations			▲			50
Réalisation des opérations de maintenance		▲				25
Gestion et tenue des PDR			▲			50
Contrôle des coûts globaux		▲				25
Interfaces de la maintenance avec les autres services				▲		75
Ressources humaines et animation				▲		75
Stratégie d'utilisation des prestataires extérieurs				▲		75
Système d'information et utilisation de l'informatique		▲				25
TOTAL						50

Tableau 2 : Notation de la fonction maintenance

Nous constatons que la fonction maintenance au niveau du bureau de méthodes du service maintenance mécanique est satisfaisante à 50%.

Compte tenu de ces résultats, nous allons tenter de diagnostiquer en détail la situation de la fonction maintenance dans notre service en énumérant respectivement les forces et les faiblesses de cette fonction afin de bien cerner ce qui concourt à l'émergence de la gestion de la maintenance et de tout ce qui la freine.

Diagnostic de la fonction maintenance

➤ **Forces :**

• **Sur le plan Méthodes :**

L'inventaire des équipements, la réception des travaux, la collecte et la prise en compte des demandes de travail et l'établissement d'arrêts cycliques donnent apparemment satisfaction, mais il n'y a pas d'indicateurs pour l'évaluer.

Il faut aussi noter que des progrès sont en train d'être faits au niveau de l'archivage et du classement de la documentation technique.

Des inventaires de stocks sont fréquemment faits pour vérifier la disponibilité des pièces de rechange.

Actuellement, le bureau de méthodes exige le retour d'informations à chaque fin de travaux sur site pour un historique évolutif en vue de mettre à jour les supports d'ordonnancement, et de méthodes.

• **Sur le plan Préparation :**

L'évaluation des temps d'intervention, la détermination des moyens matériels et la prise en compte de la disponibilité des équipements ont connu des avancées depuis l'établissement du planning de maintenance en 2010.

La préparation des interventions et la distribution des travaux se fait en collaboration avec les chefs de secteurs pour cerner toutes les tâches et faire appel aux ressources humaines qu'il faut.

Il est apparu certes que la gestion du parc machine présente des avancées considérables par rapport à quelques années auparavant, dans la mise en place d'une maintenance structurée et capable de faire face à tous les scénarios. Toutefois, dans ces mêmes rubriques, il existe des insuffisances qui peuvent du jour au lendemain déstabiliser le parc machine, les agents et les dirigeants.

➤ **Faiblesses :**

• **Sur le plan Méthodes :**

Le bureau technique ne dispose pas de documents techniques de toutes les machines afin de déterminer les pièces stratégiques.

Le personnel de maintenance base toutes ses actions préventives sur une intuition expérimentale. Il en résulte qu'ils ne font pas de la maintenance proprement dite, mais plutôt de l'entretien.

En effet, le BDM ne dispose pas de plan de maintenance conditionnelle.

Il ne dispose pas non plus d'assez d'outils scientifiques pour évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements. L'utilisation de la MTBF est restreinte à certains équipements.

Le département n'a pas une politique de maintenance structurée et stabilisée.

• **Sur le plan Préparation :**

Les délais sont parfois non maîtrisés, ce qui entraîne une indisponibilité de l'équipement.

Ainsi, face à une gestion parfois non rationnelle, plutôt intuitive et suite à ces manquements constatés dans la gestion préventive des défaillances des équipements de l'entreprise, et afin de pallier à ces points faibles, le bureau de méthodes de la division de production des engrais de Jorf Lasfar a voulu rompre il y a un peu plus de deux ans avec cette manière de gérer la maintenance de son parc machines.

Dans cette vision vient mon projet qui a comme ambition de proposer au début une solution afin de remédier aux points faibles cités ci-dessus. La solution a été d'opter pour un outil puissant et une nouvelle organisation qui permettrait d'avoir un feed-back du comportement des équipements pour assurer dans les meilleures conditions leur maintenance.

Parmi les stratégies de maintenance, porteuses de facteurs de rationalisation de maintenance, figure la maintenance basée sur la fiabilité sur laquelle j'ai proposé de travailler.

Issue du monde de l'aéronautique, où les coûts de maintenance représentent entre 15 et 20% des dépenses directes d'exploitation, la maintenance basée sur la fiabilité (MBF) est une politique de maintenance préventive n'appliquant des tâches de maintenance qu'aux matériels dont les modes de défaillance ont des conséquences importantes sur la sécurité, la disponibilité opérationnelle et les coûts.

Cette solution permettra au BDM du service maintenance mécanique de définir le type de maintenance à mettre en œuvre pour un équipement donné et ses pièces stratégiques à mettre en stock en se basant sur des éléments comme la fréquence d'apparition des défaillances et leur gravité. Cette politique lui permettra de diminuer les taux de pannes et de réparations. Les actions entreprises seront logiques et le volume du travail réduit.

MBF - RMC

Maintenance basée sur la fiabilité

Reliability Centred Maintenance

La maintenance basée sur la fiabilité (RMC - Reliability Centred Maintenance) est une technique de maintenance qui a fait son apparition dans l'industrie aéronautique vers la fin de années 1960 et au début des années 1970 aux États-Unis.

Cet outil considère de manière fort structurée, les conséquences et la probabilité d'une défaillance. La RMC essaie de minimiser les conséquences d'une défaillance en cherchant et en exécutant les tâches critiques de maintenance. En particulier, elle identifie des défaillances cachées et aide à améliorer la disponibilité.

L'objectif principal de la maintenance basée sur la fiabilité est de réduire le coût de la maintenance en se focalisant essentiellement sur les fonctions les plus importantes du système, tout en reléguant au second plan ou en évitant les actions de maintenance qui ne sont pas strictement nécessaires.

La maintenance basée sur la fiabilité est une approche de maintenance préventive. Elle est basée sur l'hypothèse que la fiabilité inhérente à un équipement est fonction la conception et de la qualité de construction. Une maintenance préventive efficace devra assurer que cette fiabilité soit réalisée. Une analyse de RCM à la base permet de trouver des réponses aux questions ci-après.

1. Quelles sont les fonctions et les performances standards associées de l'équipement dans son contexte opérationnel présent?
2. Dans quels cas faillit-il à assurer ces fonctions ?

L'objectif principal est d'améliorer la disponibilité (plus importante au niveau industriel que la seule fiabilité) des équipements critiques (pour la sécurité ou la qualité).

Améliorer la disponibilité passe par :

- ⇒ Une réduction des défaillances par la mise en place d'une maintenance préventive efficace.
- ⇒ Une réduction des durées de pertes de production par une répartition des tâches entre la production et la maintenance.

D'autres objectifs sont aussi recherchés :

1. Maîtrise des coûts par l'optimisation des plans de maintenance par des interventions « au bon endroit au bon moment », donc par l'élimination d'opérations de maintenance préventives constatées improductives.
2. Mise en œuvre d'une démarche structurée d'analyse des modes de défaillance.
3. Mise en œuvre d'une démarche participative par la création de groupes de travail MBF incluant des acteurs de la production et de la maintenance.

Les 3 principes de la MBF :

1. **Principe d'auto limitation :** ou de sélection systématique. Il s'applique aux criticités des équipements et à des niveaux successifs : équipements critiques → sous-ensembles fragiles → leurs défaillances → les causes → les tâches de maintenance.
2. **Principe de subordination :** les tâches de maintenance dépendent obligatoirement de la connaissance fiabiliste des défaillances et de leurs causes ; ce qui implique une connaissance fonctionnelle et dysfonctionnelle des équipements.
3. **Principe de participation :** la MBF repose sur des groupes de travail impliquant tous les acteurs liés au processus.

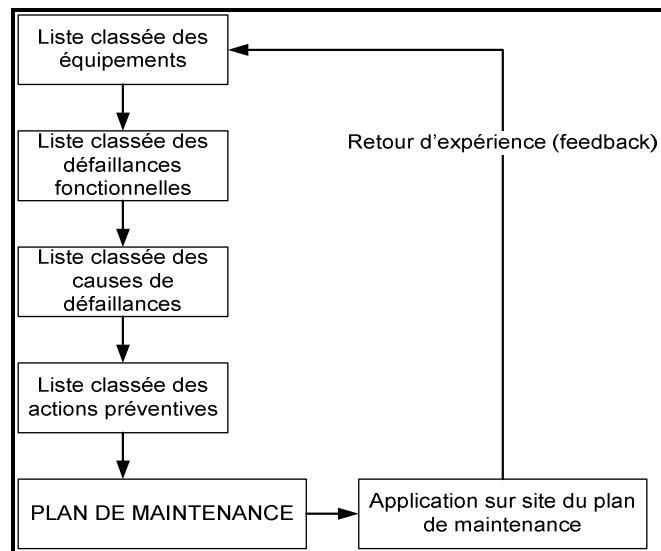


Figure 4 : Principes de la MBF

CHAPITRE III

APPLICATION DE LA FIABILITE POUR LE CHOIX DES EQUIPEMENTS CRITIQUES

Objectif du projet

Fiabilité pour les équipements des lignes de production des engrais

Pour assurer une disponibilité permanente des installations de production, il est primordial que les équipements soient fiables et en état d'assurer leurs fonctionnalités.

Un équipement non fiable a tendance à tomber souvent en panne.

Le service maintenance a tendance à se focaliser sur le fait que l'équipement en panne cause ou non un arrêt de la ligne. Un non arrêt de la ligne n'étant pas considéré d'une grande gravité, et d'une grande importance. Or, un équipement qui tombe souvent en panne n'est pas considéré comme fiable, et même s'il n'engendre pas un arrêt de la ligne, nécessite des interventions fréquentes. Les interventions à leur tour nécessitent des compétences particulières, un temps précieux pour comprendre le problème, réparer et remettre en marche.

Donc toute intervention est comptabilisée, en termes de temps, mais surtout en termes de coût !!

Pour cela, en tant que service maintenance, l'étude ne doit pas être restreinte seulement aux installations qui causent des arrêts de lignes, et donc des arrêts de production, mais doit couvrir tous les équipements qui posent problème, et qui présentent des pannes, surtout si elles sont fréquentes.

Nous ne devons donc pas limiter la maintenance à une étude de « disponibilité » des équipements, il faut faire une étude de « fiabilité » afin de savoir si un équipement est fiable ou non, et quelle est la probabilité qu'il remplisse sa fonction avec un taux de fiabilité raisonnable.

Compte tenu des résultats, nous devons essayer de fiabiliser l'équipement, et respecter ainsi les principales fondations de la maintenance basée sur la fiabilité.

Fiabilité appliquée à la maintenance industrielle

➤ La fiabilité – Définitions :

La fiabilité qualifie l'aptitude d'un dispositif à rester en fonction.

La fiabilité est la probabilité qu'un dispositif accomplisse continuellement une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période donnée.

Ensuite, la fiabilité est calculée pour une fonction requise ce qui sous-entend qu'il existe un seuil de fonctionnement en deçà duquel la fonction n'est plus remplie.

Les conditions d'utilisation doivent aussi être tenues en compte pour déterminer la fiabilité.

Évidemment, deux équipements identiques dans des conditions extrêmement différentes n'auront pas la même fiabilité.

Finalement, la fiabilité est associée à une période de temps. On s'attend que plus la période est longue, plus il y a d'opportunités d'avoir une défaillance, ce qui réduit la fiabilité pour cette période. Il est donc périlleux d'interpréter une fiabilité instantanée.

➤ Intérêt de l'étude de la fiabilité :

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable).

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

Calcul de la fiabilité :

La fiabilité $R(t)$ représente la probabilité pour qu'une entité accomplisse une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

Remarque : On peut être amené à utiliser aussi la fonction de répartition $F(t)$ qui est la fonction complémentaire de $R(t)$.

$$F(t) + R(t) = 1$$

➤ Indicateur de fiabilité :

Pour monitorer la fiabilité, il est possible de suivre les taux de défaillances.

Le taux de défaillances est un indicateur de fiabilité qui représente :

- Soit le nombre de défaillances par unité d'usage. Dans ce cas, il s'agit du taux de défaillances moyen :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

- Soit la fonction $\lambda(t)$ qui représente la probabilité d'apparition d'une défaillance d'un équipement à l'instant t . Il s'agit dans ce cas du taux de défaillance instantané. Par conséquent, l'appareil considéré est encore en fonctionnement à l'instant t .

Le taux de défaillances s'exprime le plus souvent en pannes / heure.

- Deux méthodes permettent de faire une étude de fiabilité :
 - Le modèle exponentiel
 - Le modèle de Weibull

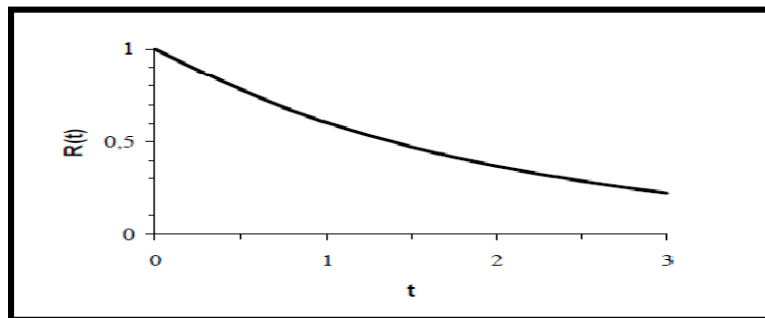


Figure 5 : Fonction fiabilité en fonction du temps

- **Le modèle exponentiel :**

Il s'applique lorsque le taux de défaillance λ est considéré constant. C'est le cas de la période de maturité. Les pannes sont peu nombreuses et imprévisibles (aléatoires).

Les équations suivantes sont donc utilisables :

✓ Fiabilité : $R(t) = e^{-\lambda t}$

✓ MTBF : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$

Remarque : Le modèle exponentiel ne fonctionne que si λ est considéré constant. Il ne pourra donc pas être utilisé dans les périodes de jeunesse ni de vieillesse du matériel.

- **Le modèle de Weibull :**

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée de vie d'un matériel.

Cela permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux

de défaillances variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse).

Elle permet d'ailleurs à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié.

➤ **Définition des paramètres utilisés :**

- Paramètres de Weibull :

β est le paramètre de forme qui caractérise l'évolution du taux de défaillances.

η est le paramètre d'échelle qui caractérise la durée de vie.

γ est le paramètre de position qui glisse la courbe sur l'axe des temps.

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

- Fiabilité $R(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

- Taux de défaillance $\lambda(t)$:

- MTBF :

$$MTBF = \eta \times A + \gamma$$

Le paramètre A est déterminé par les tables de Weibull en fonction du paramètre β .

➤ **Courbe en forme de baignoire :**

Dans le domaine de la fiabilité, la courbe en forme de baignoire est sans contredits la plus connue. Elle représente l'évolution du taux de défaillances par tranches d'utilisation. De façon plus générale dans la vie d'un composant, nous pourrions observer trois zones distinctes où le taux de défaillances évolue différemment. Ce comportement est connu sous le nom de la courbe en baignoire. Ci-dessous une illustration de ce concept et certaines explications.

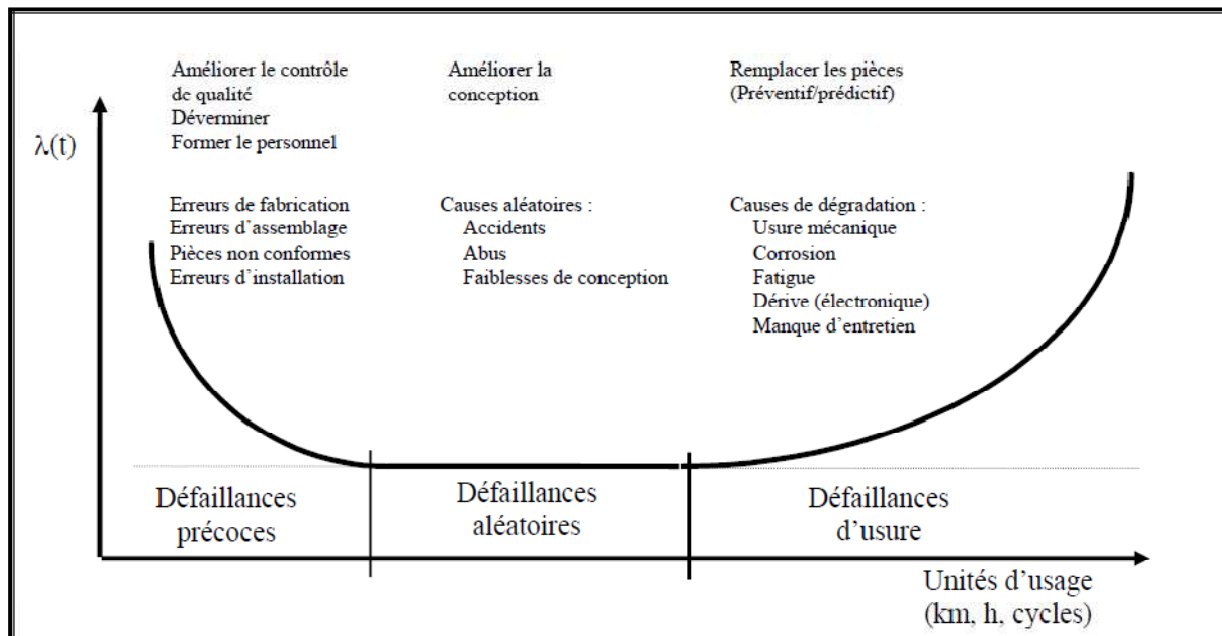


Figure 6 : Courbe en baignoire

Il est important de remarquer que les trois phases sont distinguées par le profil des taux de défaillances. Voici ce qui les caractérise :

- ✓ Zone de défaillances précoces : Taux de défaillances décroissant.
- ✓ Zone de défaillances aléatoires : Taux de défaillances constant.
- ✓ Zone de défaillances d'usure : Taux de défaillances croissant.

➤ **Paramètre de forme β et stratégie d'entretien :**

Une des plus grandes conclusions d'une analyse de fiabilité est de choisir un type d'entretien en fonction des résultats trouvés. Ce paragraphe indique comment faire ce choix selon les phases de la courbe en forme de baignoire. On se souvient que le paramètre de forme β indique le mode de vieillissement. Les trois intervalles importants à distinguer sont les suivants :

- $\beta < 1$: Zone de défaillances précoces.
- $\beta = 1$: Zone de défaillances aléatoires.
- $\beta > 1$: Zone de défaillances d'usure ?

Pour chacune de ces phases, une politique de maintenance particulière est appropriée et certaines sont à proscrire.

- $\beta < 1$: Entretien correctif

Un β inférieur à 1 indique des problèmes de morts infantiles. C'est à dire, qu'il y a des composants faibles qui auront une défaillance précoce. Dans ce cas, le taux de défaillances est décroissant. Cela indique que la situation va s'améliorer avec le temps. Cette phase est

caractérisée par des problèmes conséquents à une intervention comme : le remplacement par une pièce de mauvaise qualité, un mauvais montage, etc.

L'erreur humaine compte pour beaucoup dans cette phase. Il est crucial de comprendre que cette zone peut être réactivée après toute intervention sur le matériel.

Il n'est donc pas approprié de tenter de remplacer des pièces qui vont bien, car nous risquerions de créer des problèmes plutôt que dans éliminer. Ainsi, l'entretien correctif est la meilleure stratégie. Par contre, plusieurs moyens peuvent être mis en place pour réduire ces problèmes, mentionnons :

- ✓ L'amélioration du contrôle de la qualité.
- ✓ L'application d'une procédure de déverminage.
- ✓ La qualification des fournisseurs.
- ✓ L'élaboration d'instructions de travail.
- ✓ La formation du personnel.

- $\beta \cong 1$: Entretien correctif

Dans la phase de défaillances aléatoires le taux de défaillances est constant dans le temps. Il n'y a donc pas lieu de remplacer des composants en bon état, car on risquerait d'introduire des problèmes de défaillances précoces en intervenant.

Si le taux de défaillances est considéré trop élevé il faut améliorer soit le niveau de qualité global de l'équipement ou réduire les contraintes d'utilisation. D'une part, l'augmentation des facteurs de sécurité contribue à rendre l'équipement plus robuste et d'autre part, la formation et la sensibilisation peuvent réduire les efforts d'utilisation. Évidemment, la réduction de l'utilisation peut aussi réduire les risques de défaillances aléatoires.

- $\beta > 1$ ($\beta > 1.5$) : Entretien préventif

Lorsque le paramètre β est nettement supérieur à un, il y a présence de vieillissement. Alors, il est de mise d'appliquer un programme d'entretien préventif. Connaissant le seuil où l'usure commence à être percevable, il devient astucieux de remplacer le composant avant cette phase.

Application

On va essayer d'appliquer maintenant la fiabilité sur les équipements des lignes de production des engrais.

Il est donc clair qu'un équipement qui a un MTBF élevé est considéré comme fiable, et a de grandes chances de remplir sa fonction tout en étant en bon état, tandis qu'un équipement qui a un MTBF faible aura un taux de défaillances élevé et sera considéré comme critique.

L'étude portera essentiellement sur les équipements à MTBF faible.

La détermination du MTBF par la méthode graphique serait délicate, vu le nombre important des équipements, et des TBF (Temps de Bon Fonctionnement) relatifs à chaque équipement.

Pour cela, on a opté pour l'utilisation d'un logiciel de calcul de fiabilité. Le logiciel Windchill Quality Solutions, qui à partir des TBF classés par ordre croissant, permet de générer une table comportant les paramètres de Weibull, à savoir β , η et γ , ainsi qu'une courbe représentant la fonction de répartition $F(t) = 1 - R(t)$.

Le paramètre β donné, il est possible à partir d'abaques, de déterminer la constante A, et par conséquent calculer le MTBF par la relation citée précédemment.

En premier lieu, nous avons essayé de ressortir les équipements critiques dans sa chaque ligne de production, à savoir les lignes 07A / 07B / 07C / 07D.

Les résultats sont donnés en annexes.

Nous remarquons bien que les résultats diffèrent d'une ligne à l'autre, avec une certaine similitude en ce qui concerne les pompes et les transporteurs.

Cependant, le raisonnement par ligne nous donne une certaine dispersion en ce qui concerne les familles d'équipements, cela veut dire qu'on ne peut pas porter notre attention sur une famille bien définie d'équipements, et dire si telle ou telle famille est pondérante en terme de criticité.

Pour cela, notre raisonnement a opté pour une classification englobant les 4 lignes de production. Cette classification nous a permis de ressortir les familles d'équipements les plus critiques.

La classification par grandes familles d'équipements a donné les résultats suivants :

Familles d'équipements	MTBF
Viroles tournantes	64,5800347
Manutention et classification	103,458226
Pompes et ventilateurs	114,436508

Tableau 3 : Classification par grandes familles d'équipements

La classification par petites familles d'équipements a donné les résultats suivants :

Equipement	MTBF
Sécheurs	18,8101814
Granulateurs	22,1931681
Cribles	47,224219
Broyeurs	62,202951
Transporteurs	73,114136
Pompes	75,6128474
Ventilateurs	88,511311
PN	107,000086

Tableau 4 : Classification par petites familles d'équipements

Ces résultats vérifient bien que les viroles tournantes sont la famille la plus critique.

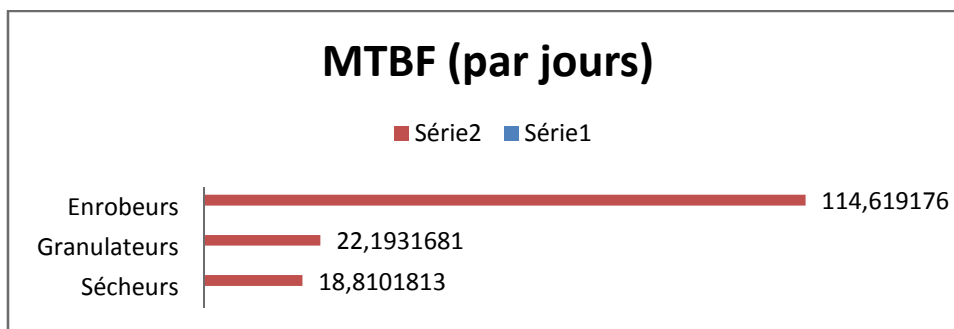


Figure 7 : MTBF des viroles tournantes

Il est à noter que le paramètre β de ces équipements est le suivant :

Equipement	β
Sécheur	1,54
Granulateur	1,31
Enrobeur	0,99

Il est donc clair que les 2 équipements : sécheur et granulateur sont dans leur période de vieillesse ($\beta > 1$), et que l'enrobeur est un équipement qui ne pose à priori aucun problème.

Les viroles tournantes sont considérées comme des équipements stratégiques dans les lignes de production. Leur arrêt provoque sans aucun doute un arrêt de la production.

On s'est intéressés de plus près au comportement des viroles tournantes lors de ces deux dernières années, en particulier le sécheur et le granulateur qui sont les plus critiques (l'enrobeur étant considéré comme un équipement moins critique).

Sur le tableau ci-dessous, on a mentionné les différentes heures d'arrêt pour chaque équipement, et durant les deux dernières années 2010 / 2011 ainsi que les quelques mois écoulés de l'année 2012. Le total représente le cumul des heures d'arrêt pour une année. Il est à noter que l'on s'est intéressé uniquement aux heures d'arrêt relatives à la maintenance mécanique, et qu'on n'a pas fait intervenir celles relatives aux autres corps de métier.

	2010	2011	2012 [fin avril]
Granulateur M01	340 h15	145h50	39h15
Sécheur	313h20	1017h15	104h25
Total heures d'arrêt [annuel]	10531h05	9012h20	2029h30

Tableau 5 : Cumul des heures d'arrêt des viroles tournantes

Par la suite, on s'est intéressé au manque à produire causé par ce cumul des heures d'arrêt, afin de pouvoir évaluer le cout de ces pertes.

Le calcul a été fait en considérant que la production se fait 24h/24, que la quantité produite est d'une moyenne de 100T/H, et que la marge sur cout variable est de l'ordre de 1000DH par tonne. Les résultats obtenus sont résumés sur le tableau suivant.

	2010	2011	Fin Avril-12
H d'arrêt	653,59	1163,09	143,67
H d'arrêt total	10531,08	9012,33	2029,50
%	6,21	12,91	7,08
Manque à produire en (KT)	65,36	116,31	14,37
Pertes occasionnées en MDH	58,82	104,68	12,93

Tableau 6 : Pertes occasionnées par les arrêts des viroles tournantes

On conclut que les pertes dues aux arrêts du granulateur M01 et du sécheur F02 sont de l'ordre de 60 MDH en 2010, presque redoublées en 2011.

Ces résultats sont assez convaincants pour dire que les viroles tournantes sont critiques, et que leur indisponibilité fait perdre une somme importante d'argent.

La famille des viroles tournantes fera donc l'objet de notre étude.

Une description des deux équipements, ainsi que leurs schémas respectifs (Sécheur & Granulateur) sont donnés en annexes.

CHAPITRE IV

CHOIX DE LA MAINTENANCE

Dans le chapitre précédent, nous avons justifié le choix des viroles tournantes comme la famille d'équipements critique qui serait sujet de notre étude.

L'un des objectifs majeurs du bureau de méthodes du service maintenance est d'assurer le bon fonctionnement des équipements, et d'améliorer leur fiabilité.

Cet objectif ne peut être atteint que si la politique de maintenance est bien définie, et ce pour chaque équipement, pour chaque sous-ensemble, et pour le plus petit des organes.

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle.
- maintenance internalisée et/ou externalisée.

Dans notre cas, que la maintenance soit externalisée ou faite par les moyens internes, ce qui nous intéresse c'est de savoir quel est le meilleur type de maintenance qu'il nous faudra appliquer sur nos équipements pour assurer leur bon fonctionnement et les fiabiliser.

Avant de procéder à un choix quelconque, il est primordial de donner un aperçu sur les différents types de maintenance existants.

➤ Types de la maintenance :

- La maintenance corrective

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

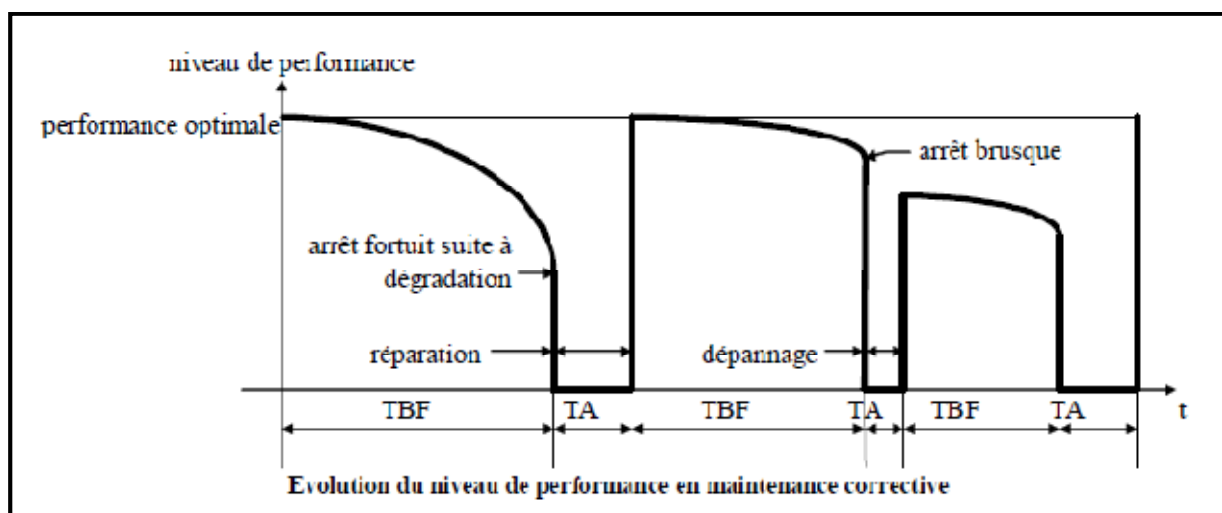


Figure 8 : Courbe descriptive de la maintenance corrective

La figure ci-dessous montre les différentes phases d'une intervention type de maintenance corrective.

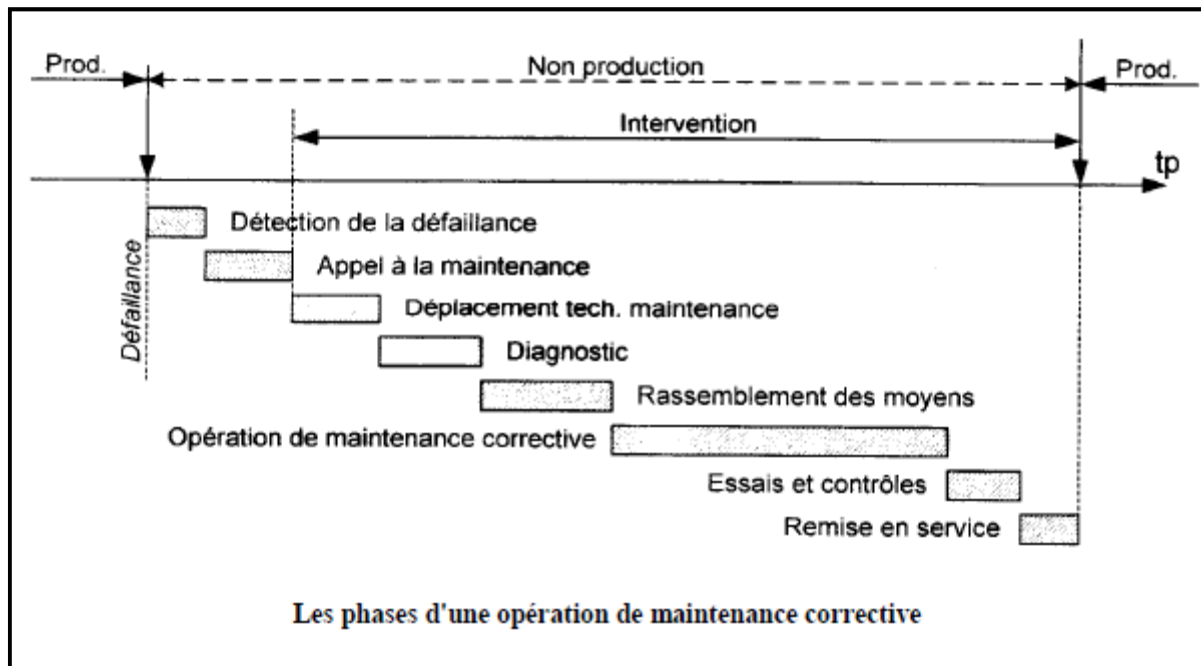


Figure 9 : Phases d'une intervention type de maintenance corrective

- **Phase 1 :** Détection de la défaillance = Temps mis par l'utilisateur du système pour constater une dérive de fonctionnement.
- **Phase 2 :** Appel à la maintenance = Temps utilisé pour informer le service maintenance avec un minimum de détails (localisation, conséquences, premiers symptômes, ...).
- **Phase 3 :** Déplacement des intervenants = Temps nécessaire aux techniciens pour se rendre sur le lieu de la défaillance.
- **Phase 4 :** Diagnostic = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour identifier la cause de la défaillance et organiser l'intervention (détection, localisation, analyse).
- **Phase 5 :** Rassemblement des moyens = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour se fournir en outillages et pièces de rechanges.
- **Phase 6 :** Opération de maintenance corrective (dépannage ou réparation) = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour remettre le système en état d'accomplir sa mission.
- **Phase 7 :** Essais et contrôles = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour valider la remise à niveau de compétence du système.
- **Phase 8 :** Remise en service = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance éventuellement associés à l'utilisateur pour permettre au système d'atteindre sa cadence nominale.

- **La maintenance préventive**

C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. La maintenance préventive englobe :

• **La maintenance préventive systématique :**

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

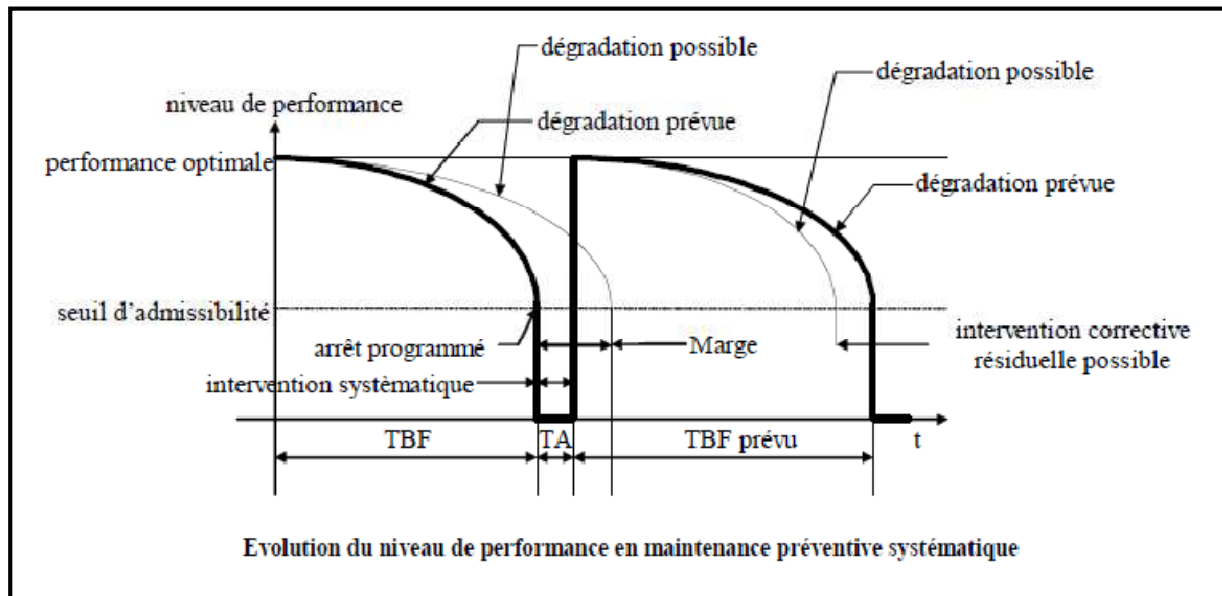


Figure 10 : Courbe descriptive de la maintenance préventive

• **La maintenance préventive conditionnelle :**

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

• **La maintenance préventive prévisionnelle :**

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

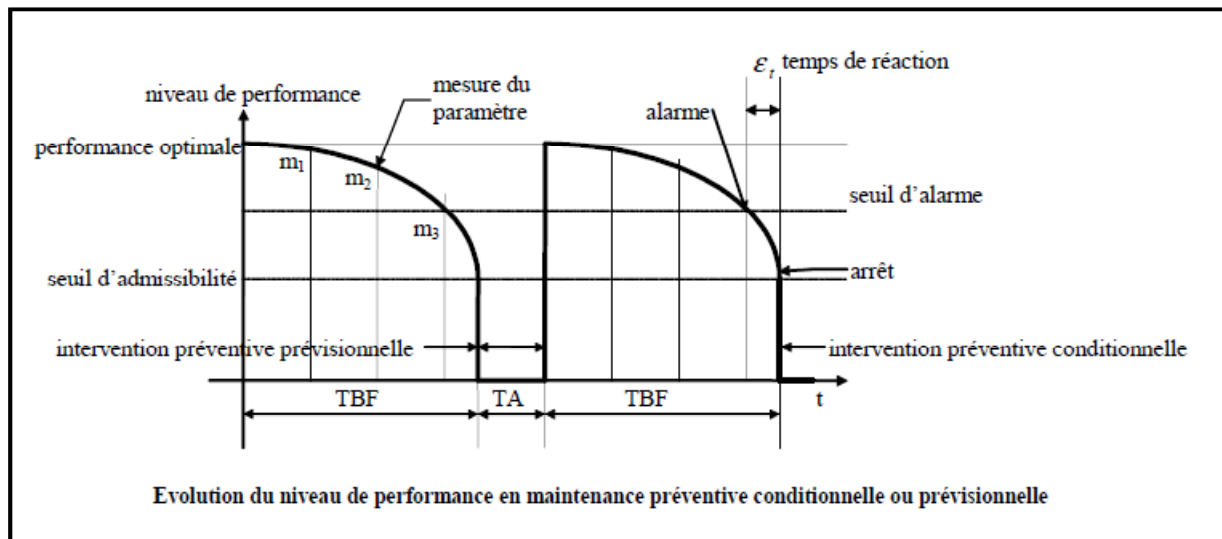


Figure 11 : Phases d'une intervention type de maintenance préventive

➤ Choix du type de maintenance :

Au moment de la détermination de la politique de maintenance qui va être mise en œuvre sur un équipement ou une installation, on se trouve devant une alternative classique : doit-on attendre la défaillance du matériel et donc être amené à intervenir sur ce matériel qui n'assure plus tout ou partie de sa fonction requise, ou bien doit-on faire l'impossible pour éviter que cette défaillance ne se développe et entraîne la « panne » du matériel ? Dans le premier cas on mettra en place une stratégie de maintenance corrective telle qu'elle est définie précédemment, alors que dans le second on s'orientera vers une stratégie de maintenance préventive.

Il peut paraître simple de répondre à cette question.

Une première analyse sommaire conduirait soit à privilégier la maintenance corrective en se basant sur le fait qu'elle est la plus simple à appliquer, qu'elle est instantanée, et ne nécessite pas une organisation prévue à l'avance, soit à privilégier la maintenance préventive en croyant que cette maintenance va supprimer totalement le risque de panne.

De ce dernier fait il n'en est rien, car la maintenance préventive ne fait que « réduire la probabilité d'apparition d'une défaillance ». Une analyse plus approfondie montre que le choix entre maintenance corrective et maintenance préventive demande la connaissance et l'examen d'un certain nombre de critères qui, selon le contexte, auront plus ou moins d'importance. Ces critères relèvent des aspects :

- techniques : fiabilité, maintenabilité, etc. ;
- économiques : coûts de maintenance, d'indisponibilité, etc. ;
- de sécurité : des biens et des personnes ;
- environnementaux ;
- de qualité.

Il existe plusieurs outils pour répondre à cette question qui revient sans cesse dans un service maintenance :

« Faut-il choisir de garder le correctif ou de mettre en œuvre un préventif systématique ? »

Ces outils sont choisis en fonction de l'existence ou non des données opérationnelles, à savoir les historiques des défaillances, le suivi des différents coûts de maintenance, directs ou indirects.

❖ **Si on ne dispose pas de données opérationnelles :**

Dans ce cas, on utilise des abaques, en particulier celles de M.NOIRET. Ce sont des fiches de choix qui permettent une approche qualitative du choix à opérer, et qui peuvent déterminer en première approximation la forme de maintenance (préventive ou corrective) à appliquer sur un équipement.

Cet outil peut être utilisé dans les cas (souvent fréquents) où on ne dispose pas d'historiques à jour.

❖ **Si on dispose de données opérationnelles :**

Dans ce cas, on dispose généralement d'un historique de l'équipement tenu à jour, et on peut effectuer une étude de fiabilité par le modèle de Weibull, ce qui nous permettra de situer l'équipement et ses sous-ensembles dans la « courbe en baignoire ».

➤ **Approche qualitative :**

Dans notre cas, nous allons tout d'abord procéder à une approche qualitative, en utilisant les abaques de Noiret.

Ces abaques vont nous permettre de faire un choix entre la maintenance corrective ou préventive. Les critères de sélection du type de maintenance sont les suivants :

- L'âge du matériel
- L'indépendance du matériel (redondance, importance, etc.)
- La complexité du matériel
- Le coût du matériel
- L'origine du matériel
- La perte ou non de produit en cas de défaillance
- Les conditions de travail
- Les délais d'exécution

Les abaques de Noiret sont données en annexes.

Les différents critères de sélection du type de maintenance sont donnés dans les tables ci-dessous dites Tables de Noiret, ainsi que leurs pondérations et leurs coefficients.

Table de Noiret						
Machine No : _____			Désignation : _____			
Critère	Poids	Coef	Critère	Poids	Coef	
Les conditions de travail :			Interdépendance du matériel :			
- Production continue 3x 8	50	5	- Matériel d'infrastructure à marche continue	35	2	
- Production de Jour 2x 8	35	5	- Matériel d'infrastructure à marche discontinue	25	2	
- Production à 1 poste 1x 8	15	5	- Matériel sans tampon en amont ou en aval	25	2	
Délais d'exécution :			Complexité du matériel :			
- Délai impératif avec perte de clients	45	5	- Très complexe et inaccessible	45	1	
- Délai impératif avec paiement d'indemnité	30	5	- Peu complexe et inaccessible	25	1	
- Délai serré	20	5	- Très complexe et accessible	25	1	
- Délais inexistant (livraison sur stock)	5	5	- Peu complexe et accessible	5	1	
L'âge du Matériel :						
- Matériel neuf (- 1an)	45	2				
- Matériel jeune (1 à 5 ans)	30	2				
- Matériel âgé (5 à 10 ans)	20	2				
- Matériel démodé (10 ans)	5	2				

Table de Noiret						
Machine No : _____			Désignation : _____			
Critère	Poids	Coef	Critère	Poids	Coef	
Coût du Matériel :			Robustesse du matériel :			
- Matériel très spécial (300000F)	55	1	- Matériel de grande précision et de maniement délicat	30	1	
- Matériel coûteux compris entre 100000F et 300000F	25	1	- Matériel travaillant en surcharge	30	1	
- Matériel peu coûteux compris entre 20000F et 100000F	15	1	- Matériel peu robuste	25	1	
- Matériel pas coûteux (20000F)	5	1	- Matériel de précision robuste	10	1	
Origine du matériel :			Perte de produit :			
- Matériel étranger sans Soutien Technique (ST)	45	2	- Produits perdus non commercialisables	55	1	
- Matériel étranger avec ST	25	2	- Pièces à reprendre	35	1	
- Matériel national à petite diffusion	20	2	- Pièces commercialisables sans reprises.	10	1	
- Matériel national à grande diffusion	10	2				
Sous-total 1			Sous-total 2			
Total général						

Figure 12 : Tables de Noiret

➤ **Interprétation des résultats :**

- En dessous de 500 points, il n'est pas nécessaire de faire du préventif.
- Entre 500 et 540 points, il y a des possibilités de réaliser du préventif. On pourra affiner cette possibilité en mettant en place du correctif résiduel.
- Au dessus de 540 points, le préventif est nécessaire.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus lors de l'application des tables de Noiret sur les viroles tournantes et leurs sous-ensembles respectifs.

Eqt ou ss ensemble	Conditions de travail	Délais d'exécution	Age du matériel	Interdépendance du matériel	Complexité du matériel	Coût du matériel	Origine du matériel	Robustesse du matériel	Pertes de produit	Total
Sécheur Granulateur	250	150	10	70	25	55	90	5	35	690
Pignon/ Couronne	250	150	40	70	25	55	50	10	35	685
Galets porteurs	250	150	10	70	25	25	50	5	35	620
Galets butées	250	150	10	70	25	25	50	5	35	620
Réducteur	250	150	40	70	5	15	90	5	35	660
Coupleur hydraulique	250	150	40	70	5	15	90	5	35	660
Accouplements PV et GV	250	150	60	70	5	5	50	5	35	630

Tableau 7 : Résultats de l'application des tables de Noiret sur les viroles tournantes et leurs sous-ensembles

Résultat :

Nous constatons que les équipements ainsi que leurs sous-ensembles ont cumulé un total de points supérieur à 540 points.

Il n'y a plus aucun doute, la maintenance préventive n'est pas seulement souhaitable, mais plutôt obligatoire.

➤ Approche quantitative :

On va procéder à une étude de fiabilité en suivant le modèle de Weibull.

La mise en pratique de cette loi va permettre de répondre aux deux questions suivantes :

- Existe-t-il une période d'intervention systématique T telle que la maintenance préventive soit plus économique que la maintenance corrective ?
- Si oui, quelle est cette période optimisée θ ?

Cet outil d'optimisation sera nommé l'outil « r, β ».

Cette méthode a pour but de déterminer la période optimale où il faudrait procéder à une intervention préventive avant qu'une défaillance n'apparaisse.

- Mise en œuvre de la méthode :

Il faut en 1^{er} lieu connaître :

- La loi comportementale $R(t)$ du constituant.
- Le coût « p » du correctif qui est égale au coût de l'intervention préventive liée au remplacement du constituant défectueux.
- Le coût indirect « P » des conséquences de la défaillance.

On appellera $r = P/p$ le ratio de « criticité économique » de la défaillance.

Domaine de validité : $2 < r < 100$

- Evaluation du coût $C1$ de l'intervention corrective :
 - Le coût moyen d'une intervention corrective est $p+P$.
 - Le coût moyen par unité d'usage est :
$$C1 = \frac{p + P}{MTBF}$$
- Evaluation du coût $C2(\theta)$ d'une intervention préventive systématique :
Si θ est la période de l'intervention préventive du constituant, le coût aura deux termes :
 - Le coût de l'intervention p .
 - Le coût du correctif résiduel lié au risque de défaillance avant θ et évalué par sa probabilité $F(t)$.

Ce coût est égal à :
$$P.F(t) = P.(1 - R(t))$$

Le coût moyen par unité d'usage est donc :

$$C2(\theta) = \frac{p + P.(1 - R(t))}{m(\theta)}$$

Avec $m(\theta)$ est la durée de vie moyenne du composant ne dépassant pas θ .

- Critère de choix :

Le préventif systématique sera choisi s'il existe une période Θ telle que :

$$\boxed{C2(\theta) < C1} \quad \text{ou} \quad \boxed{\frac{C2(\theta)}{C1} < 1}$$

Dans ce cas, la valeur $t = \Theta$ est optimisée.

On forme le rapport :

$$\frac{C2(\theta)}{C1} = \frac{p + P(1 - R(\theta))}{m(\theta)} \cdot \frac{MTBF}{p + P}$$

On constate que le rapport $C2(x)/C1$ est dépendant de deux paramètres :

- β caractère la forme de la distribution.
- r paramètre économique qui caractérise le rapport des coûts indirects / directs (criticité des défaillances)
- Exploitation du rapport : $C2(x)/C1$:

En plus des 2 paramètres cités précédemment, le rapport fait aussi intervenir le temps. On trace alors sur un graphique une série de courbes $C2(x)/C1 = f(x)$ pour des valeurs successives de Θ et de r .

Les abaques sont données en annexes.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus lors de l'application du modèle de Weibull sur les viroles tournantes et leurs sous-ensembles respectifs.

Sous-ensemble	MTBF moyen	β	η	p	P	r	x	Θ
Galets porteurs	22	1,25	19,32	303012	4700000	15,51	0,4	8
Galets butées	18	1,3	19,48	339625	1800000	6	0,54	11
Pignon	18	1,35	19,63	312353,8	1300000	5	0,55	10
Couronne	18	1,35	19,63	1289639	2300000	2	0,7	14

Tableau 8 : Calcul de la période optimale d'une intervention préventive pour les sous-ensembles des viroles tournantes

Résultat :

Le tableau ci-dessus nous a donné une idée sur la période où il serait préférable de faire une intervention préventive systématique.

Cette méthode ne nous permet pas de déterminer la nature exacte de l'intervention préventive (Contrôle, révision, entretien, changement...), mais nous pousse à procéder à une surveillance au bout d'une période Θ afin de vérifier si tout marche bien et agir en conséquence s'il y a existence de signes alarmants.

Il est à noter que cette période Θ est donnée juste à titre indicatif, car il n'a pas été facile de déterminer avec exactitude les différents coûts de la maintenance.

Conclusion

Un bien commence son cycle de vie avec une fiabilité intrinsèque qu'il est souvent crucial de corriger fondamentalement. Un investissement supplémentaire, quelque fois réduit à de simples modifications sur l'équipement, peut pallier les insuffisances initiales.

Les études de fiabilité devront donc amener à étudier, sinon de nouveaux choix, au moins des solutions visant un meilleur contrôle des risques de défaillances.

Ce contrôle passe donc obligatoirement par la mise en place d'indicateurs adaptés.

A ce titre, le taux de défaillances ou le calcul de MTBF est celui qui est le plus représentatif de la fiabilité.

L'objectif des lois de fiabilité est alors de déterminer des périodicités d'intervention en maintenance préventive systématique, puis par retour d'expérience (historiques), d'en mesurer les effets (positifs ou négatifs) sur le taux de défaillance.

La sélection des

interventions préventives pourra alors se faire comme le montre le diagramme ci-dessous.

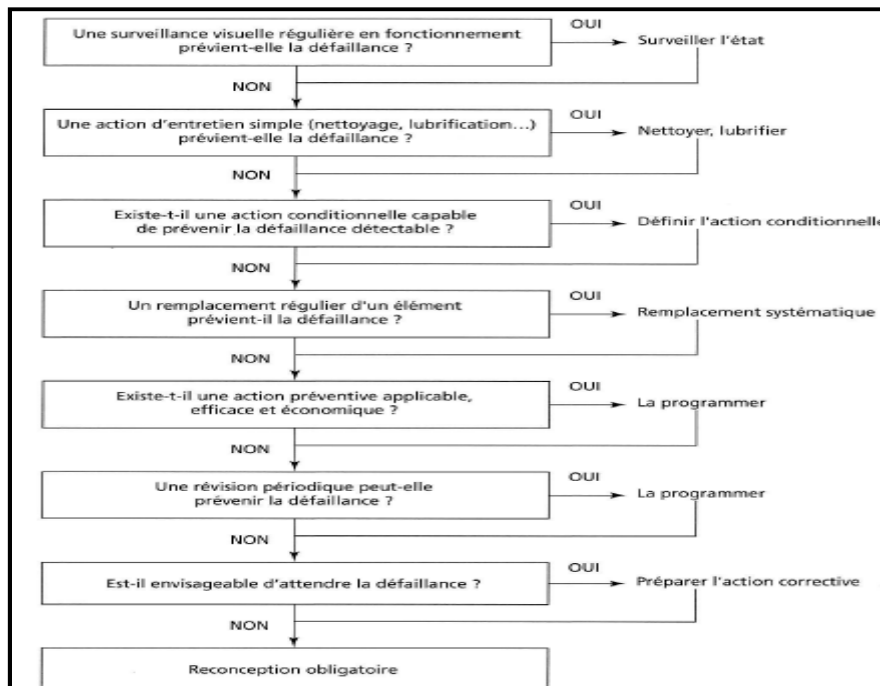


Figure 13 : Démarche à suivre pour le choix du type de maintenance

CHAPITRE V

DEFINITION DES ACTIONS DE MAINTENANCE

➤ **Introduction :**

Ce chapitre a pour but essentiel d'analyser les défaillances potentielles que connaissent la famille des viroles tournantes, en particulier le sécheur et le granulateur, dans le but de :

- Estimer les risques d'apparition des défaillances.
- Estimer les conséquences de leur occurrence.
- Engager les actions correctives nécessaires.

Ce chapitre va nous permettre de ressortir les actions à mettre en place pour remédier aux défaillances. La méthode que nous allons utiliser à cette fin va nous permettre d'identifier le type d'actions à choisir pour chaque défaillance ou anomalie potentielles, à savoir des actions de type préventif, correctif, prédictif, des changements au niveau conception, type de maintenance, méthodologies de travail, etc...

Par la suite, nous présenterons la méthode utilisée, à savoir la méthode DAME, ainsi qu'une application de cette dernière sur les viroles tournantes des anciennes lignes de production des engrais.

➤ **Présentation de la méthode DAME :**

La méthode DAME, littéralement « Définition des actions de maintenance des équipements » est une méthode qui a été présentée par un formateur étranger lors d'une formation sur les méthodologies de la maintenance.

Comme son nom l'indique, cette méthode consiste à définir les actions de maintenance à réaliser sur un équipement.

Elle entre dans la politique de maintenance de l'équipement, et met en valeur à la fois la maintenance préventive, la maintenance prédictive (mesures...), ainsi que les pièces de rechange à tenir en magasin.

La méthode DAME repose sur les études AMDEC, elle est notamment plus poussée et couvre plusieurs aspects de la politique maintenance de l'équipement :

- Découpage fonctionnel et technique
- Arbres de défaillances
- Gammes et plans de préventif
- Gammes et plans de prédictif
- Pièces de rechange à stocker
- Techniques et moyens de contrôle

Cette méthode permet aussi de définir des actions complémentaires telles que :

- Grosses opérations de remise en état
- Conditions de stockage des pièces de rechange
- Procédures de conduite
- Procédures spécifiques de maintenance
- Outillage spécifique
- Actions de fiabilisation à mener
- Programme de formation des opérateurs et mainteneurs

➤ **Méthodologie de DAME :**

- Découpage fonctionnel et technique
- Répertoire de tous les dysfonctionnements potentiels
- Notation de la criticité des défaillances
- Hiérarchisation des défaillances
- Analyse Causes-Racines
- Recherche de solutions préventives
- Recherche de solutions prédictives
- Rechanges pour les actions curatives

ETAPE I : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE ET TECHNIQUE

SECHEUR 07J F02

- Décomposition technique des organes :

Les caractéristiques techniques des différents organes mécaniques sont données en annexes.

- Décomposition fonctionnelle et technique :

<u>Famille</u>		<u>Viroles Tournantes</u>	
<u>Equipement</u>	<u>Sécheur F02</u>		
<u>Ensemble</u>			
<u>Groupe de commande</u>	<u>Sous- ensemble</u>	<u>Fonction</u>	
	Moteur Electrique GV	Entraîner la virole à grande vitesse	
	Réducteur	Augmenter le couple moteur	
	Coupleur hydraulique type FAD	Assurer la protection et la sécurité du moteur	
	Accouplement Elastique :N-Eupex (GV)	Transmettre la vitesse d'un arbre menant à un arbre mené	
<u>Groupe de Virage</u>	<u>Sous- ensemble</u>	<u>Fonction</u>	
	Moteur Electrique PV	Entraîner la virole à petite vitesse	
	Réducteur	Augmenter le couple moteur	
	Accouplement ZAPEX (à dentures) + frein hydraulique	Transmettre le couple d'un arbre menant à un arbre mené	
	Frein centrifuge	Eviter toute survitesse	
Accouplement auto-débrayable (à dentures)	Accoupler ou désaccoupler le vireur au réducteur principal		

Groupe Mécanique	<u>Sous ensemble</u>	<u>Fonction</u>
	Accouplement A Denture : Zapex (PV)	Transmettre la puissance d'un arbre menant à un arbre mené
	Accouplement Elastique : N-Eupex (GV)	
	Accouplement auto-débrayable (à dentures)	Accoupler ou désaccoupler le vireur au réducteur principal
	Pignon d'attaque + Paliers Pignon	Permettre la rotation de la virole
	Couronne	
	Galets porteurs + Paliers	Supporter la virole tournante
	Galets butées	Freiner la virole tournante lors de sa rotation
	Bandages	Soutenir la virole tournante
	Virole	Contenir le produit
	Châssis	Supporter le sécheur
	Cage d'écureuil	Bloquer les gros blocs de produits, et les empêcher de sortir
	Joint d'écailles	Assurer l'étanchéité au niveau de l'entrée du sécheur
	Joint d'entrée sécheur	Empêcher le produit de s'échapper de l'extrémité entrée du sécheur
Système de décolmatage	Empêcher le colmatage de la matière	

<u>Système de lubrification</u>	<u>Sous ensemble</u>	<u>Fonction</u>
	Centrale de graissage	Assurer la lubrification des organes mécaniques
	Groupe Moto-Pompe	Entraîner la pompe hydraulique
	Radiateur	Refroidir l'huile du réducteur pour éviter sa surchauffe
	Filtre Radiateur	Protéger le radiateur de la poussière et des impuretés

Tableau 9 : Décomposition fonctionnelle du sécheur F02

Granulateur 07J M01

- Description technique des organes :

Les caractéristiques techniques des différents organes mécaniques sont données en annexes.

- Décomposition fonctionnelle et technique :

<u>Famille</u>		<u>Viroles Tournantes</u>	
<u>Equipement</u>	Granulateur		
<u>Ensemble</u>			
Groupe de commande	<u>Sous- ensemble</u>		<u>Fonction</u>
	Moteur Electrique GV		Entraîner la virole à grande vitesse
	Réducteur		Augmenter le couple moteur
	Coupleur hydraulique type FAD		Assurer la protection et le démarrage progressif du moteur électrique
	Accouplement Elastique: N-Eupex (GV)		Transmettre la vitesse d'un arbre menant à un arbre mené
Groupe de Virage	<u>Sous- ensemble</u>		<u>Fonction</u>
	Moteur Electrique PV		Entraîner la virole à petite vitesse pour des travaux d'inspection et d'essais
	Réducteur FLENDER		Augmenter le couple moteur
	Accouplement RUPEX + frein hydraulique		Transmettre le couple d'un arbre menant à un arbre mené
	Frein tambour à 2 sabots		Eviter toute survitesse
	Accouplement auto-débrayable (à crabots) FLENDER		Accoupler ou désaccoupler le vireur au réducteur principal

Groupe Mécanique	<u>Sous ensemble</u>	<u>Fonction</u>
	Accouplement A Denture : Rupex (PV)	Transmettre le couple d'un arbre menant à un arbre mené
	Accouplement Elastique : Perflex (GV)	
	Accouplement N-EUPEX	
	Accouplement auto-débrayable (à crabots)	Accoupler ou désaccoupler le vireur au réducteur principal
	Pignon d'attaque + Paliers Pignon	Permettre la rotation de la virole
	Couronne	
	Galets porteurs + Paliers	Supporter la virole tournante
	Galets butées	Freiner la virole tournante lors de sa rotation
	Bandages	Soutenir la virole tournante
	Virole	Contenir le produit
	Châssis	Supporter le sécheur
	Cage d'écureuil	Bloquer les gros blocs de produit, et les empêcher de sortir
	Joint d'écailles	Assurer l'étanchéité à la sortie du sécheur
	Joint d'entrée sécheur	Assurer l'étanchéité à l'extrémité entrée du sécheur
Système de décolmatage	Empêcher le colmatage de la matière	
Revêtement	Empêcher le colmatage de la matière	

Système de lubrification	<u>Sous ensemble</u>	<u>Fonction</u>
	Centrale de graissage	Assurer la lubrification des organes mécaniques
	Groupe Moto-Pompe	Entraîner la pompe hydraulique
	Radiateur	Evacuer la chaleur du moteur pour éviter sa surchauffe
	Filtre Radiateur	Protéger le radiateur de la poussière et des impuretés

Tableau 10 : Décomposition fonctionnelle du granulateur M01

Pour le groupe de virage, nous présenterons une description fonctionnelle des différents organes.

➤ **Définition :**

Le groupe de virage est destiné à assurer la rotation à faible vitesse du tambour rotatif, le plus souvent granulateur ou sécheur.

En cas d'arrêt de l'entraînement principal, il permet notamment :

- D'éviter des prises en masse du produit se trouvant dans le tube
- D'éviter des détériorations de virole, bandages, galets porteurs, roulements, lorsque le tambour est fortement chargé ou à haute température.

En cas d'entretien normal, il permet :

- De faire défiler lentement les équipements mécaniques (bandage, couronne, pignon...) pour inspection.
- D'arrêter le tambour dans une position bien précise.

* **Frein Electrique à tambour :** Il est de type à mâchoires. Il permet d'arrêter le tambour dans une position précise. Il empêche :

- L'entraînement du vireur lorsque l'accouplement est enclenché (moteur principal et de virage à l'arrêt) sous l'effet du balourd de tambour.
- L'entraînement du vireur par le moteur principal en cas de manœuvre accidentelle de l'accouplement auto-débrayable.

* **Frein centrifuge automatique :** Ce frein évite toute survitesse en cas de :

- Desserrage accidentel du frein électrique
- Défaillance du frein électrique

* **Accouplement auto-débrayable :** Son rôle est d'accoupler ou désaccoupler le vireur au réducteur principal, et donc au tambour. Il est important de noter qu'il reste enclenché tant que le balourd du tambour (dû essentiellement au talus du produit) s'oppose au sens de rotation imprimé par le vireur. Si le balourd venait à entraîner le tambour dans son sens normal de rotation, l'accouplement se désengage automatiquement.

ETAPE II : REPERTOIRE DES DYSFONCTIONNEMENTS POTENTIELS

Compte tenu de l'historique des pannes et défaillances, pris de la base de données du bureau des méthodes, nous avons pu relever pour chaque organe les dysfonctionnements qui lui sont associés, ainsi que toutes les anomalies susceptibles d'en être les causes.

Pour chacune des défaillances, on a calculé la criticité en se basant sur 2 critères, à savoir la probabilité que cette défaillance arrive, ainsi que la gravité que présente cette défaillance.

		1	2	3	4
PROBABILITE	P	Pas Probable	Peu Probable	Probable	Très Probable
GRAVITE	G	Pas Grave	Peu Grave	Grave	Très Grave

$$\text{CRITICITE} = P * G$$

Tableau 11 : Echelle de cotation – Probabilité & Gravité

Famille : Viroles tournantes				
Equipements : Sécheur 07J/F02 – Granulateur 07J/M01				
Système : Groupe de commande				
Sous-ensemble	Anomalie/Défaillance			Causes apparentes
Coupleur hydraulique	Fuite d'huile			-Usure des tampons d'accouplement - Alignement non réglé - Excès du niveau d'huile
	P	G	C	
	4	4	16	
	Fusion fusibles			-Quantité d'huile insuffisante - Le coupleur n'est pas étanche - La virole est bloquée
	P	G	C	
	3	4	12	
	Bruit			-Usure des roulements -Vibrations Excessives -Alignement incorrect -Forte charge
	P	G	C	
2	2	4		
L'arbre de sortie n'atteint pas la vitesse maximale			-Quantité d'huile insuffisante -Le coupleur n'est pas étanche	
P	G	C		
	2	2	4	
Moteur	Pas de rotation du moteur			-Pas d'alimentation -Absence de commande -Moteur Hors Service
	P	G	C	
	1	4	4	

	Rotation du moteur inversée			-Erreur de câblage
	P	G	C	
	1	4	4	
Coupleur- moteur- réducteur	Usure des roulements			- Manque de lubrification
	P	G	C	
	2	3	6	
	Vibrations			- Jeu d'accouplement - Usure des tampons d'accouplement - Usure des roulements du moteur
	P	G	C	
2	3	6		
Tous organes	Vibrations excessives			- Fissures sur le châssis des galets porteurs - Desserrage des boulons du châssis
	P	G	C	
	3	4	12	
Réducteur	Echauffement			-Problème au niveau du filtre de la centrale hydraulique - Excès du niveau d'huile -Absence de reniflard
	P	G	C	
	2	3	6	
	Grippage			-Manque de lubrifiant - Lubrifiant inadapté
	P	G	C	
2	3	6		

Famille : Viroles tournantes				
Equipement : Sécheur 07J/F02 – Granulateur 07JM01				
Système : Groupe Mécanique				
Organe	Anomalie/Défaillance			Causes possibles
Chape de la couronne dentée	Cisaillement des boulons de fixation			- Mauvais choix de boulons - Vibrations
	P	G	C	
	4	4	16	
	Déplacement de l'axe et de la goupille de freinage de la chape.			-Vibrations -Usure
	P	G	C	
	3	4	12	
	Usure au niveau de l'axe de la chape			- Ovalisation des chapes par diminution du jeu de fond de dent
	P	G	C	
4	4	16		

Accouplement	Cisaillement du manchon			-Désalignement et vibrations au niveau de toute la chaîne cinématique
	P	G	C	
	2	3	6	
	Déplacement			- Désalignement et vibrations au niveau de toute la chaîne cinématique
	P	G	C	
	2	3	6	
	Cisaillement des boulons du flasque			-Vibrations excessives (Désalignement)
	P	G	C	
	2	2	4	
	Désalignement			-Mauvais montage
P	G	C		
3	3	9		
Rupture des éléments élastiques			-Désalignement -Usure des tampons	
P	G	C		
3	3	9		
Tous organes	Vibrations excessives			-Fissures sur le châssis des galets porteurs -Desserrage des boulons du châssis
	P	G	C	
	3	4	12	
Cage d'écureuil	Détachement barreaux			-Présence de gros cailloux de matière qui frappent sur la grille -Mauvais soudage des barreaux
	P	G	C	
	4	4	16	
Pignon d'attaque	Ecaillage / Usure			-Jeu pignon/couronne -Désalignement au niveau de la chaîne cinématique
	P	G	C	
	4	4	16	
	Grippage			-Manque lubrifiant -Lubrifiant inadapté
	P	G	C	
	2	3	6	
	Rupture			-Surcharge
	P	G	C	
	1	4	4	
Usure des roulements			-Manque de lubrification	
P	G	C		
3	3	9		
Couronne dentée	Ecaillage / Usure			-Jeu pignon/couronne -Désalignement au niveau de la chaîne cinématique
	P	G	C	
	4	4	16	

	Grippage			-Manque lubrifiant -Lubrifiant inadapté
	P	G	C	
	2	3	6	
	Rupture			-Surcharge
P	G	C		
2	4	8		
Bandages	Fissures			-Manque de cache -Milieu agressif et très poussiéreux -Manque de graissage
	P	G	C	
	4	3	12	
	Déplacement			-Non Coaxialité bandages /virole
P	G	C		
4	4	16		
Galets	Echauffement des paliers			-Roulements usés -Cônes desserrés
	P	G	C	
	3	3	9	
	Cisaillement de l'arbre			-Surcharge de la virole -Mauvais alignement
	P	G	C	
	2	4	8	
	Blocage			-Roulements défectueux
	P	G	C	
	3	3	9	
	Usure			- Milieu agressif et très poussiéreux - Surcharge
P	G	C		
4	4	16		
Virole	Fissuration			- Milieu agressif et très poussiéreux -Fatigue
	P	G	C	
	3	3	9	
	Fuite de produit			-Mauvaise étanchéité de la virole
P	G	C		
4	4	16		
Châssis	Vibrations excessives			-Mal fixation
	P	G	C	
	3	3	9	

Famille : Viroles tournantes				
Équipement : Granulateur 07J/M01				
Système : Groupe mécanique				
Élément	Anomalie/Défaillance			Causes apparentes
Revêtement interne	Usure bande caoutchouc			-Frottement -Mauvaise qualité de bande
	P	G	C	
	3	3	9	
	Cisaillement des boulons de fixation			-Vibrations excessives
	P	G	C	
2	3	6		

Famille : Viroles tournantes				
Équipement : Sécheur 07J/F02 – Granulateur 07J/M01				
Système : Groupe de lubrification				
Organe	Dysfonctionnement			Causes apparentes
Réservoir de graissage des galets	Bouchage			-Manque de reniflard -Dépôt de quantités de poussière au fond du réservoir
	P	G	C	
	3	3	9	

Tableau 12 : Tables de dysfonctionnements potentiels et leurs criticités

Avec l'équipe maintenance, on a opté pour un seuil de criticité égal à 16.

Ainsi pour les défaillances dont la criticité est égale à 16, on procédera à une analyse causes-racines.

Les défaillances dont la criticité est importante, mais inférieure à 16, seront traitées par la suite.

ETAPE III : Analyse Causes-Racines

Dans l'étape précédente, nous avons mis en évidence les principaux dysfonctionnements relevés d'une façon permanente par les inspecteurs et agents du service maintenance, ainsi que les causes apparentes.

Nous avons calculé la criticité de chacune des défaillances. Nous avons pris comme critères de calcul de criticité la probabilité que cette défaillance arrive, ainsi que la gravité que présente cette défaillance.

Cependant, pour arriver à détecter les vraies causes de la défaillance, et monter jusqu'au causes réelles, nous devons prendre en compte d'autres critères à savoir :

- Le temps d'arrêt qu'engendre la défaillance :
Si $TA > 8$ heures, il s'agit d'un arrêt très long, et la défaillance est considérée comme prioritaire. La recherche et la proposition de solutions devient urgente.
- La récurrence de la panne ou de la défaillance :
Une défaillance sera considérée comme répétitive et fréquente, si elle apparaît au moins 3 fois par semaine. Des actions doivent être prises.
- Les recommandations du constructeur :
Une défaillance sera considérée critique si elle est jugée impardonnable par le constructeur.

Compte tenu de la criticité préalablement calculée, et de ces trois nouveaux critères, nous avons privilégié les défaillances et problèmes suivants :

- Usure pignon/ couronne
 - Usure des galets
 - Déplacement des bandages
 - Problème d'étanchéité de la virole.

Pour ces défaillances majeures, nous allons donc essayer de détecter les causes réelles. Pour cela, on va faire appel à l'analyse Causes-Racines, et on optera pour la méthode des 5Pourquoi.

➤ **Méthode des 5 Pourquoi :**

Cet outil d'analyse permet de rechercher les causes d'une situation problème, d'un dysfonctionnement. C'est un outil de questionnement systématique destiné à remonter aux causes premières possibles d'une situation, d'un phénomène observé. C'est une version simplifiée de l'arbre des causes qui consiste à se poser plusieurs fois de suite la question : « Pourquoi ? » et à répondre à chaque question en observant les phénomènes physiques.

La plupart des problèmes sont entièrement résolus en moins de 5 questions.

✚ **Problème N°1: Usure Pignon / Couronne**

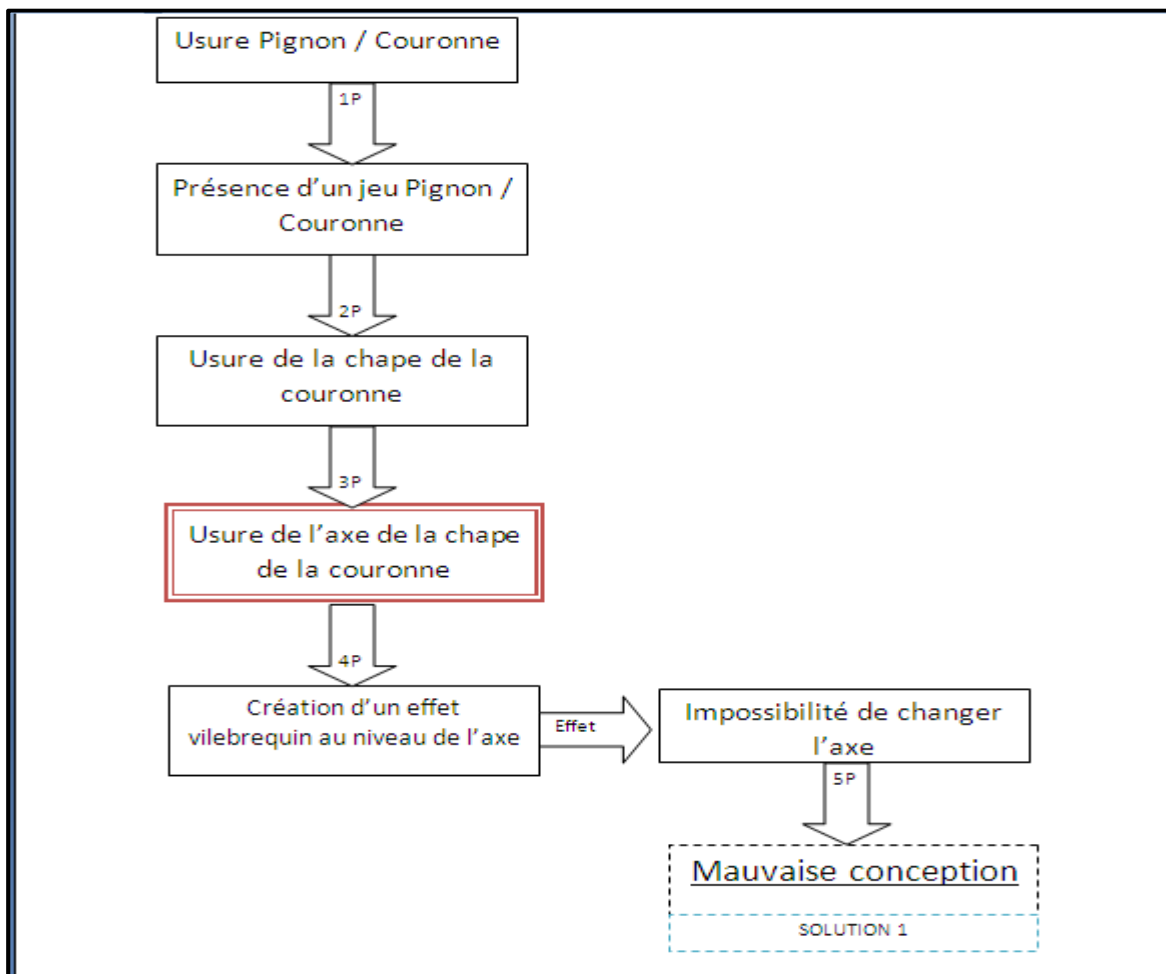


Figure 16 : Causes Racines Problème N°1

🚧 Problème N°2 : Usure des galets / Usure des bandages

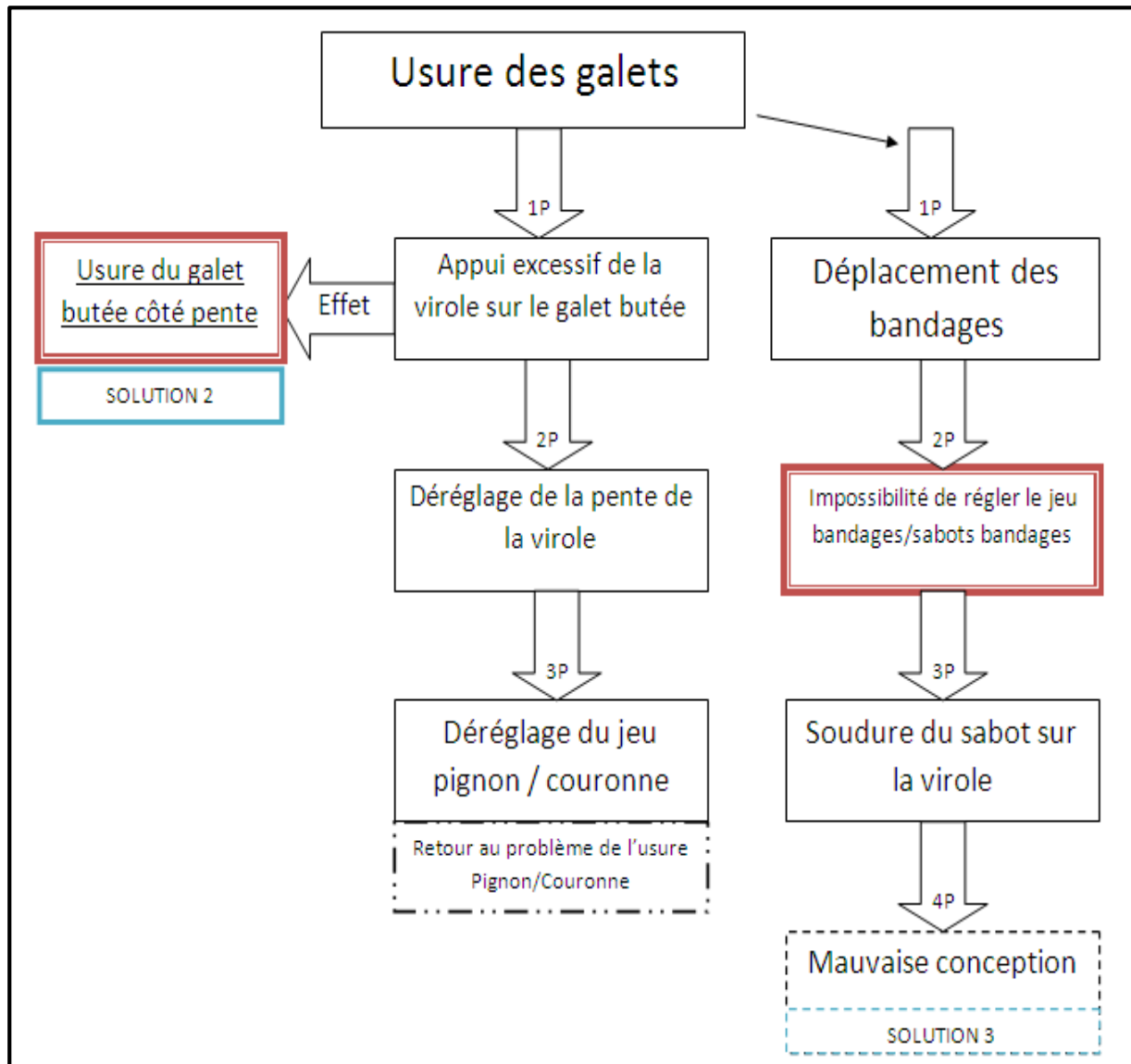


Figure 17 : Causes Racines Problème N°2

🚧 Problème N°3: Etanchéité de la virole à la sortie du sécheur :

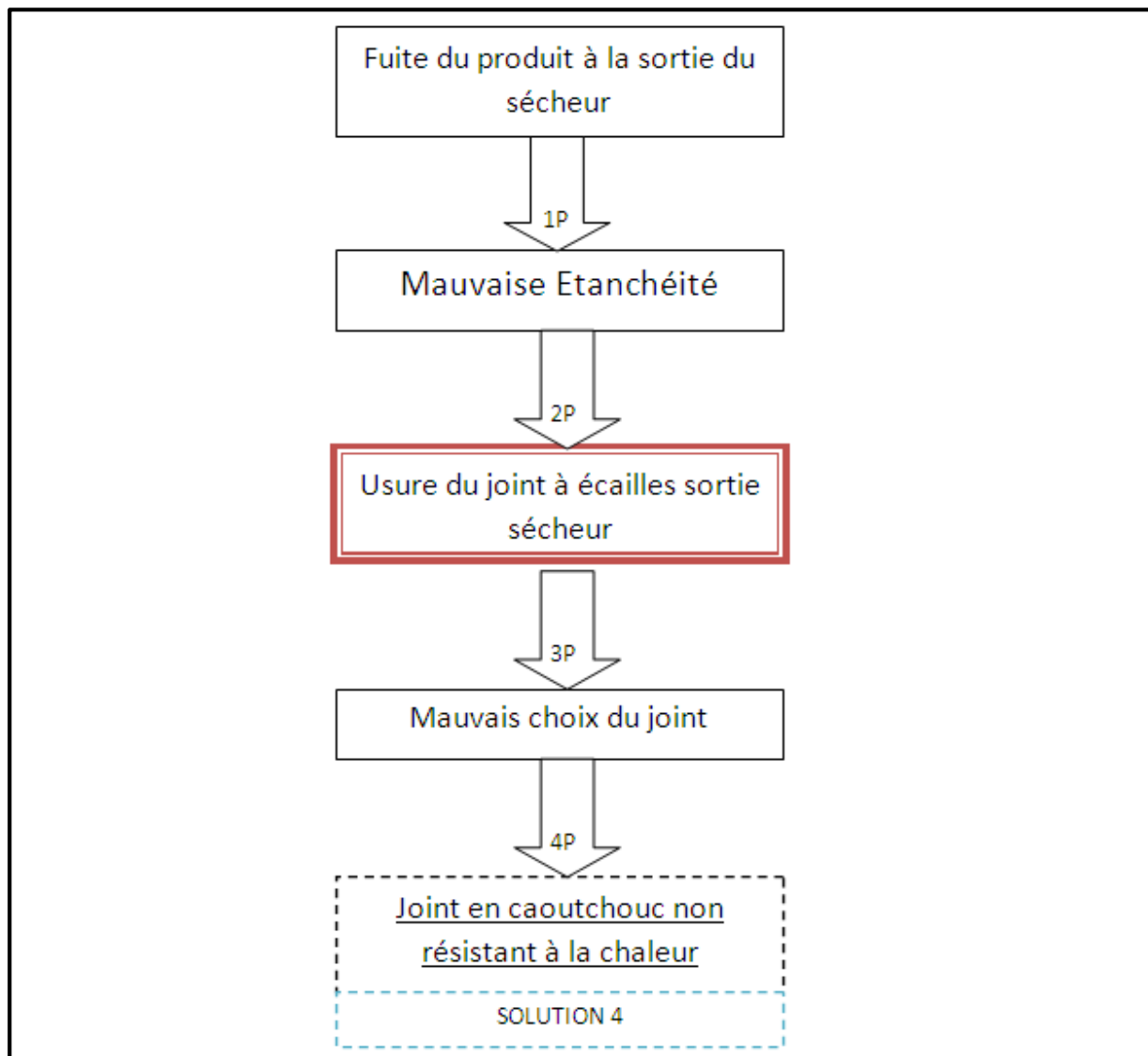


Figure 18 : Causes Racines Problème N°3

✚ Problème N°4 : Etanchéité de la virole à l'entrée du sécheur :

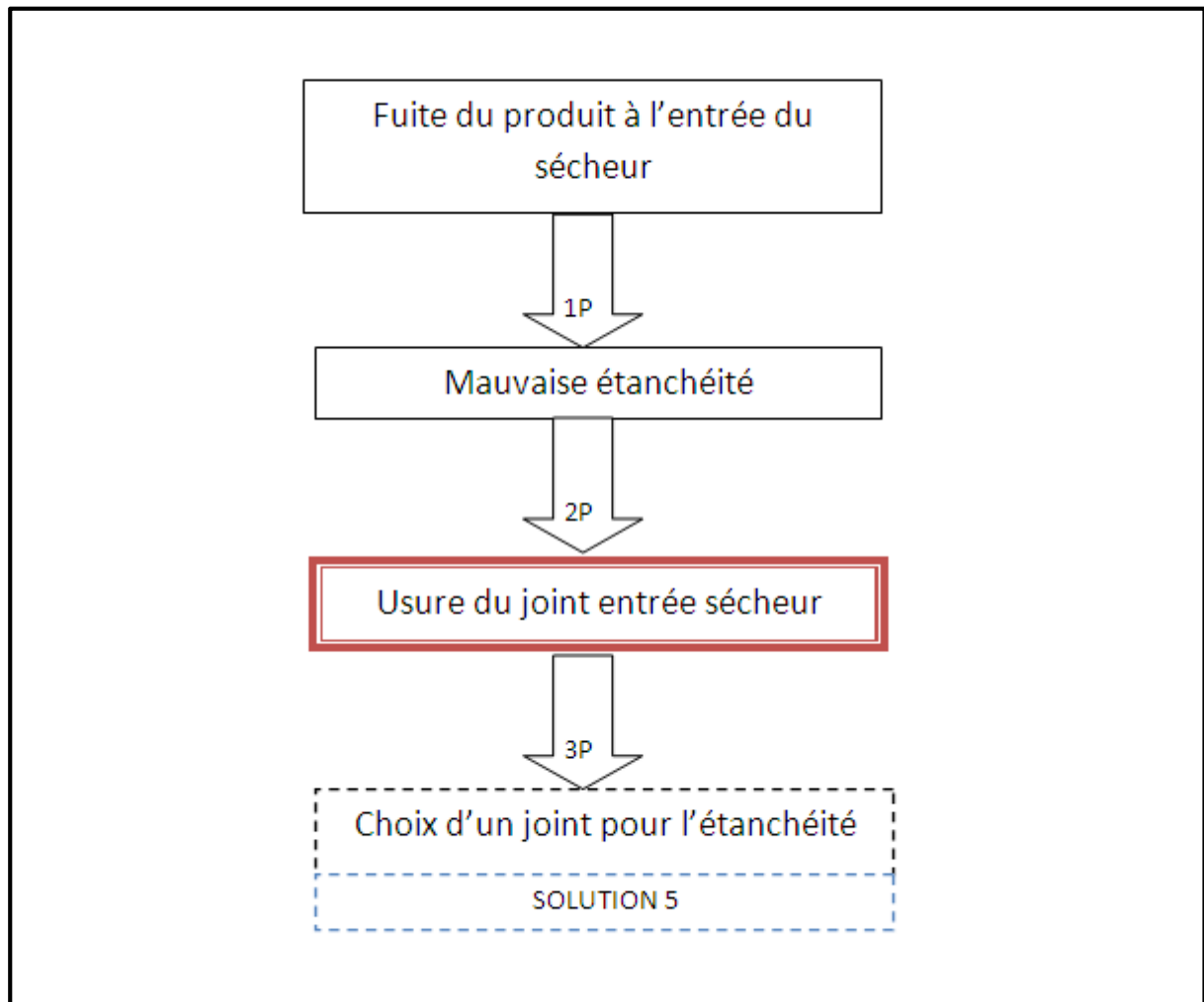


Figure 19 : Causes Racines Problème N°4

ETAPE IV : Proposition de solutions techniques

L'analyse causes racines nous a permis de ressortir les causes primaires des défaillances et anomalies principales.

Pour chaque cause racine identifiée, on doit proposer des solutions.

Pour cela, on utilisera une méthode qui entre dans le processus de résolution de problèmes, et qui à partir de solutions proposées et de critères, permet d'identifier la solution la plus optimale à partir d'un vote pondéré.

➤ Description de la méthode multicritères :

La méthode consiste en un premier temps à définir des critères de choix de solutions. Ce sont des critères d'évaluation de la solution, on retrouve souvent le coût, la qualité, la facilité, la rapidité...

Pour déterminer ces critères, on peut utiliser un brainstorming, puis les classer grâce à un vote pondéré.

Bien sûr, le classement des critères va varier suivant le type de solutions à mettre en œuvre.

Par exemple, si vous avez à transporter un organe à greffer de Nancy à Toulouse, le critère le plus important sera la rapidité.

Mais si vous avez à transporter du sable, alors là, le critère le plus important ne sera plus la rapidité mais peut-être le coût...

Dans notre cas, les critères choisis pour une solution seront :

- L'efficacité
- Le coût
- La facilité de réalisation

Avec l'équipe de travail, nous avons procédé à un vote pondéré afin de déterminer quel est le critère le plus pertinent.

Le résultat du vote pondéré a été le suivant :

Critères	Résultats du vote pondéré
Efficacité	4
Coût	3
Facilité de réalisation	3

Tableau 11 : Résultats du vote pondéré de la méthode de la matrice de criticité

Ensuite, nous allons réaliser un tableau (ou matrice) dans lequel nous allons répartir par colonne, c'est-à-dire pour chaque critère, 10 points (avec un maximum de 5 points par solution). La solution qui correspond le mieux au critère étant celle qui aura le plus grand nombre de points.

Nous utiliserons les coefficients de pondération dans ce tableau, en multipliant chaque note obtenue pour un critère par sa pondération.

Pour chaque défaillance principale, et pour chaque cause racine, nous allons appliquer cette méthode.

⇒ Problème : Usure Pignon / Couronne
Cause racine : Usure de l'axe de la chape de la couronne


		CRITERES			
		Efficacité (4)	Coût (3)	Facilité de réalisation (3)	<u>SOMMES</u>
SOLUTIONS	Changer l'axe	1 * (4)	2 * (3)	2 * (3)	16
	Monter une rondelle identique à la chape	3 * (4)	4 * (3)	5 * (3)	39
	Changer la conception : Utiliser des axes équipés de coussinets d'usure	5 * (4)	4 * (3)	3 * (3)	41 

Tableau 12 : Matrice de criticité N°1

⇒ Problème : Usure des galets
Cause racine : Usure du galet butée


		CRITERES			
		Efficacité (4)	Coût (3)	Facilité de réalisation (3)	<u>SOMMES</u>
SOLUTIONS	Changer le galet après chaque usure	3 * (4)	1 * (3)	2 * (3)	21
	Agir sur la virole	2 * (4)	3 * (3)	3 * (3)	26
	Travailler en redondance avec l'autre galet	5 * (4)	5 * (3)	5 * (3)	50 

Tableau 13 : Matrice de criticité N°2

⇒ Problème : Usure des galets & bandages
 Cause racine : Impossibilité de régler le jeu
 bandages/support de bandages


		CRITERES			
		Efficacité (4)	Coût (3)	Facilité de réalisation (3)	<u>SOMMES</u>
SOLUTIONS	Changer la conception : Utiliser des bandages à sabots boulonnés au lieu de sabots soudés	5*(4)	5*(3)	5*(3)	50 
	Changer la conception : Utiliser des bandages crantés	5*(4)	4*(3)	3*(3)	41

Tableau 14 : Matrice de criticité N°4

⇒ Problème : Mauvaise étanchéité de la virole
 Cause racine : Usure du joint à écailles sortie sécheur


		CRITERES			
		Efficacité (4)	Coût (3)	Facilité de réalisation (3)	<u>SOMMES</u>
SOLUTIONS	Changer le matériau du joint	5 * (4)	5 * (3)	5 * (3)	50 
	Changer les joints après chaque usure	1 * (4)	2 * (3)	3 * (3)	19
	Choisir un autre moyen d'étanchéité	4 * (4)	3 * (3)	2 * (3)	31

Tableau 15 : Matrice de criticité N°5

⇒ Problème : Mauvaise étanchéité de la virole
Cause racine : Usure du joint entrée sécheur

		CRITERES			
		Efficacité (4)	Coût (3)	Facilité de réalisation (3)	<u>SOMMES</u>
SOLUTIONS	Changer le matériau du joint	1 * (4)	5 * (3)	5 * (3)	34
	Changer les joints après chaque usure	1 *(4)	2 *(3)	2 * (3)	16
	Choisir un autre moyen d'étanchéité : Chicane en acier	8 * (4)	2 * (3)	2 * (3)	44

Tableau 16 : Matrice de criticité N°6

Les solutions optimales sont celles qui ont obtenu le maximum de points.

Dans notre cas, nous retenons les solutions suivantes :

- Au niveau des chapes, installer des axes équipés de coussinets d'usure.
- Travailler en redondance pour les galets butés.
- Au niveau des bandages, utiliser des bandages lisses à sabots boulonnés.
- Au niveau du joint de sortie sécheur, utiliser un autre matériau résistant à la température.
- Au niveau du joint d'entrée sécheur, installer une chicane en acier.

➤ **Description des solutions proposées :**

- Pour les galets butés, il faut **travailler en redondance**, pour que le galet buté droit ne subisse pas l'usure causée par la pente de la virole. D'autre part, le galet est constitué de roulements, or un roulement qui ne marche pas est susceptible de s'user rapidement. Dans ce cas, sans cette solution, nous perdrons à la fois le galet droit qui sera usé, et les roulements de l'autre galet.

La situation actuelle cause des temps d'arrêt de 47 heures/ an.

Sachant que le taux de production est de 100 Tonnes / heure, et que le coût de revient est de 1000 DHS / Tonne, alors le coût de non production est :

$$\text{Coût de non production actuel (annuel)} = 47 * 100 * 1000 = 4700000 \text{ DHS.}$$

Si on estime que cette solution réduit de 50% les temps d'arrêt, alors cette solution permettra de réduire les heures d'arrêt de 47 heures à 25heures approximativement, soit un :

$$\text{Coût de non production éventuel (annuel)} = 2500000 \text{ DHS.}$$

De même, le seul coût qui intervient dans cette solution est celui de la main d'œuvre.

Sachant que le changement de galet nécessite un arrêt de 96H et une MO représentée par 8 mécaniciens, et sachant qu'un mécanicien est payé à un prix estimatif de 150Dhs/Heure, alors le coût estimatif de MO est :

$$\text{Prix MO} = 8*96*150 = 115200 \text{ DHS}$$

De même, ce changement nécessitera un arrêt de production de 8 heures, donc un coût d'arrêt de production estimé à :

$$\text{Prix Arrêt de Production} = 8 * 100* 1000 = 800000 \text{ Dhs}$$

Le coût de changement d'un galet sera donc = 115200 + 800000 = 915200 Dhs

Vérification de la rentabilité de la solution :

Coût total = 915200 + 2500000 = 3415200 DHS << 4700000 DHS.

- Pour l'usure des axes de la chape, la solution proposée consiste en un changement de la conception. La nouvelle conception aura comme but d'**installer des axes équipés de coussinets d'usure**.

L'axe de la chape tel qu'installé actuellement, subit des usures, ce qui est fort normal. Ces usures causent ce qu'on appelle un effet vilebrequin de l'axe, ce qui rend son extraction quasi impossible à moins de le détruire, et difficilement.

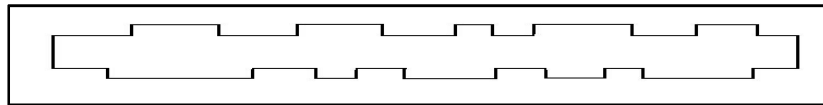


Figure 20 : Effet vilebrequin de l'axe

La solution proposée propose d'installer une bague (ou coussinet d'usure) pas très chère, en bronze avec 4 trous de fixation ainsi que 4 trous taraudés pour faciliter son extraction et qui subira l'usure à la place de l'axe de la chape.

Nous présentons dans les images ci-dessous le coussinet d'usure.

Le schéma représentant la bague montée sur l'axe est donné en annexes.

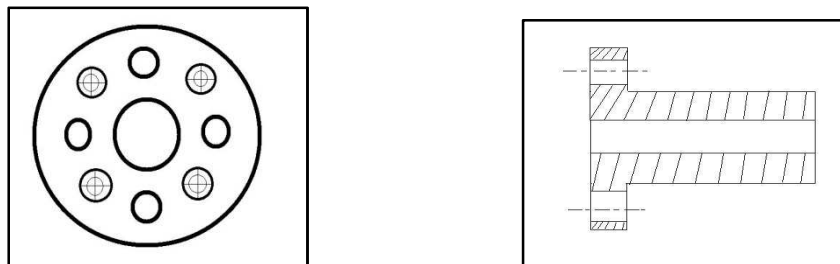


Figure 21 : Bague d'usure

- Pour remédier au jeu existant entre le bandage et la virole, on propose d'opter pour une utilisation de **bandages lisses à sabots boulonnés** au lieu de sabots soudés comme c'est le cas actuellement.

Le problème qui existe actuellement est qu'on n'arrive pas à agir sur le jeu qui peut exister entre la face interne du bandage et la virole, car les sabots du bandage sont soudés sur la virole.

La solution propose à opter pour des bandages lisses à sabots boulonnés, comme ceux installés récemment dans la nouvelle ligne. Avec cette solution, à chaque fois qu'un jeu entre le bandage et la virole est détecté, on peut déboulonner, régler le jeu avec des cales adéquates, et boulonner une autre fois.

Cela nous permettra aussi d'agir seulement sur le bandage, plutôt d'essayer de trouver une solution portant sur les galets ou autre.

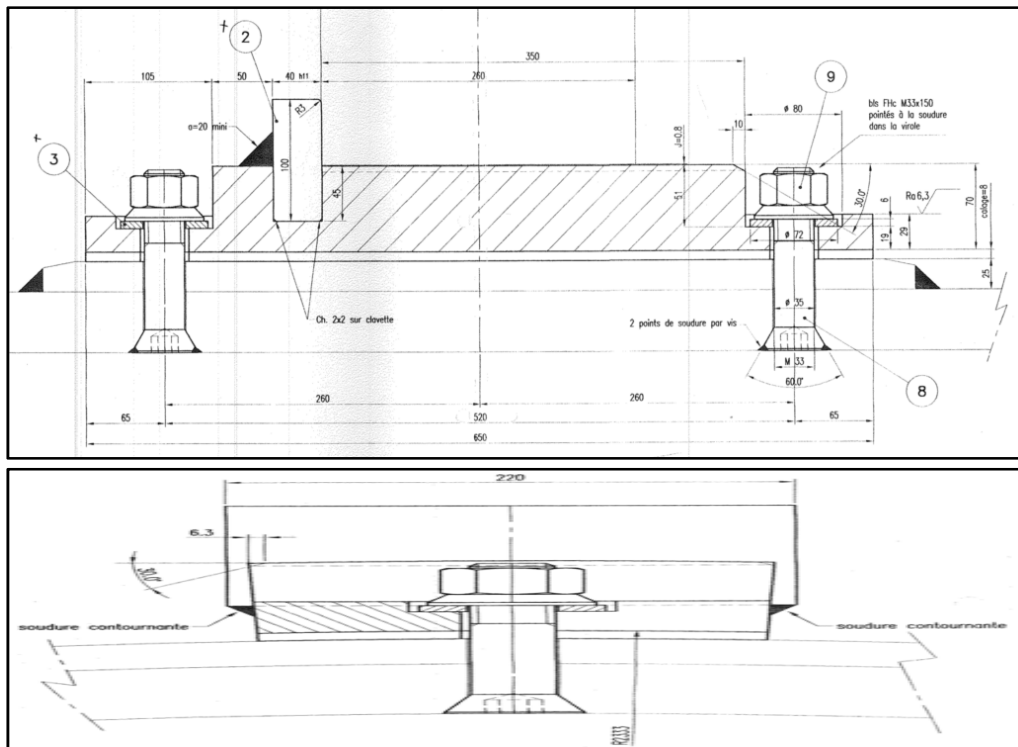


Figure 22 : Sabot boulonné

Il est à noter que le prix des sabots boulonnés est de 1500 DHS nettement inférieur à celui des sabots soudés qui est de l'ordre de 2100 DHS.

- Pour l'étanchéité de la virole, on propose pour la sortie sécheur de changer le matériau du joint à écailles. En effet, la température émanant de la chambre à combustion n'est pas très excessive à la sortie du sécheur, mais assez pour causer la détérioration d'un joint en caoutchouc, qui n'adhère plus, causant ainsi des fuites importantes de produit.

La solution propose donc un joint à écailles **en graphite**.

Il est à noter que le prix du joint en graphite est de 1000DHS.

- L'étanchéité à l'entrée de la virole ne sera cependant pas assurée par un joint, car la température émanant de la CAC est excessive, et aucun des matériaux utilisés (Caoutchouc, Teflon, Klengerite...) ne pourra y résister, et donc la solution proposée est de **réinstaller la chicane en acier**, qui était installée à l'achat.

Pour les autres défaillances relevées, quoiqu'elles ne soient pas très critiques, on essaiera par la suite de proposer des actions correctives pour y remédier.

- Solutions correctives :

Suite aux solutions techniques proposées précédemment, et avant d'entamer une recherche de solutions préventives et prédictives, on présentera tout d'abord des solutions correctives et immédiates, faciles à appliquer et à mettre en œuvre.

Il existe un grand nombre de défaillances et d'anomalies qui persistent. Néanmoins, si ces défaillances sont solutionnées, elles permettront de diminuer amplement les pertes et d'améliorer la qualité de fonctionnement des équipements, ainsi que l'environnement de travail des maintenanciers.

➤ **Problème de détachement des barreaux de la cage d'écureuil :**

La cage d'écureuil est conçue de telle façon à rester comme telle. Le problème qui se pose actuellement, est qu'il y a des barreaux qui manquent.

Cause Principale : Les gros blocs de matière sortant du granulateur viennent frapper sur les barreaux de la grille de la cage d'écureuil, cela crée des fissures qui se propagent au fur et à mesure, jusqu'à rupture ou détachement des barreaux. La cause racine de ce problème était de ne pas respecter l'équidistance entre les barreaux pour des raisons du process.

Ce problème implique à son tour un autre problème beaucoup plus grand :

Le détachement des barreaux crée à chaque fois un arrêt, vu qu'un barreau pourra bloquer le fonctionnement d'un élévateur à godets ou un autre équipement.

On tourne donc dans un cercle vicieux, et sans résultats satisfaisants.

D'autant plus que les heures d'arrêt relatives à ce problème sont estimées à 50 heures/ an, causant ainsi des pertes de coût de non production de l'ordre de 5000000DHS.

Pour tous ces problèmes, on propose les solutions suivantes :

- Acheter une nouvelle cage d'écureuil. Le prix étant estimé à 15000DHS.
- Appliquer la maintenance préventive, en faisant des contrôles systématiques afin de détecter les éventuelles fissures.

(Les informations relatives à ces contrôles sont consignées sur le plan de maintenance)
- Externaliser la réparation pour une société experte en la matière.

➤ **Problème d'échauffement du réducteur :**

Le réducteur est composé d'un train d'engrenages. Ces engrenages doivent être lubrifiés avec de l'huile par barbotage. Le niveau d'huile doit être contrôlé et respecté, sinon il y aurait sûrement un échauffement du réducteur.

D'autre part, le reniflard du réducteur doit être équipé d'un filtre, sinon il y aurait des impuretés qui s'infiltreraient, ce qui provoquerait également un échauffement du réducteur.

➤ **Problème de détachement des boulons de fixation des chapes de la couronne dentée :**

Les boulons de fixation des chapes de la couronne dentée subissent parfois des cisaillements, dus au mauvais choix de matériau.

En effet, le matériau adéquat pour ces boulons est l'acier **HR** classe 12.9 ce qui correspond à une résistance à la rupture de 1200 MPa.

Or le matériau qui a été utilisé dernièrement, et qui a fait preuve de sa non-conformité, est l'Acier HR classe 8.8 qui correspond à une résistance à la rupture de 800 MPa.

D'où l'importance de vérifier le matériau avant son utilisation, en le soumettant à des essais de traction.

➤ **Problème d'usure des dentures de l'accouplement ZAPEX (Pignon/Réducteur) du sécheur F02 :**

L'accouplement ZAPEX est un accouplement à dents, qui s'engrènent entre elles.

Cet accouplement a des arrêts d'huile pour assurer la lubrification des engrènements. Elles doivent normalement être baignées dans un bain d'huile. C'est ce qui se fait généralement, mais parfois par manque d'huile, on utilise de la graisse noire qui est très dangereuse, car au cours du mouvement de l'accouplement, la graisse va s'échapper lors d'un passage entre deux dents des deux manchons d'accouplement, et ne sera pas restituée. En conséquence, les dentures ne seront plus lubrifiées, et vont s'entrechoquer entre elles, ce qui causera leur usure.

Il est donc très important de lubrifier cet accouplement uniquement avec de l'huile.

➤ **Problème de bouchage du réservoir de graissage des galets/pignon/couronne :**

Le bouchage du réservoir de graissage des galets/pignon/couronne est dû principalement à un dépôt de quantités importantes de poussière au fond du réservoir qui s'infiltreraient lorsqu'on soulève le couvercle pour contrôler le niveau de graisse.

Pour remédier à ce problème, on propose d'installer un reniflard coudé au niveau du réservoir comme celui indiqué sur la photo.

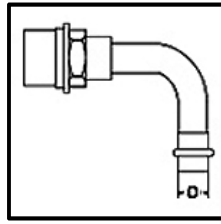


Figure 23 : Reniflard industriel

Il est à noter que le reniflard doit être équipé d'un filtre pour ne pas laisser passer les éventuelles impuretés. Ce filtre doit être systématiquement nettoyé ou changé, car quand le filtre sera bouché, il y aurait une surpression au niveau du réservoir, et cela a pour effet une grande consommation d'huile.

L'installation du reniflard ne nécessite pas un arrêt de production, peut être fait par un seul mécanicien, et il est à noter que le prix d'un reniflard est de l'ordre de 170 DHS.

➤ **Problème des fissures des bandages / galets :**

Malgré toutes les précautions et les mesures prises, il y aura toujours des fuites de produit, et comme il y a toujours des problèmes au niveau de l'assainissement, ce qui crée un milieu agressif et poussiéreux qui attaque tous les équipements, les bandages et les galets en particulier, et provoquent leur usure par abrasion, comme il est clairement constaté sur cette photo.



Figure 24 : Usure des bandages

Afin de remédier à ce problème, on propose de remettre les caches pour les bandages et les galets dans le but de les préserver de toute attaque extérieure et leur assurer du coup une longue durée de vie.

➤ **Problème de vibrations excessives :**

Le problème de vibrations est assez complexe, et peut être dû à plusieurs facteurs. On cite notamment :

- La détérioration des paliers.
- Le desserrage de boulons de fixation de la couronne dentée.
- Le desserrage des boulons de fixation du châssis.
- La présence d'empreintes sur les galets.

Ces causes ne sont pas uniques, il en existe un tas d'autres. Notamment pour celles citées, on propose de prévoir une protection des galets contre les grains abrasifs - comme il a été cité précédemment-, un serrage permanent des boulons ainsi qu'un recours vers l'analyse vibratoire, technique qui fera l'objet des solutions prédictives.

ETAPE V : Proposition de solutions préventives

Conformément à la Norme EN13306, la maintenance préventive est l'ensemble des opérations exécutées à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinées à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation de fonctionnement d'un bien.

Le but premier de la maintenance préventive est de réduire à priori la probabilité de certaines défaillances supposées de l'équipement, améliorer sa disponibilité et réduire les coûts de défaillance (en termes de pertes de production et coûts de réparation).

De même, le recours à la maintenance préventive permet d'assurer la sécurité des personnes et la qualité du produit fabriqué.

Dans le cadre de cette vision, on proposera par la suite des solutions préventives afin de remédier à quelques problèmes et défaillances que subissent les viroles tournantes.

Ces solutions consisteront en des mesures préventives telles que des contrôles, des inspections et des interventions de maintenance.

Afin d'avoir toutes les informations concernant ces interventions, à savoir l'opération à faire, les pièces à utiliser, l'unité d'œuvre nécessaire, il a été préférable de regrouper toutes ces informations dans un plan de maintenance préventif PMP.

➤ **Plan de Maintenance Préventive (PMP)**

Le Plan de Maintenance Préventive est la liste de toutes les interventions nécessaires à effectuer sur une machine ou une installation en termes de nettoyage technique, contrôle, visite, inspection, intervention de maintenance... pour la maintenir à son état de référence.

On peut différencier entre deux types de PMP :

- Le PMP systématique qui se base essentiellement sur la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.
- Le PMP conditionnel qui se base sur la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

Ci-dessous un aperçu du plan maintenance préventive actuellement existant. On remarque que les PMP systématique et conditionnel sont donnés indépendants et donnés chacun à part.

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE LIES A L'EQUIPEMENT							
Équipement		Plan de Maintenance Préventive Systématique					Code Gamme
Matricule*	Libellé	Code PMP	Libellé PMP	DPR	Périodicité en		Opérateur
					Unité**	périodicité***	
	POMPE P01	PMS_P01	DEMONTAGE DE LA POMPE POUR REVISION	ROUE	A	4	
				ROUE DE DECHARGE	A	4	
				ARBRE	A	4	
				BOITE A BOURRAGE	A	4	
				ENTRETOISE	A	4	

Figure 25 : PMP systématique actuel

Équipement		Plan de Maintenance Conditionnelle			Déclencheur				Gamme		
Mes	Libellé	Code PMC	Libellé PMC	Périodicité de relevé	Jeux avant montage		Jeux résiduels	Unité	Grandeur mesurée**	Code	Libellé
					Seuil mini	Seuil maxi					
3	CONVOYEUR A BANDE DE RECYCLAGE	PMC_T02	MESURE DE JEU INTERNE DES ROULEMENTS	1M	tête+renvoi: 0,050 inflexion: 0,030	0,07 0,040		MM	JEU	G_T02àT14#	REMPLACEMENT DE ROULEMENTS

Figure 26 : PMP conditionnel actuel

Pour l'élaboration des PMP, on a préféré établir un seul PMP incluant à la fois le PMP systématique et le PMP conditionnel, afin qu'on ait une lecture globale de toutes les opérations concernant les viroles tournantes.

Pour la sélection des tâches, trois critères ont été pris en compte : le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité.

On a essayé d'ajouter des données afin que la lecture soit complète, et pour que les opérateurs ainsi que toute l'équipe maintenance, aient toutes les informations nécessaires relatives aux tâches à effectuer.

En effet, pour chaque tâche, on a indiqué la périodicité de l'opération, le temps alloué, l'outillage utilisé, les pièces de rechange associées ainsi que leurs quantités et leurs codes OCP, et les compétences des opérateurs qui vont effectuer la tâche.

Il est à noter que le choix de la périodicité se fait généralement de manière empirique, car la plupart des temps, aucune valeur de référence précise n'est connue.

Néanmoins, pour l'élaboration de ce PMP, on a opté pour la démarche suivante :

- Pour les opérations concernant le changement systématique des sous-ensembles obsolètes, le calcul de la périodicité utilisant la méthode LCC. Il est détaillé dans le chapitre « Périodicité et renouvellement ».
- Pour les autres opérations, on s'est basé principalement sur les recommandations du constructeur, ainsi que sur l'expérience de l'équipe maintenance.

D'autre part, et toujours concernant les modifications apportées au PMP actuel, on a ajouté des opérations qui ne se faisaient pas auparavant, et on a apporté des modifications au niveau des anciennes opérations.

Par exemple :

- On a réduit la périodicité de serrage des boulons de 4 mois à 1 mois.
- La mesure du jeu de fond de dent pignon-couronne se fait tous les 4 mois, on propose de le faire chaque mois, et à chaque arrêt subit.
- Le retournement de la couronne dentée est prévu pour une période de 8 ans après la mise en service. On propose de le faire au bout de 5 ans maximum, et que le renouvellement se fasse au bout de 8 ans. Idem pour le pignon d'attaque.
- De même, pour la cage d'écureuil, on propose que le renouvellement se fasse au bout de 5 ans au lieu de 8.

Le PMP relatif aux viroles tournantes F02 et M01 est donné en annexes.

➤ **Plan de Lubrification :**

La lubrification est une opération primordiale car elle permet de maintenir en bon état les éléments tournants de l'équipement.

Le rôle du lubrifiant est qu'il permet d'éviter les frottements, les échauffements, la consommation d'énergie et par conséquent réduit considérablement les phénomènes d'usure.

Une bonne lubrification consiste au :

- Respect rigoureux de la périodicité de lubrification.
- Respect de la qualité du lubrifiant.
- Respect de la quantité du lubrifiant.
- Respect de la procédure de lubrification.

Le planning de lubrification de chaque équipement tournant est déterminé suite aux prescriptions des constructeurs dans les dossiers machine et affiné par le retour d'expérience des équipes de maintenance.

Les plans de lubrification des viroles tournantes F02 et M01 sont donnés en annexes.

➤ **Gammes Opératoires :**

La gamme consiste à formaliser les meilleures pratiques et façons de faire les contrôles, les réglages et les démontages et les remontages. Cette formalisation des gammes permet de définir :

- Les différentes tâches à effectuer avec un style clair et précis.
- Les moyens humains et matériels nécessaires.
- Les pièces et sous-ensembles de rechange nécessaires.
- Les mesures de sécurité et d'hygiène à respecter.
- Le temps d'arrêt par équipement tournant.

Les gammes respectives du sécheur F02 et granulateur M01 sont donnés en annexes.

ETAPE VI : Proposition de solutions prédictives

Dans les étapes précédentes, nous avons proposé des solutions qui vont dans le sens de l'entretien curatif, qui visent à appliquer des actions immédiates, et d'autres qui vont dans le sens préventif, et qui se sont résumées dans un plan de maintenance, englobant ainsi toutes les actions à mettre en pratique avant que la défaillance ne subsiste.

Dans cette étape, nous allons essayer de proposer des solutions qui tenteront d'être à l'écoute de l'équipement.

L'analyse prédictive permet d'identifier à quel moment un équipement sur le terrain risque de tomber en panne ou de nécessiter une maintenance. Cela permet d'**optimiser le temps de disponibilité** et/ou de bon fonctionnement des équipements pour assurer leur maintenance.

La philosophie du prédictif permet ainsi :

- D'écouter et de mieux connaître les équipements productifs.
- De limiter les opérations d'entretien systématique.
- D'augmenter la disponibilité des équipements.
- D'améliorer la qualité de production.
- De réduire les coûts de maintenance.
- De réduire les coûts des consommables.

La méthode repose sur la mesure de paramètres représentatifs (en principe, sans aucun démontage et en cours de production), de l'état d'un équipement ou d'un sous-ensemble, tels que vibration, température, vitesse de rotation, etc. Les valeurs obtenues sont comparées à des valeurs de référence, dites seuil d'alarme.

Les opérations de maintenance ne sont déclenchées que de façon spécifique en fonction du résultat de cette "écoute" qui permet soit le constat d'une dégradation dans le comportement de la machine, soit un calcul de tendance par une extrapolation des valeurs relevées dans le temps.

➤ **Application :**

Dans notre cas, nous allons proposer deux solutions qui vont dans cette même vision de prédictif, à savoir une application de l'analyse vibratoire et l'analyse d'huile.

- **Analyse vibratoire :**

Actuellement, au service maintenance, l'analyse vibratoire est effectivement utilisée, sous forme de mesures vibratoires en niveau global.

La mesure des vibrations en niveau global permet de qualifier l'état général d'une machine par comparaison à des normes ou des mesures précédentes. Cette stratégie de surveillance consiste en un suivi de l'évolution dans le temps d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération). Les vibrations mécaniques sont détectées par un capteur de vibrations, monte sur le palier de la machine, qui convertit le signal mécanique en

un signal électrique qui sera acheminé à un mesureur de vibrations pour l'analyser et afficher la valeur globale.

Le suivi se fait de deux façons différentes : continu en ligne, ou périodique sous forme de rondes plus ou moins espacées dans le temps. La périodicité des mesures est adaptée en fonction de l'évolution des indicateurs. Plus une augmentation est rapide, plus les contrôles doivent être rapprochés. Dans notre cas, ces mesures sont prises un jour sur deux.

Il est obligatoire que les conditions de fonctionnement de la machine ainsi que les conditions de mesure (vitesse, charge, températures etc.) doivent être rigoureusement identiques d'une mesure à l'autre.

Le choix de la grandeur à mesurer (déplacement, vitesse ou accélération) pour la surveillance d'une machine tournante dépend essentiellement du défaut recherché et la plage de fréquences dans laquelle il est susceptible de s'exprimer. La grandeur retenue est appelée paramètre ou indicateur de surveillance.

Le tableau ci-dessous donne le domaine de surveillance pour chaque indicateur.

Indicateur (Niveau global)	Domaine de surveillance
Déplacement ($\mu\text{m c/c}$)	Phénomènes lents basses fréquences [2–100 Hz] : balourd, désalignement, instabilités de paliers etc.
Vitesse (mm/s eff)	Moyennes fréquences [1 000 Hz] : balourd, lignage, instabilités de paliers, cavitation, passage d'aubes, engrènement etc.
Accélération (g eff)	Phénomènes très rapides Hautes fréquences [20 000 Hz] : engrenages, roulements, passages d'ailettes, cavitation...)

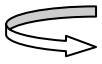
Figure 27 : Domaine de surveillance des indicateurs vibratoires

Une valeur de niveau global unique est souvent difficilement exploitable en valeur absolue, mais nous pourrions par contre les utiliser en relatif, c'est-à-dire que l'évolution dans le temps d'un niveau global est réellement significative de l'évolution de l'état vibratoire de la machine.

Certes, un niveau très important doit demander des investigations supplémentaires (diagnostic), mais il n'est pas forcément lié à une anomalie mécanique, alors qu'une forte et rapide augmentation des amplitudes est toujours liée à une dégradation si toutes les conditions de fonctionnement sont identiques.

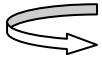
Ce qui se fait au niveau du service maintenance actuellement :

- Des mesures vibratoires en niveau global mesurant la grandeur vitesse, prises un jour sur deux.



Proposition N°1 :

Comme la valeur de la mesure en niveau global n'est pas tellement suffisante, et ne nous permet pas de savoir au niveau de quel organe exactement se trouve le problème, et ne permet pas de faire un diagnostic exact, nous proposons de pousser l'analyse vibratoire un peu plus loin, en optant pour une analyse spectrale.



Proposition N°2 :

Le suivi d'un seul niveau global ne permet pas d'établir un quelconque diagnostic, mais en comparant l'évolution des différents indicateurs classiques, on peut avec des moyens simples se faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine.

Par exemple si la mesure effectuée, au même endroit, sur un même palier montre une évolution importante des indicateurs de déplacement et de vitesse, alors que l'indicateur d'accélération reste stable ; on peut donc supposer que l'anomalie se situe en basses fréquences et que le défaut est dû à un balourd, un désalignement ou un desserrage du palier.

On peut donc se contenter de cette solution, à condition de mesurer les 3 grandeurs : déplacement, vitesse et accélération.

Ces 3 mesures vont nous permettre aussi de balayer toutes les possibilités de défauts, comme il a été cité sur le tableau précédent.

Cependant cette solution nous permettra seulement de faire des suppositions et non pas de faire un diagnostic précis et de connaître exactement le défaut existant.

- Analyse de l'huile :

L'huile est le fluide vital des machines. Elle porte les symptômes de leur état. L'analyse des caractéristiques des huiles en service permettent donc d'identifier un problème et ses causes avant qu'il ne dégénère en une panne grave.

Les analyses d'huile sont toutes particulièrement destinées aux systèmes mécaniques (moteurs, réducteurs, pompes...) qui ont tendance à se dégrader dans le temps. Cette dégradation mécanique des organes mécaniques va entraîner la production de micro particules qui vont se mélanger à l'huile.

Afin de mieux illustrer ces propos, prenons le cas d'un réducteur, il se peut pour une raison ou une autre que ses pignons entrent en contact entre eux, ce qui va produire de la limaille de fer (matière provenant des roues dentées) qui va se mélanger à l'huile. En prenant régulièrement un échantillon d'huile et en analysant sa teneur en fer, on va pouvoir repérer des écarts par rapport à l'usure normale des pignons, et agir en conséquence.

ETAPE VII : Proposition de solutions méthodiques

Dans les étapes précédentes, nous avons essayé de proposer des solutions pour les différents problèmes techniques rencontrés au niveau des viroles tournantes. Ces solutions ont englobé tout à la fois le curatif et le prédictif en passant par le préventif.

Cependant, la majorité des problèmes techniques puisent leurs causes racines dans la façon même de faire les choses. Une simple inattention de la part d'un agent de maintenance, une simple négligence de la part du service maintenance, une imprécision ou une omission d'une information, peuvent parfois être les principales causes de problèmes techniques observés au niveau des équipements.

En effet, l'un des problèmes majeurs rencontrés lors de ce stage est le manque d'historiques, de suivis, d'autant plus que les fiches d'intervention, les fiches du rapport des travaux d'entretien ainsi que les fiches donnant les différents coûts de la maintenance, sont souvent incomplètes.

Les conséquences de ce problème résident dans le fait que les causes principales des différentes défaillances et anomalies sont souvent mal rédigées, donc mal interprétées, d'autant plus que les informations relatives à l'intervention de maintenance (Causes, DI, PDR, MO...) sont parfois ignorées, et donc on n'a pas un acquis solide sur lequel se baser si la défaillance persiste ou se répète.

Pour cela, nous avons essayé de proposer de nouvelles fiches, l'une pour les travaux d'entretien, et une autre pour le recensement des coûts de défaillance.

PERSONNEL CONCERNE

- Agents maintenanciers
- Personnel du BDM
- Personnel du Service des Achats
- Personnel du Service Planification & Ordonnancement

Ces fiches sont données en annexes.

- **Enregistrement des arrêts :**
Etat actuel :

L'enregistrement des arrêts ne se fait pas d'une manière détaillée et rigoureuse, ce qui conduit à un historique moins fiable. Nous citons les points faibles de cet historique :

- L'enregistrement des arrêts est reporté à la fin de chaque période, par conséquent le mécanicien ne note pas l'heure de la panne et risque d'oublier certaines interventions, car dans une période, on peut avoir une multitude de pannes. Il arrive qu'une panne survienne plusieurs fois dans la même période, dans ce cas le mécanicien estime la somme des temps d'arrêt et enregistre la panne une seule fois.

D'autre part, les enregistrements ne sont pas précis du fait que l'intervenant ne spécifie pas toujours l'élément qui a causé la panne, il enregistre plutôt le sous-ensemble tout entier.

Recommandations :

En vue d'améliorer la qualité de l'historique, et avoir un stock de données clair et précis pour une éventuelle utilisation, on propose les améliorations suivantes :

-Contrôle continu de la clarté et la précision des enregistrements.

- Sensibilisation des intervenants de l'importance de l'historique et leur rôle dans l'amélioration de sa qualité.

- Mise en place de fiches spéciales pour les organes sensibles.

- Afin d'avoir l'ordre de grandeur des temps d'arrêts, on propose de faire un chronométrage de chaque intervention de maintenance pour pouvoir faire une comparaison avec les temps d'arrêt enregistrés.

CHAPITRE VI

GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE

Les pièces de rechange constituent une composante essentielle pour le respect des délais des plannings prévisionnels des travaux du plan de maintenance des équipements. La réalisation de chaque prestation est conditionnée par la disponibilité des pièces de rechange vue que le manque d'une pièce peut engendrer des arrêts subits et des coûts de maintenance supplémentaires.

Dans un premier temps, on présentera un inventaire des pièces de rechange nécessaires respectivement pour le sécheur F02 et le granulateur M01

Cet inventaire est donné en annexes.

PLANNING DE RENOUVELLEMENT

Après avoir fait un inventaire des pièces de rechange des viroles tournantes, et après les avoir classés par classes homogènes, la question qui se pose maintenant est :

« Quand faudrait-t-il renouveler ces sous-ensembles ou tenter de les remettre en bon état ? »

Cette partie a donc comme objectif de dresser un planning de renouvellement des sous-ensembles névralgiques des viroles tournantes des 4 lignes de production.

On va se contenter dans cette partie des sous-ensembles spécifiques précédemment citées, car ce sont des pièces qui ne sont pas si souvent remplacées, et par conséquent leur périodicité de renouvellement n'est pas toujours vérifiée et mise à jour.

Dans une première partie, on va adopter une démarche purement théorique, en se basant sur le concept du coût du cycle de vie.

Dans cette démarche théorique, on va partir du fait qu'il est possible de fonctionner indéfiniment certains équipements, en remplaçant successivement toutes les parties défaillantes. Or, au fur et à mesure que l'équipement vieillit, son coût de maintenance devient trop élevé, et il faut donc dans ce cas prévoir des renouvellements.

Dans une deuxième partie, on va adopter une démarche pratique dans le calcul de la périodicité de renouvellement, en se basant principalement sur les dossiers constructeurs, l'historique des différents changements effectués, ainsi que l'expérience de l'équipe de travail.

Le but est de faire une comparaison entre les résultats obtenus théoriquement, et ceux obtenus pratiquement, afin de sortir avec un résultat fiable et décisif. D'autre part, la non similitude des résultats obtenus par les deux approches nous poussera à poser la question : « Pourquoi cette différence ? » et à chercher les différentes failles d'une approche ou de l'autre.

❖ Approche Théorique : CONCEPT LCC

La démarche adoptée pour élaborer le programme de renouvellement des équipements se base sur deux critères :

- Critère de performance technique, lié au degré d'usure et niveau de fiabilité de l'équipement, mis en évidence par l'historique.
- Critère du coût global de durée de vie

Le coût global de durée de vie (ou coût LCC) n'est autre que le coût d'acquisition de l'équipement additionné aux coûts d'exploitation et d'entretien et retranché du coût de mise au rebut.

Les coûts d'exploitation se composent de :

- Coûts de main d'œuvre + Coûts de rechange qui représentent les coûts directs de la maintenance.
- Coûts d'immobilisation de la ligne(ou de non production) qui représentent les coûts indirects de la maintenance.

Le calcul du coût LCC passe d'abord par un calcul du coût LCC moyen unitaire, qui se compose de la tranche de coût d'acquisition répartie sur le nombre d'années N de service de l'équipement et additionné au cumul des coûts d'entretien jusqu'à l'année N.

$$LCC_{\text{moyen unitaire}} = \frac{CA + \sum_1^N CE}{N}$$

Autrement dit :

avec : CA : Coût d'acquisition de l'équipement

CE : Coûts d'exploitation = Coûts PDR + Coûts MO + Coût de non production

Le coût LCC unitaire pour les différentes années de service permet de tracer la courbe du coût LCC en fonction des années.

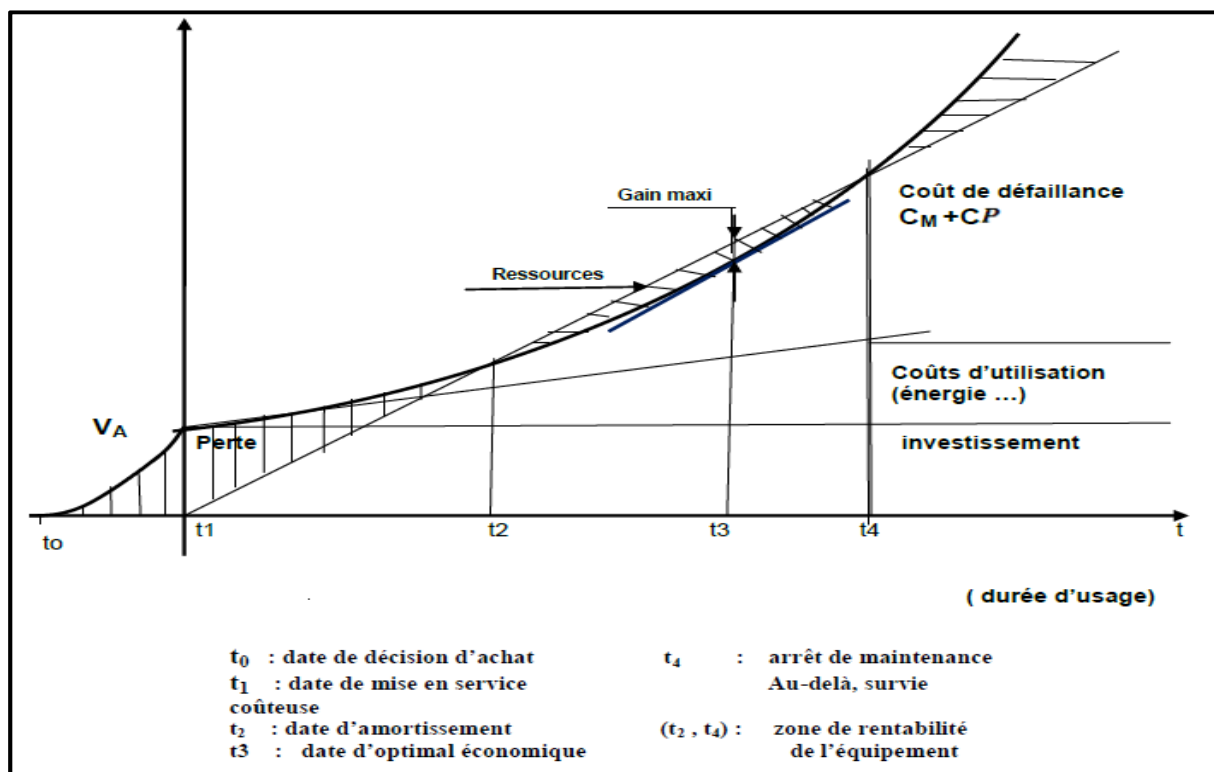


Tableau 17 : Courbe du coût LCC en fonction des années

La variation de la courbe du coût LCC unitaire commence par décroître jusqu'à atteindre, à un instant donné, un minimum, où les coûts d'exploitation auront atteint leur valeur optimale.

Au-delà de ce minimum, les coûts de maintenance de l'équipement vont augmenter de manière de plus en plus marquée, du fait de l'usure de l'équipement et de l'augmentation de son taux de défaillance. La dérivée du coût global aura entre temps changé de signe, pour devenir positive.

Autrement dit :

$$C_{mu}(i) = \frac{C_A + \sum C_i}{N}$$

Si le coût unitaire pour N années de service est :

Alors l'accroissement du coût LCC est donné par :

$$C_{mu} = C_{mu}(n + 1) - C_{mu}(n)$$

$$C_{mu} = \frac{C_A + \sum_1^{n+1} C_i}{N + 1} - \frac{C_A + \sum_1^n C_i}{N}$$

Et la relation donnant la dérivée du coût LCC est :

$$C_{mu} \geq \frac{-C_A + n(C_{n+1} - C_n)}{(n + 1)(C_A + n + C_n)}$$

Puisque C_{mu} est obligatoirement positif, alors :

$$-C_A + n(C_{n+1} - C_n) \geq 0$$

Et donc l'extremum du coût LCC est atteint quand :

$$n = \frac{C_A}{(C_{n+1} - C_n)}$$

➤ **Application du concept LCC pour le calcul de la périodicité de renouvellement des sous-ensembles spécifiques**

Pour chacun des sous-ensembles spécifiques cités précédemment, on a cherché les différents coûts d'exploitation.

Dans le cas de ces sous-ensembles spécifiques, le coût PDR n'est autre que le coût d'acquisition.

Le coût MO est calculé à partir des différents coûts des unités d'œuvre pour les différentes interventions faites au niveau de ces PDR spécifiques.

Le coût de non production est calculé pour chaque arrêt des viroles en tenant compte des données suivantes :

- La production des engrais se fait 24 heures sur 24.
- On produit chaque heure environ 100 tonnes d'engrais.
- La marge sur coût variable vaut environ 1000dhs.

Donc une heure d'arrêt nous coûtera $CI = 100000$ dhs.

Ci-dessous un tableau résumant les résultats obtenus pour chacune des pièces.

PDR	Coût d'acquisition	Coût d'exploitation Année 2010	Coût d'exploitation Année 2011	Périodicité de renouvellement
Couronne	1289639	564939,833	717927,8	8
Galets butées	322335	246182,5	315419	4,5
Galets porteurs	277095	1800000	1900000	5,25
Pignon d'attaque	277789	279631,5	315557,8	7,7
Bandages	491985	-----	-----	-----

Tableau 18 : Périodicité de renouvellement des sous ensembles par l'approche théorique

➤ **Discussion des résultats obtenus :**

Les résultats obtenus sont donnés juste à titre indicatif.

Il est à noter que la difficulté qu'on a trouvée dans l'application de cette approche théorique, réside dans la détermination du coût cumulé de la maintenance de l'équipement ou sous-ensemble.

Or la détermination de ce coût impose un suivi rigoureux des frais de maintenance, un enregistrement des différents coûts, à savoir le coût des PDR ainsi que leurs quantités, le coût de la main d'œuvre ainsi que son effectif, et un enregistrement de l'historique des différentes interventions de maintenance, leur durée afin de pouvoir déterminer le coût de non production.

Ces données ne sont malheureusement pas toutes disponibles, et on n'a pas pu prendre en compte tous les coûts qui entrent en jeu dans le calcul du coût LCC.

❖ **Approche pratique :**

La première étape de cette approche pratique a été de chercher toutes les informations concernant les périodicités de renouvellement consignées par le constructeur, et ce en recherchant principalement dans les dossiers constructeurs.

Mais cette information à elle seule n'est pas suffisante, parce qu'il faut prendre en compte le milieu et les conditions de travail d'un côté et les contraintes d'approvisionnement d'un autre côté.

En effet, tous les équipements des lignes de production des engrais, en particulier les viroles tournantes, travaillent dans un milieu poussiéreux et très agressif, et de ce fait leur durée de vie sera relativement inférieure à celle donnée par le constructeur.

Et d'autre part, il n'est pas aussi facile de faire un changement d'un équipement, car les moyens ne sont pas toujours disponibles, des tâches sont parfois à externaliser, à sous-traiter, et cela coûte cher.

C'est pour cela que la détermination de la durée de vie pratique des sous-ensembles a été possible en prenant aussi en considération l'expérience des équipes de maintenance, les quelques historiques relatifs aux différentes interventions de maintenance de ces sous-ensembles, ainsi que les différentes contraintes économiques.

Le tableau suivant présente les différentes périodicités de renouvellement pour les PDR spécifiques, ainsi qu'un planning de renouvellement proposé à partir des années d'acquisition des différentes pièces.

➤ **Granulateur M01 :**

Sous-ensemble	Qté installée	Repère géographique	Périodicité de renouvellement	Planning de renouvellement					
				<u>2012</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>	<u>2015</u>	<u>2016</u>	<u>2017</u>
Couronne + Pignon	4	A	8			×			
		B			×				
		C		×					
		D		----					
Galets butées	4	A/B/C/D	4	----					
Galets porteurs	16	A	8			×			
		B			×				
		C		×					
		D		----					
Bandages	8	A/B/C/D	8	----					
Réducteur	4	A/B/C/D	8			×			
Coupleur hydraulique	4	A/B/C/D	5	----					

Tableau 19 : Périodicité de renouvellement des sous ensembles du granulateur par l'approche pratique

➤ **Sécheur F02 :**

Sous-ensemble	Quantité installée	Repère géographique	Périodicité de renouvellement	Planning de renouvellement					
				<u>2012</u>	<u>2013</u>	<u>2014</u>	<u>2015</u>	<u>2016</u>	<u>2017</u>
Couronne + Pignon	4	A	8	----					
		B		----					
		C		----					
		D						×	
Galets butées	4	A/B/C	4	----					
		D				×			
Galets porteurs	16	A/B/C/D	8	-----					
Bandages	8	A/B/C/D	8	----					
Réducteur	4	A/B/C/D	8			×			
Coupleur hydraulique	4	A/B/C/D	5	----					

Tableau 20 : Périodicité de renouvellement des sous ensembles du sécheur par l'approche pratique

Remarques :

Pour les cases qu'on n'a pas cochées, cela veut dire que leur renouvellement aurait dû être des années auparavant.

Cela démontre encore une fois que ces équipements sont non seulement dans leur période de vieillesse, mais ont aussi dépassé leur durée de vie.

Conclusion

Pour que ce renouvellement soit pertinent, et ait un rendement, il faut cependant respecter les points suivants :

- Le renouvellement doit intégrer des nouvelles technologies au niveau du choix des matériaux, poids, encombrement, chaîne cinématique minimale et simple, facilité de démontage, remontage et réglage
- Le renouvellement doit être fait avec des sous-ensembles compatibles au niveau de l'encombrement pour garder l'interchangeabilité et éviter les temps d'arrêt pour l'adaptation.
- Le renouvellement ne doit être fait que par des marques ayant fait preuve de grande fiabilité (BROOK HANSEN ; FLENDER; CITROYEN; MILTON-ROY; VOITH ; BUNGATZ....).
- Il faut qu'il y ait une garantie un niveau de disponibilité de l'équipement ou du sous-ensemble renouvelé.
- La réforme doit être anticipée et le délai entre l'établissement de la demande de réforme et sa signature doit être minimal.
- Les délais de concrétisation des budgets de renouvellement doivent être minimaux, car un sous-ensemble réformé n'est pas fiable.

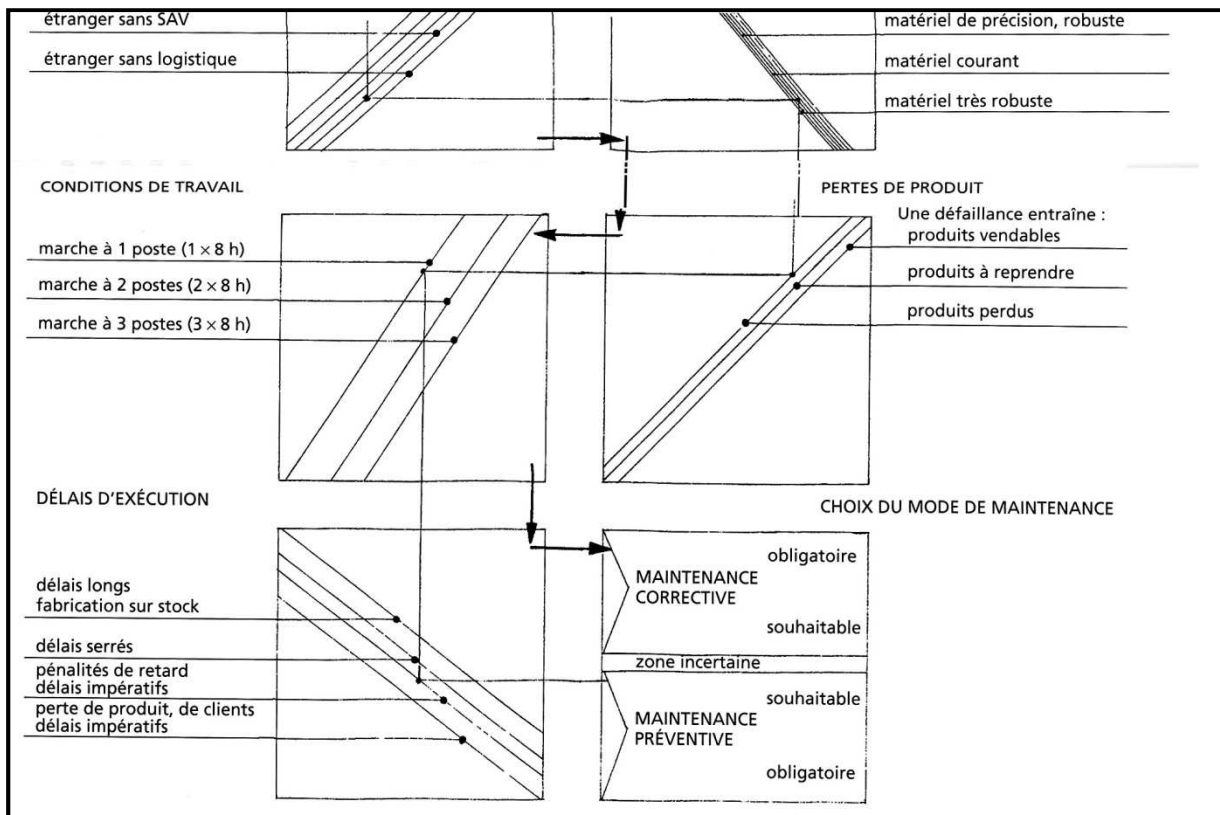
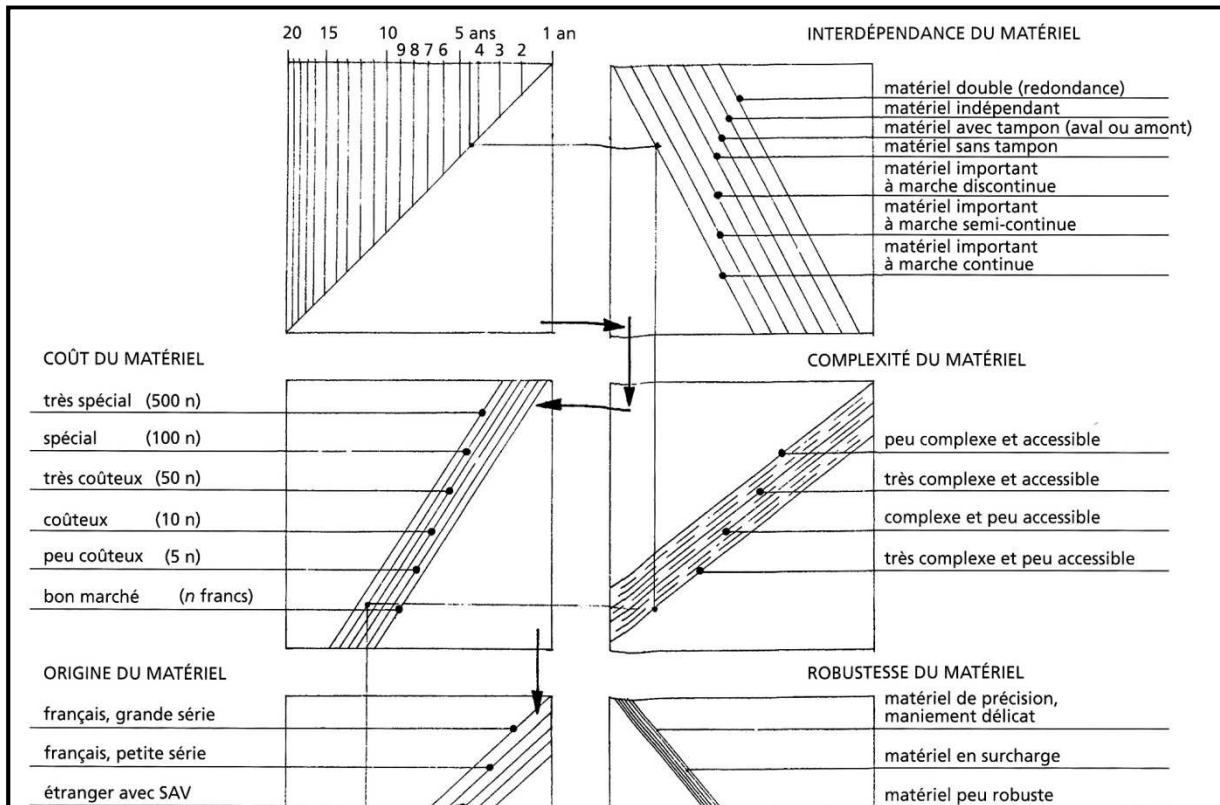
CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de l'amélioration de la maintenance mécanique des équipements de production d'engrais et de leur stockage et la fiabilisation des équipements critiques des anciennes lignes de production des engrais, ce travail a permis de :

- Déterminer la famille des équipements la plus critique, à savoir la famille des viroles tournantes.
- Faire un choix de maintenance pour les équipements de la famille des viroles tournantes, à savoir le sécheur et le granulateur, ainsi que leurs sous-ensembles respectifs, ainsi qu'un calcul de la période optimale d'intervention préventive.
- Définir les actions de maintenance à adopter pour ces équipements critiques, et proposer des solutions techniques, préventives, prédictives et méthodiques.
- Proposer un planning de renouvellement des sous-ensembles critiques, et ce par une approche théorique basée sur le concept LCC, et une autre pratique basée sur l'expérience.

Annexes

Abaque de Noiret



Caractéristiques techniques	
CARACTERISTIQUES D'UTILISATION :	
Produit	Engrais phosphaté DAP, MAP et TSP
Humidité	10%envi pour TSP et 3% envi pour DAP
Température	101°C maxi à la sortie du sécheur
Débit nominal	360t/h
Densité	0,95 t/m ³
Charge de produit	83 t
CARACTERISTIQUES DIMENTIONNLES	
Virole :	
Diamètre int	4000mm
Longueur	30 300mm
Vitesse de rotation	3,4 tr/min
Coeffi remplissage	15.5%
Pente	5%
Bandage :	
Diamètre ext	4650mm
Diamètre int	4230 mm
Epaisseur	210mm
Largeur	520mm
Matière	42 CD 4 Forgé traité 27-300dan/mm ²
Galet:	
Diamètre ext	900m
Matière	30 CND 8 Forgé traité 330-360 daN/mm ²

Caractéristiques techniques	
Pignon:	
Matière	42 CD 4 forgé Rr= 109Kg/mm ²
Largeur	b=450mm
Module	M=34
Nombre dents	Zp= 23
Vitesse	n= 25,13 tr/min
Puissance	P=486Kw
Couronne:	
Matière	35 CD 4 moulé Rr=88Kg/mm ²
Largeur	b=450mm
Module	M=34
Nombre dents	Zp= 170
Vitesse	n= 3,4 tr/min
Puissance	P=494 Kw
Galet buté:	
Diamètre	717mm
Hauteur de contact	125mm
Matière	30 CND 8 traité 110-121 daN/mm ²

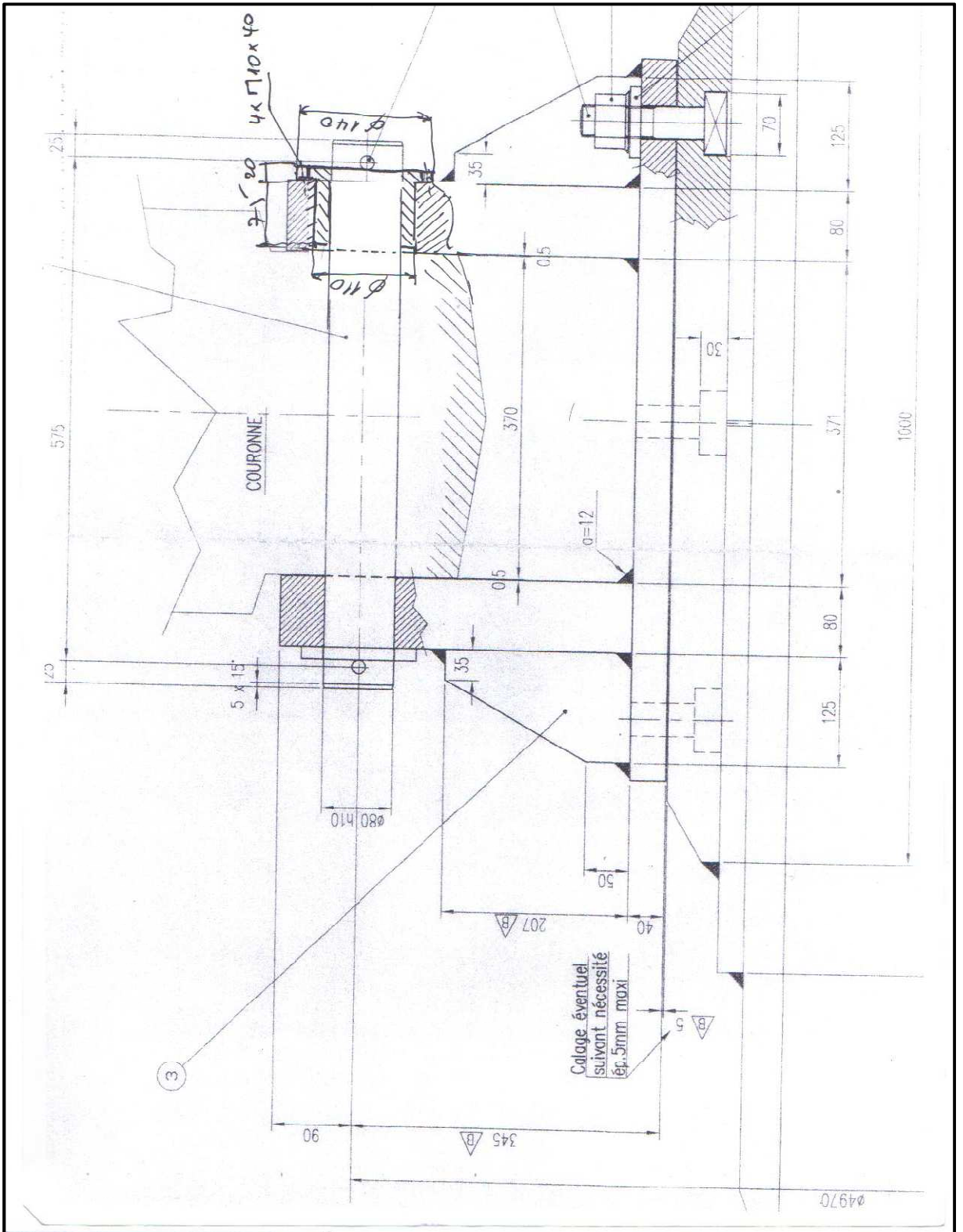
Caractéristiques Techniques du Granulateur M01

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
Diamètre intérieur	3750 mm
Longueur	8000 mm
Cage d'écreuil	750 mm
Longueur totale	8750 mm
Vitesse de rotation	8,7 tr/min
Pente	6,25%
Diamètre seuil d'entrée	220 mm
Epaisseur seuil d'entrée	10 mm
Diamètre seuil de sortie	2950 mm
Epaisseur seuil de sortie	10 mm
Goulotte d'alimentation	600x500 mm ² (la hauteur du seuil de sortie est ajustable par des secteurs amovibles)
Epaisseur virole	18 mm
Epaisseur virole sous bandage	30 mm
Epaisseur virole sous couronne	30 mm
Nombre de tronçon	01
Epaisseur goulotte d'alimentation	6 mm
Epaisseur du bouclier	10 mm
Cage d'écreuil	barreaux de dimension 30 X 30 mm

Caractéristiques techniques	
Doublage de l'intérieur du granulateur	plaques de caoutchouc fixées par barrettes
Epaisseur boîte de sortie	6 mm
Matériaux :	
Viole	A 42 CP
Goulotte d'alimentation	Inox 316 L
Bouclier d'entrée	Inox 316L
Seuil d'entrée	Inox 316 L
Doublage de la viole	Bande caoutchouc, Plaques et boulons inox 316 L
Seuil de sortie avec 3 releveuse	Inox 316 L
Cage d'épureuil	E 24-2
Boîte de sortie	E 24-2
Description de la chaîne cinématique :	
Moteur électrique :	
Type	M2BA355SMB
Marque	ABB
Puissance	355 KW
Vitesse de rotation	1500 tr/min
Tension d'alimentation	380/660 envi ±10%
Réducteur principal :	
Type	H2SH13
Marque	FLENDER
Vitesse de rotation	N1 1490 tr/mn N2 76,35 tr/mn
Type d'huile	VG 32
Quantité d'huile	1351
Période de vidange	2 ans
Centrale hydraulique de refroidissement d'huile du réducteur	
Coupleur :	
Type	FVO 655
Marque	FLENDER
Diamètre de sortie	100 p6
Type d'huile	VG 22 / VG 32
Quantité d'huile	441
Accouplement GV :	
Type	EUPEX-B 400 SOND : <ul style="list-style-type: none"> • Alésage côté coupleur = ∅ 100 H7 • Alésage côté réducteur = ∅ 85 H7

Caractéristiques techniques	
Marque	FLENDER
Accouplement PV :	
Type	RUPEX – RWN 710 : <ul style="list-style-type: none"> • Alésage côté coupleur = Ø 200 H7 • Alésage côté réducteur = Ø 150 H7
Marque	FLENDER
Pignon d'attaque :	
Matière	42 CD 4 (acier forgé)
Dureté HB	310
Largeur denture	215 mm
Diamètre primitif	552 mm
Diamètre extérieur	600 mm
Module	24
Nombre de dent	23
Taille	10
Vitesse	75,65 tr/mn
Puissance	412 CV = 303 KW
Palier	SNL 532 ATS
Roulement	22232 CC/W33
Bagues d'arrêt	FRB 16. X 270 P
Couronne :	
Matière	35 CD 4
Dureté HB	250-380
Largeur	195 mm
Diamètre primitif	4800 mm
Diamètre extérieur	4848 mm
Module	24
Nombre de dent	200
Taille	10
Nombre d'élément	2
Vitesse	8,7 tr/mn
Assemblage entre éléments	par boulons
Mode de fixation sur la virole	8 chapes fixées sur la virole par boulons
Puissance	406,5 CV = 299,2 KW
Bandage :	
Nombre	2
Matière	35 CD 4 (acier forgé laminé et traité)
Largeur	190

Caractéristiques techniques	
Diamètre extérieur	4209 mm
Diamètre intérieur	3983,5 mm
Module de fixation	Sabots à talon alternés soudés sur la virole
Durée de vie	50 000 h
Galet porteur :	
Nombre	4
Matière	42 CD 4 (moulé et traité)
Diamètre extérieur	800 mm
Module de fixation sur l'arbre	Frété
Matière de l'arbre	42 CD 4
Paliers	SNL 528
Roulement	23228 CC/W33
Bagues d'arrêt	FRB 10/ 250 P
Rondelle frein	MB 27
Ecrou	KM 27
Galet buté :	
Matière	42 CD 4 (forgé et traité)
Diamètre extérieur	400 mm
Hauteur de contact	65 mm
Module de fixation sur l'arbre	Emmanchement forcé
Matière de l'arbre	42 CD 4
Roulement	22220 CC/W33
Bagues d'arrêt	FRB 12 / 180 P
Mode de réglage	Platine boulonnée
Châssis support galets :	
Nombre	2 en mécano soudure
Matière	A 37
Dispositif de réglage	par vis tendeur
Semelles sous paliers	Usinées après soudure
Réducteur de virage :	
Marque	FLENDER
Vitesse primaire	1457 tr/mn
Vitesse secondaire	110 tr/mn
Rapport	13,071
Puissance nominale	41 KW
Accouplement autodébrayable	<ul style="list-style-type: none"> • UZWN 325 (Flender) : • Alésage côté réducteur principal = \varnothing 78 H7 • Alésage côté réducteur de virage = \varnothing 65 H7



FICHE DU RAPPORT DES TRAVAUX D'ENTRETIEN

Sigle Machine	Nature du travail effectué : - Correctif - Préventif - Modification	Date	Début	Fin	Matricule Exécutant	Temps (h)
		Heure				
					Total	

<u>Désignation</u>	<u>Code pièce</u>	<u>Code magasin</u>	<u>Nombre de pièces</u>	<u>Code symptômes</u>	<u>Code cause</u>	<u>Code actions</u>	<u>Observations</u>

<u>Action réalisée</u>	<u>Code</u>	<u>Causes de la panne</u>	<u>Code</u>	<u>Symptômes de la panne</u>	<u>Code</u>
Contrôlé		Défaut équipement		Mauvaise performance	
Changé		Défaut accessoire		Bruit anormal	
Réaligné		Défaut alignement		Vibrations	
Modifié		Défaut graissage		Echauffement	
		Défaut filtration		Autres	
		Vieillessement ou usure			
		Autres			

N° BT :	Date Retour :
Nom du Chef d'Equipe :	Visa :

FICHE DE RECENSEMENT DES COUTS DE DEFAILLANCE

<u>Machine</u>	<u>Taux horaire</u>		<u>Coûts directs</u>			<u>Coûts indirects</u>	<u>Coût de la maintenance</u>	<u>Coût de la défaillance</u>	<u>RATIO</u>
	<u>Arrêt</u>	<u>MO</u>	<u>Coût MO</u>	<u>Coût PDR</u>	<u>Coût sous-traitance</u>	<u>Coût des pertes de production</u>			
<u>Sigle</u>	<u>TH.AR</u>	<u>TH. MO</u>	<u>C.MO</u>	<u>C.PR</u>	<u>C.S</u>	<u>C.I</u>	<u>C.M=</u> <u>C.D + C.I</u>	<u>C.D</u>	<u>R=</u> <u>C.D/C.M</u>
			<u>Total : C.D</u>						

VISA RESPONSABLE :