



Département de génie mécanique

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES**

Pour l'obtention du  
Diplôme d'Ingénieur d'État  
Spécialité : Conception Mécanique et Innovation

**Thème :**

**Fiabilisation de la chaîne de broyage**

**Soutenu le 29/06/2010 par :**

**Mr. EL M'HAMED ALAOUI Amine**

**Encadré par :**

**Mr. EL BARKANY (FSTF)**

**Mr. LOUARDI (JLEC)**

**Membres de jury:**

**Mr. EL MAJDOUBI (FSTF)**

**Mr. ABOUTAJEDDINE (FSTF)**

**Mr. EL BARKANY (FSTF)**

**Mr. LOUARDI (JLEC)**

# Remerciements

*A l'issue de ce projet de fin d'études, je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude :*

*A la Direction de la société Jorf Lasfer Energy Company (JLEC), pour l'opportunité de stage qu'elle m'a offerte, ainsi que pour toutes les conditions favorables de travail.*

*A mon encadrant, à la FSTF M. Abdelatif EL BARKANY pour son suivi et pour son énorme soutien qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de la période de ce projet de fin d'études.*

*A mon parrain industriel Mr. Badre LOUARDI pour leur encadrement appréciable, leur conseil et leur aide précieuse.*

*A tous les enseignants du département génie mécanique de la FSTF qui nous ont transmis leur savoir scientifique et technique nécessaire pour la réalisation de ce travail.*

*Je tiens également à remercier tout le personnel de la société ALSTOM, qui par leur expérience et leur esprit coopératif m'ont orienté avec des conseils judicieux et des suggestions efficaces.*

*Enfin, j'exprime ma sincère reconnaissance et mon profond respect à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail comme expression de ma profonde reconnaissance et symbole de mon grand amour.*

*A mon très cher père  
Pour son affection, son amour et son soutien moral et matériel qu'il m'a toujours prodigués.*

*A ma très chère mère  
Source d'amour et tendresse et pour qui les mots sont insuffisants pour exprimer mes sentiments.*

*A mes sœurs ILHAM, RAJAE et SARA  
Pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours octroyé.*

*A mes grands parents, mes tantes et mes oncles  
Pour leur encouragement et soutien.*

*A mes amis Hicham BEN TAHAR, Mohamed EL OTHMANI, Yassine BOUNJEM et Yassine ALAMI  
Pour leur soutien et leurs conseils.*

*A toute ma famille,*

*A tous mes amis.*

# Résumé

*A l'heure actuelle, la concurrence et le défi de la mondialisation poussent l'ensemble des entreprises à satisfaire les besoins de leurs clients en assurant la bonne qualité des produits avec des coûts opportuns. Cependant, assurer une disponibilité permanente et obtenir un rendement optimum des installations de production qui deviennent de plus en plus lourdes restent parmi les objectifs principaux de chaque entreprise. De là apparaît le grand intérêt du service maintenance qui devient jour après jour l'un des piliers fondamentaux de l'économie de l'entreprise.*

*Toutefois, la réussite de la fonction maintenance, dans toute industrie, dépend alors en premier lieu de l'organisation et du management des moyens humains et matériels dont elle dispose. L'évolution vers cette réussite nécessite donc un contrôle et une planification de la maintenance afin de générer les changements opportuns.*

*Face à ce besoin et afin de mettre en place un système adéquat de la maintenance des équipements les plus sensibles de la chaîne de broyage de l'unité 1 de la centrale thermique (JLEC) à Jorf Lasfer, notre présent travail consiste à :*

- ✚ Analyser les équipements névralgiques ;*
- ✚ Mettre en place des plans de maintenance préventive ;*
- ✚ Proposer des solutions pour améliorer la fiabilité des unités maintenables les plus critiques.*

# Abstract

*At the present hour, the competition and the challenge of globalization push the whole of enterprises to satisfy needs of their customers while assuring the good quality of products with an optimum output of production. However, to assure a permanent availability and to get an optimum output of production facilities that becomes day after day one of pillars of basis of the economy of the enterprise.*

*However, the success of the function maintenance, in all industry, depends then in the first place on the organization and the human means management and materials of which it arranges. The evolution toward this success requires a continuous control of the maintenance organization therefore in order to generate the appropriate changes.*

*Facing this need and in order to put in room a system optimum of maintenance of materials sensible of the chain of grinding of the unity 1 of the thermal power plant (JLEC), our present work consists :*

- ✚ To analyze sensible materials ;*
- ✚ To put in room of preventive maintenance plans ;*
- ✚ To propose solutions to improve the reliability of the most critical organs.*

# Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé (Arabe)

Résumé (Français)

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA SOCIETE D'ACCEUIL</b>	
<b>I- Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>II- Données générales de l'entreprise.....</b>	<b>2</b>
1- Etapes clés de l'évolution de l'entreprise.....	2
2- Taille, chiffre d'affaire et statut juridique de l'entreprise.....	3
3- Nature de l'activité de l'entreprise.....	3
4- Objectifs de l'entreprise.....	4
4.1- La gestion de l'environnement .....	4
4.2- Sécurité du personnel.....	5
4.3- Performances.....	5
5- Positionnement de l'entreprise.....	5
<b>III- Environnement de l'entreprise.....</b>	<b>5</b>
1- Les acteurs environnant l'entreprise.....	5
1.1- Les clients.....	5
1.2- Les fournisseurs.....	5
1.3- Les concurrents.....	5
2- Organigramme de la société JLEC.....	6
<b>IV- Principe de fonctionnement de la centrale thermique.....</b>	<b>7</b>

---

1- Production de l'énergie électrique.....	7
2- Description des équipements principaux.....	7
2.1- Le générateur de vapeur et ses auxiliaires.....	7
2.1.1- La chaudière.....	7
2.1.2- Le circuit air-fumée.....	7
2.1.3- La préparation des combustibles.....	8
2.2- Le groupe turbo-alternateur, le condenseur et le poste de réchauffage.....	8
2.2.1- Les alternateurs.....	8
2.2.2- Le condenseur.....	8
2.2.3- Les pompes d'extraction.....	8
2.2.4- Le poste de réchauffage.....	8
2.2.5- Les pompes alimentaires.....	8
2.2.6- Les pompes de circulation.....	8
2.2.7- Les circuits eau et vapeur principaux.....	8
3- Le déchargement, le stockage et la reprise des combustibles.....	9
3.1- Le charbon.....	9
4- Le fuel lourd n°2 et le gasoil.....	9
4.1- Les réservoirs.....	9
4.2- La station de dépotage.....	9
4.3- Les installations ferroviaires.....	9
5- Production et stockage de l'eau d'appoint.....	9
6- Production d'hypochlorite de sodium.....	10
7- Evacuation des cendres-mâchefers et des cendres volantes.....	10
7.1- Cendres mâchefers.....	10
7.2- Cendres volantes.....	10
<b>V- Conclusion.....</b>	<b>10</b>

## **Chapitre 2 : PRESENTATION DU SUJET**

<b>I- Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>II- Généralité.....</b>	<b>11</b>
1- Définition.....	11
2- La fonction maintenance.....	11
2.1- Les différentes formes de maintenance.....	12
2.1.1- Choix d'une forme de maintenance.....	13
2.1.2- Comparaison entre les différentes formes de maintenance.....	13

---

<b>III- Cahier des charges.....</b>	<b>14</b>
<b>IV- Méthodologie et contexte de travail.....</b>	<b>15</b>
<b>V- Description de la chaîne de broyage.....</b>	<b>16</b>
1- Circuit de charbon.....	16
1.1- alimentateur.....	16
1.1.1- Caractéristiques d'alimentateur .....	16
1.2- Broyeur.....	17
1.2.1- Caractéristiques du broyeur.....	18
2- Lubrification réducteur.....	18
2.1- Description du circuit.....	18
3- Circuit hydraulique de commande des pendulaires.....	19
3.1- Description du circuit.....	19
3.1.1- Caractéristiques du circuit.....	19
4- Lubrification des pendulaires.....	20
4.1- Description du circuit.....	20
4.1.1- Caractéristiques du circuit.....	20
<b>VI- Analyse fonctionnelle.....</b>	<b>20</b>
1- Définition de l'analyse fonctionnelle.....	20
2- objectifs de l'analyse fonctionnelle.....	21
3- Les outils de l'analyse fonctionnelle externe.....	21
3.1- La bête à corne.....	21
3.2- La pieuvre.....	21
<b>VII- Application de l'analyse fonctionnelle .....</b>	<b>23</b>
1- Analyse fonctionnelle externe.....	23
1.1- Analyse de besoin.....	23
1.2- La pieuvre.....	23
1.2.1- Les fonctions principales.....	23
1.2.2- Les fonctions secondaires.....	24
<b>VIII- Conclusion.....</b>	<b>25</b>
 <b>Chapitre 3 : ETUDE HISTORIQUE</b>	
<b>I- Introduction.....</b>	<b>26</b>
<b>II- Etude statistique.....</b>	<b>26</b>
1- Calcul de la fiabilité.....	26
2- Calcul de la maintenabilité.....	27

---

---

3- Calcul de la disponibilité.....	27
4- Méthode ABC.....	28
4.1- Présentation de la méthode .....	28
4.1.1- But.....	28
4.1.2- Applications.....	28
4.1.3- Principe.....	28
4.1.4- La démarche de la méthode.....	28
4.2- Applications.....	29
4.2.1- Sélection des sous-équipements.....	29
4.3- Sélection des unités maintenables.....	30
4.3.1- Broyeur.....	30
4.3.2- Alimentateur.....	31
4.3.3- Circuit hydraulique de commande des pendulaires.....	32
4.3.4- Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires.....	33
<b>III- Conclusion.....</b>	<b>33</b>
<b>Chapitre 4 : ANALYSE AMDEC ET ETUDE RCA</b>	
<b>I- Introduction.....</b>	<b>34</b>
<b>II- L'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité (AMDEC).....</b>	<b>34</b>
1- Définition.....	34
2- Barème de cotation.....	35
<b>III- Application de la méthode AMDEC.....</b>	<b>37</b>
1- Décomposition Fonctionnelle de la chaîne de broyage.....	37
2 - Les fiches AMDEC de la chaîne de broyage.....	41
3- Classification des unités maintenable par ordre de criticité.....	50
<b>IV- Etude RCA (Root Cause Analysis).....</b>	<b>50</b>
1- Présentation de la méthode RCA.....	50
<b>V- Application de l'étude RCA.....</b>	<b>52</b>
1- Etude RCA des éléments critique de l'alimentateur.....	52
1.1- Etude RCA des racleurs.....	52
1.2- Etude RCA des roulements.....	53
2- Etude RCA des éléments critique du broyeur.....	54
2.1- Etude RCA du vérin.....	54
2.2- Etude RCA des galets.....	55
2.3- Etude RCA de roulements de pendulaires.....	56

---

3- Etude RCA des éléments critique du circuit de commande des pendulaires.....	57
3.1- Etude RCA de la pompe à palette.....	57
4- Etude RCA des éléments critique du circuit de lubrification des pendulaires.....	58
4.1- Etude RCA de la pompe à engrenage.....	58
<b>VI- Conclusion.....</b>	<b>59</b>

## **Chapitre 5 : ELABORATION D'UN PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE**

<b>I- Introduction.....</b>	<b>60</b>
<b>II- Plan de maintenance préventive.....</b>	<b>60</b>
1- Définition.....	60
2- Objectifs.....	60
3- Conditions d'établissements.....	61
4- Principales actions intégrées au plan de maintenance.....	61
<b>III- Plan de maintenance préventive de la chaîne de broyage.....</b>	<b>62</b>
1- Plan de maintenance préventive du broyeur.....	62
1.1- Check-list 01 pour l'inspection du broyeur .....	63
1.2- Fiches de maintenance pour le changement de pendulaire et de galet.....	64
1.3- Fiches de maintenance pour le changement des vérins.....	66
2- Plan de maintenance du circuit hydraulique pour la commande et la lubrification des pendulaires.....	68
2.1- Notice pour l'inspection des circuits hydrauliques.....	69
3- Plan de maintenance préventive de l'alimentateur.....	71
3.1- Fiches de maintenance pour le changement de la chaîne de raclage.....	72
<b>IV- Conclusion.....</b>	<b>73</b>

## **Chapitre 6 : AMELIORATION DES CIRCUITS HYDRAULIQUES**

<b>I- Introduction.....</b>	<b>74</b>
<b>II- Solutions techniques pour les circuits hydrauliques.....</b>	<b>74</b>
1- Filtre séparateur CJC™.....	75
1.1- Caractéristiques techniques du filtre séparateur CJC™.....	75
1.2- Les principaux composants du filtre séparateur CJC™.....	76
1.3- Principe de filtration.....	76
1.4- Bénéfices et avantages des filtres séparateurs CJC™.....	77
2- Calcul économique.....	79
2.1- Coût de maintenance actuel.....	79

2.1.1-Circuits hydrauliques de commande et lubrification des pendulaires.....	79
2.2- Life Cycle Cost.....	79
<b>III- Conclusion.....</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>81</b>
<b>Annexe</b>	
<b>Annexe 1</b>	
<b>Annexe 2</b>	
<b>Annexe 3</b>	
<b>Annexe 4</b>	
<b>Bibliographie</b>	

## *Liste des figures*

**Figure 1.1 :** Vue d'ensemble de la société Jorf Lasfer Energy Company

**Figure 1.2 :** Situation géographique de la société Jorf Lasfer Energy Company

**Figure 1.3 :** Organigramme de la société JLEC

**Figure 1.4 :** Principe de fonctionnement de la centrale thermique

**Figure 2.1:** Schéma des différentes formes de maintenance

**Figure 2.2 :** Logigramme de choix d'une forme de maintenance

**Figure 2.3 :** Schéma des temps d'interventions pour chaque forme de maintenance

**Figure 2.4 :** Diagramme de bête à corne

**Figure 2.5 :** Diagramme de la pieuvre

**Figure 2.6 :** Diagramme de la pieuvre

**Figure 2.7 :** Diagramme de la bête à corne

**Figure 2.8 :** Diagramme de la pieuvre

**Figure 2.9 :** Diagramme de la pieuvre

**Figure 3.1 :** Diagramme de la méthode ABC des pannes par sous ensembles

**Figure 3.2 :** Diagramme de la méthode ABC des pannes par organe défaillant

**Figure 3.3 :** Diagramme de la méthode ABC des pannes par organe défaillant

**Figure 4.1 :** Décomposition fonctionnelle de la chaîne de broyage

**Figure 6.1:** Schéma expliquant le principe de la filtration

**Figure 6.2:** Principaux composants du filtre séparateur CJC™

**Figure 6.3:** Principe de coalescence dans le filtre séparateur CJC™

**Figure 6.4:** Principe de filtration des particules dans le filtre séparateur CJC™

**Figure 6.5 :** Schéma expliquant le principe de la filtration off-line

## *Liste des tableaux*

**Tableau 3.1 :** Nombre de pannes par sous équipements défaillants

**Tableau 3.2 :** Nombre de pannes par organe défaillant du broyeur

**Tableau 3.3 :** Nombre de pannes par organe défaillant de l'alimentateur

**Tableau 3.4 :** Nombre de pannes par organe défaillant du circuit de commande

**Tableau 3.5 :** Nombre de pannes par organe défaillant du circuit de lubrification

**Tableau 4.1 :** Echelle de notation de la fréquence

**Tableau 4.2 :** Echelle de notation de la gravité

**Tableau 4.3 :** Echelle de notation du non détection

**Tableau 4.4 :** Choix d'une forme de la maintenance

**Tableau 4.5 :** Classement des unités maintenables selon leurs indices de criticité

**Tableau 4.6** : Rapport d'étude (Après défaillance)

**Tableau 4.7** : Analyse des causes racines

**Tableau 6.1** : Caractéristiques techniques du filtre séparateur CJC™

**Tableau 6.2** : Calcul du coût de la maintenance annuelle des circuits hydrauliques

**Tableau 6.3** : Synthèse des coûts pour la solution actuelle et la solution

## *Bibliographie*

- [1] Cours de maintenance industrielle, Mr. BIYAALI (FSTF) ;
- [2] Cours de maintenance industrielle, Mr. HAMIDI (ENSAM) ;
- [3] Projet de fin d'études, Mr. LOUARDI (EMI), promotion 2009 ;
- [4] Projet de fin d'études, Mr. ELMESSAOUDI & Mr. LHAMIDI (ENSEM), promotion 2002 ;
- [5] Pratique de l'AMEDC « moyen de production », Mr. EL BARKANY (FSTF) ;
- [6] Catalogues constructeurs des installations (V2, V8, V9) ;
- [7] Rapport journaliers des interventions (2005, 2006, 2007, 2008). Centrale thermique (Jorf Lasfer Energy Company) ;
- [8] Site internet : [www.edf.com](http://www.edf.com)

# *Liste des symboles*

**JLEC** : Jorf Lasfer Energy Company

**ONE** : Office National d'Electricité

**ONCF** : Office National des Chemins de Fer

**MPC** : Maintenance préventive conditionnelle

**MPP** : Maintenance préventive prévisionnelle

**AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et leurs Criticités

**RCA** : Root Cause Analysis

**PMP** : Plan de maintenance préventive

**BCP** : Broyeur à cuve plate

**TBF** : Temps de bon fonctionnement

**MTBF** : Temps moyen de bon fonctionnement

**TTR** : Temps de réparation

**MTTR** : Temps moyen de réparation

**PR** : Pièce de rechange

**MPS** : Plan de maintenance semestrielle

**MPT** : Plan de maintenance trimestrielle

**LCC** : Life Cycle Cost

## Introduction générale

Au fil du développement de la concurrence qui entraîne la recherche de la qualité et surtout la réduction des coûts, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise, qui consiste de moins en moins à remettre en état l'outil de travail mais de plus en plus à anticiper ses dysfonctionnements. L'arrêt ou le fonctionnement anormal de l'outil de production, et le non-respect des délais qui en résultent, engendrent des coûts que les entreprises ne sont plus en état de supporter.

Consciente de ces contraintes, la direction de la société industrielle JLEC essaye de s'améliorer constamment, afin d'augmenter la productivité et la disponibilité des moyens de production.

Pour répondre aux exigences du marché, la centrale thermique fait appel à des équipements très perfectionnés utilisant les technologies les plus modernes. La chaîne broyage fût un de ces équipements. Le fonctionnement de la chaîne de broyage au sein de la centrale thermique est

entravé par de nombreux problèmes nécessitant des coûts de maintenance très élevés et causant l'arrêt de la production.

Ainsi, on a été amené à faire une étude diagnostique pour améliorer les performances de cette chaîne et réduire ses coûts de maintenance.

Le présent rapport s'articule autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la société JLEC et la description du fonctionnement de la centrale thermique.

Dans le deuxième nous avons donné quelques généralités sur la maintenance, ensuite nous avons appliqué une analyse fonctionnelle pour identifier et comprendre l'environnement de la chaîne de broyage.

Dans le troisième nous avons essayé d'estimer la valeur de la MTBF, la MTTR et la disponibilité de la chaîne de broyage en se basant sur la méthode industrielle adoptée par JLEC. Ensuite nous avons essayé de déterminer les unités maintenables les plus défectueuses en utilisant la méthode ABC.

Dans le quatrième nous avons essayé de déterminer les unités maintenables les plus critiques pour lesquelles il faut engager des actions préventives et amélioratives, pour cela nous avons exposé les différentes défaillances possibles grâce à une étude AMDEC et de classer les unités maintenables par ordre de criticité. Ensuite nous avons essayé de mettre le doigt sur la cause racine provoquant ces défaillances en utilisant une étude RCA (Root Cause Analysis).

Dans le cinquième nous avons élaboré un plan de maintenance préventive pour les équipements névralgiques ainsi que l'élaboration des modes opératoires.

En dernier lieu, nous avons fait une étude technico-économique de la solution proposée pour l'amélioration du système de filtration des circuits hydrauliques.

## Chapitre 1

### PRESENTATION DE LA SOCIETE D'ACCUEIL

#### I- Introduction

Dans ce chapitre nous allons tenter d'apporter un éclairage particulier sur les étapes clés de l'évolution de l'entreprise, ses objectifs, la nature de son activité, sa taille et son positionnement, nous traiterons aussi l'environnement de l'entreprise notamment son cadre économique et institutionnel ainsi que les acteurs d'environnement à savoir les clients, les fournisseurs et les concurrents.



Figure 1.1 : Vue d'ensemble de la société Jorf Lasfer Energy Company

## II- Données générales de l'entreprise

### 1- Etapes clés de l'évolution de l'entreprise

En septembre 1997, suite à un appel d'offre international du gouvernement marocain qui souhaitait ouvrir la production d'électricité aux investisseurs étrangers, l'ONE (Office National de l'Electricité) et le groupement américain constitué de deux partenaires ABB et CMS, signent un contrat de confiance pour trente ans. Au total 520 engagements entrent en vigueur pour l'extension, l'exploitation et le transfert de la centrale à charbon de Jorf Lasfar ainsi que le terminal charbonnier, situé près du port du même nom, à 127 Km au sud-ouest de Casablanca.

Pendant cette période, les opérateurs tirent bénéfice de l'exploitation industrielle des installations. Au terme du contrat, ils transfèrent la centrale à l'ONE sans contrepartie financière.

Ce sont ABB et CMS (leaders mondiaux dans leurs domaines respectifs de l'énergie) qui créent JORF LASFAR ENERGY COMPANY (JLEC).

L'ONE est chargée de signer avec des tiers tous les contrats nécessaires pour financer le projet, exploiter la centrale (reprise des deux unités existantes U1 & U2), l'approvisionner en charbon et construire deux nouvelles unités (U3 & U4) de 330 Méga Watt chacune.

ABB assure la construction, tandis que CMS exploite et entretient les installations.

Aujourd'hui la centrale de Jorf Lasfar compte quatre unités pour une puissance totale de 1300 MW et elle peut produire 9 000 GWh et satisfaire ainsi 60% de la demande totale d'électricité du Royaume.

### 2- Taille, chiffre d'affaire et statut juridique de l'entreprise

JLEC est le fruit d'un investissement qui a coûté 1,8 milliards de dollars, ABB et CMS ont apporté 30% du financement ; les 70% proviennent de banques commerciales (marocaines et internationales) qui se sont appuyés sur des organismes d'assurance de crédit à l'exportation, dont la Banque Mondiale.

Concernant sa situation géographique, elle est située au sud-ouest du port de Jorf Lasfar, dans la province d'El Jadida et s'étend sur une superficie de plus de 60 hectares.



**Figure 1.2 :** Situation géographique de la société Jorf Lasfar Energy Company

Les possibilités offertes par le port en matière d'importation de charbon et les besoins en énergie électrique, liés à l'important pôle de développement industriel de la région ainsi que la possibilité de valorisation des infrastructures existantes, ont constitué les principaux facteurs qui ont présidé au choix du site et qui ont contribué à la réussite de cet investissement.

Le Chiffre d'Affaire de la société pour l'année 2003 est approximativement de 5.000.000.000,00 DH, et son capital, qui est de 2.023.108.600,00 DH.

Jorf Lasfar Energie Company est une société en commandite par actions, ayant son siège social à la centrale thermique de Jorf Lasfar, inscrite au registre de commerce d'El Jadida sous le numéro 2147, représentée par Monsieur Laurence R. DEWITT agissant en qualité de directeur de la centrale.

### **3- Nature de l'activité de l'entreprise**

Les quatre unités de production d'énergie électrique de la centrale thermique de Jorf Lasfar utilisent comme combustible de base le charbon importé principalement du Brésil et de l'Afrique du Sud.

La centrale fonctionne au charbon, en raison de la compétitivité de ce combustible, les besoins pour quatre unités étant d'environ 3,4 millions de tonnes par an.

Chaque unité est constituée principalement d'un générateur de vapeur, d'une turbine, d'un condenseur, d'un alternateur, d'un transformateur principal et d'un transformateur de soutirage. Des auxiliaires communs par paire de tranches sont prévus, tels que : la salle de commande et la cheminée, et des auxiliaires communs aux tranches, tels que : les installations d'alimentation en eau brute et en combustible, la prise d'eau de mer, le poste électrique d'évacuation de l'énergie, les bâtiments administratifs, les ateliers, les magasins et la chaudière auxiliaire.

Les gaz de combustion sont rejetés à l'atmosphère à travers deux cheminées qui ont été dimensionnées sur la base des normes les plus récentes en matière de respect de l'environnement.

Le charbon importé est approvisionné au niveau du port de Jorf Lasfar où le déchargement est effectué moyennant un quai à 12,50 m de tirant d'eau qui peut recevoir des bateaux dont la capacité peut atteindre 75 000 tonnes environ.

La satisfaction des besoins en charbon des quatre unités nécessite le déchargement d'environ 4 à 6 navires par mois selon la capacité des navires utilisés.

L'acheminement du charbon entre le port et la centrale est effectué, avec un débit maximal de 2 400 tonnes par heure, par un convoyeur qui alimente un parc de stockage d'une capacité de 1000000 de tonnes environ, ce qui correspond à la consommation à pleine charge des 4 unités pendant deux mois environ.

La production annuelle de l'énergie est évacuée par deux lignes de 225 KV vers le poste de Ghanem, Casablanca et Sidi Bouguedra.

#### **4- Objectifs de l'entreprise**

La société JLEC tend à réaliser de nombreux objectifs et qui sont par ordre d'importance :

- Assurer la production et la vente d'électricité à l'ONE pendant 30 ans ;
- Exploiter la centrale et le quai charbonnier en toute sécurité ;
- Assurer une meilleure protection de l'environnement ;
- Assurer un taux de disponibilité satisfaisant avec un meilleur rendement.

Donc, on peut déduire que les objectifs de JLEC tournent autour de trois axes qui sont, l'environnement, la sécurité et les performances.

##### **4.1- La gestion de l'environnement**

Le programme de gestion de l'environnement de JLEC est exemplaire au Maroc. Les normes et les valeurs limites qui sont respectées par JLEC dans tous les domaines de l'environnement sont une synthèse des normes européennes et américaines les plus contraignantes.

Ce vaste programme, dont le budget avoisine les 30 millions de dollars, couvre tous les secteurs qui touchent de près ou de loin à la protection de l'environnement : le stockage contrôlé des cendres, le suivi et le contrôle des émissions des cheminées, la gestion des déchets solides, la sensibilisation du personnel dans le cadre des séances de formation interne.

Parallèlement à la mise en place de toutes les mesures de contrôle et de protection de l'environnement, citées ci-dessus, le Manuel Environnement de JLEC, permet la gestion au quotidien de l'environnement grâce à ses différentes procédures qui couvrent notamment :

- Qualité de l'air ;
- Qualité des eaux ;
- Gestion des déchets solides.

##### **4.2- Sécurité du personnel**

La sécurité du personnel est l'une des préoccupations majeures de la société, sa politique est bien définie dans un manuel élaboré par des spécialistes en la matière. Un comité a été constitué, en vue de veiller au respect des règles de sécurité et à leur amélioration, à travers des rondes et des réunions régulières.

##### **4.3- Performances**

JLEC a pu réaliser un énorme progrès au niveau de la qualité du service rendu à l'office national de l'électricité.

### **5- Positionnement de l'entreprise**

Premier producteur indépendant d'électricité au Maroc, JLEC est leader dans son domaine puisqu'elle satisfait 60% de la demande totale d'électricité au Royaume.

## **III- Environnement de l'entreprise**

### **1- Les acteurs environnant l'entreprise**

#### **1.1- Les clients**

JLEC a mis en œuvre une structure de financement lui permettant de vendre l'énergie électrique uniquement à L'Office National de l'Electricité (ONE).

#### **1.2- Les fournisseurs**

Les fournisseurs de l'entreprise sont variés et nombreux. En effet, d'importantes et grandes sociétés marocaines ou étrangères livrent à JLEC les marchandises et aussi les prestations de services dont elle a besoin. Il s'agit de : charbon (le charbon est importé du Brésil et de l'Afrique du Sud), pièce de rechange, suivi technique, exécution des révisions des arrêts de la maintenance (analyse des incidents), service après vente, transit douanier et transport.

Ses principaux fournisseurs sont :

Au niveau international :

- ALSTOM ;
- BWE (BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA) ;
- ABB.

Au niveau national :

- AGTT ;
- ACMD.

#### **1.3- Les concurrents**

Pour le moment JLEC monopolise le marché d'électricité mais elle se prépare à une éventuelle concurrence (précisément de la part du marché espagnol) étant donné que le marché d'électricité est en cours de libéralisation.

## 2- Organigramme de JLEC

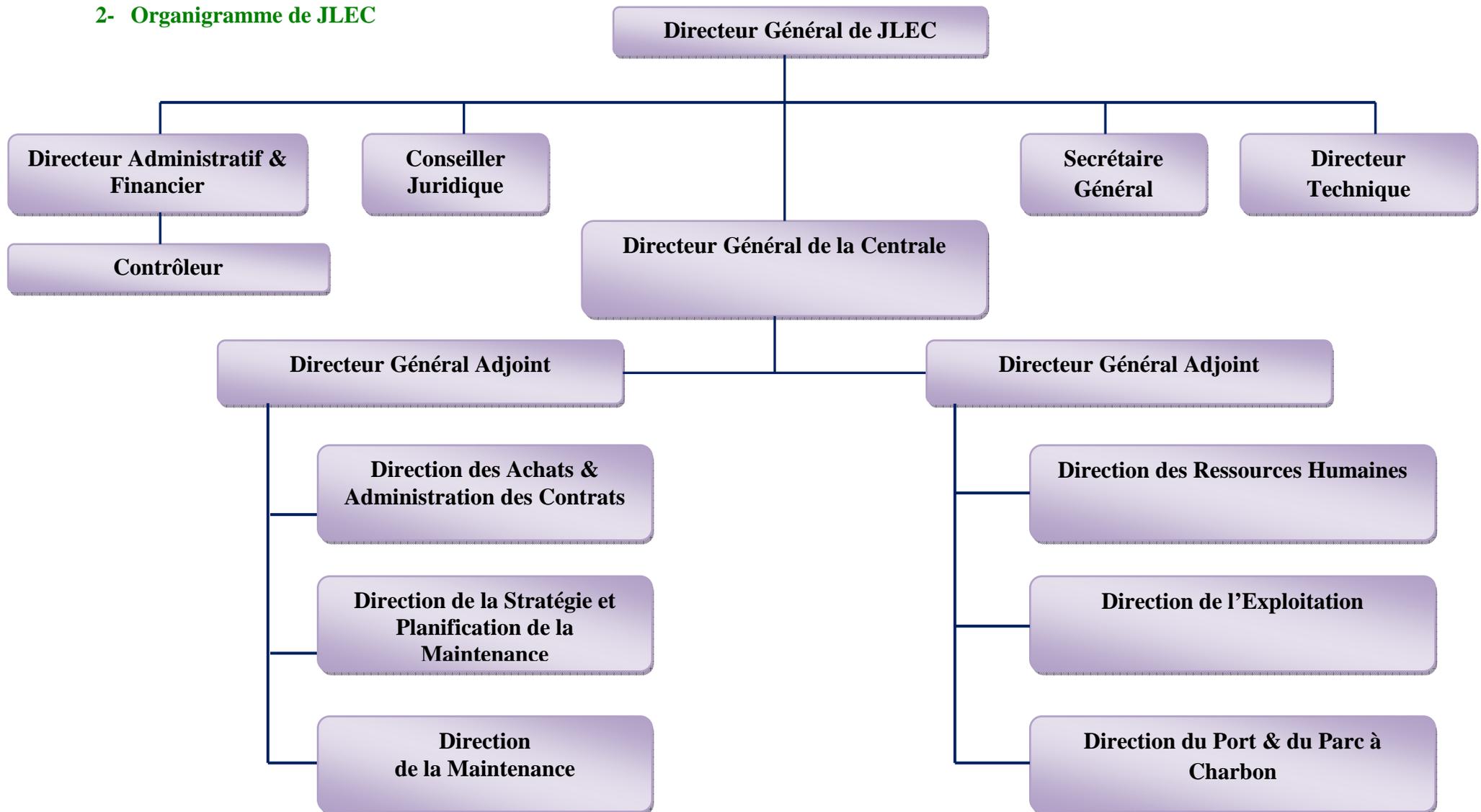


Figure 1.3 : Organigramme de la société Jorf Lasfer Energy Company

## IV- Principe de fonctionnement de la centrale thermique

La centrale thermique de Jorf Lasfar Energie Company comporte quatre unités de 330 MW chacune. Les unités 1 & 2 sont prévues pour brûler du charbon et du fioul jusqu'à leur capacité maximale, les unités 3 & 4 peuvent brûler du charbon à pleine charge et le fioul résiduel n°2 n'est utilisé que pour le démarrage et la production d'une charge ne dépassant pas 15% de sa capacité maximale.

### 1- Production de l'énergie électrique

La production de l'énergie électrique dans une centrale thermique résulte d'une succession de transformation énergétique tel que l'énergie contenu dans les combustibles (charbon, fuel, gaz naturel ...) se transforme au niveau de la chaudière en énergie calorifique, transférée à l'eau par différent processus d'échange thermique (rayonnement, convection, conduction) ; cette énergie calorifique se transforme en énergie mécanique au niveau de la turbine , puis en énergie électrique au niveau de l'alternateur.

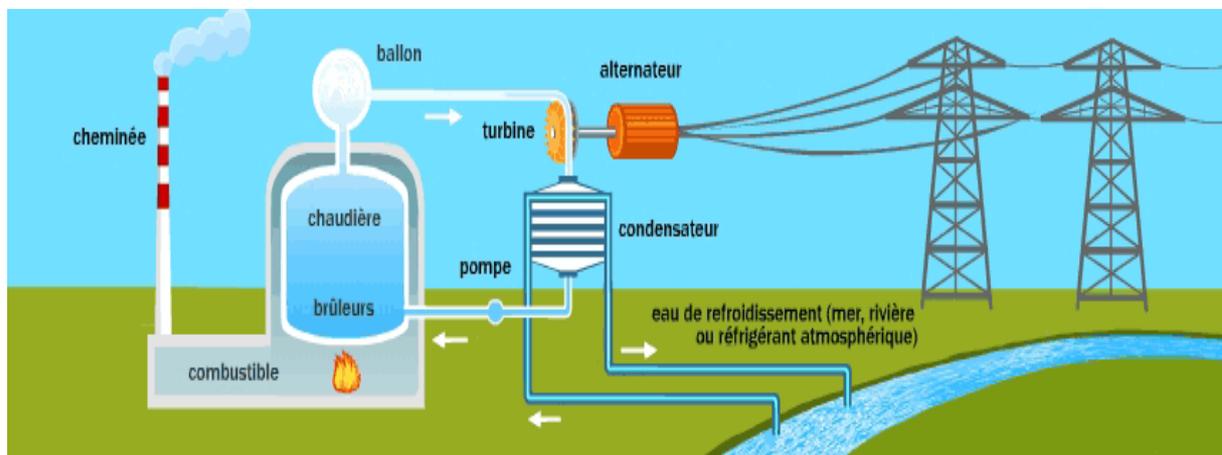


Figure 1.4 : Principe de fonctionnement de la centrale thermique

### 2- Description des équipements principaux

#### 2.1- Le générateur de vapeur et ses auxiliaires

##### 2.1.1- La chaudière

Unité 1 et 2 : La chaudière est à circulation forcée de type tour et fonctionne à pression glissante, elle est conçue pour brûler du fioul ainsi qu'une grande variété de charbon.

La chauffe se fait avec quatre caissons brûleurs et cinq broyeurs verticaux.

Unité 3 et 4 : La chaudière est à circulation assistée, la chauffe se fait avec quatre caissons brûleurs et quatre broyeurs verticaux. La chaudière est équipée d'un ballon de vapeur, ce dernier ainsi que les éléments qui lui sont intégrés, ont pour fonction principale de séparer la vapeur du mélange eau/vapeur.

##### 2.1.2- Le circuit air-fumée

Les gaines sont destinées à véhiculer et répartir l'air nécessaire à la combustion, et à évacuer les fumées résultant de celle-ci.

### **2.1.3- La préparation des combustibles**

Le système de préparation du charbon, a pour fonction, de transformer le charbon brut en charbon pulvérisé et sec pouvant être envoyé aux brûleurs, sans stockage intermédiaire.

## **2.2- Le groupe turbo-alternateur, le condenseur et le poste de réchauffage :**

### **2.2.1- Les alternateurs**

Pour les quatre unités, les alternateurs sont refroidis à l'hydrogène. Ceux deux unités 1 et 2 sont équipés d'un système d'excitation à diodes tournantes et ceux des unités 3 et 4 d'un système d'excitation statique.

### **2.2.2- Le condenseur**

Pour chaque unité, le condenseur est installé transversalement. De type simple parcours, Il est constitué de deux faisceaux de tubes en titane et de plaques tubulaires en titane massif.

### **2.2.3- Les pompes d'extraction**

L'extraction de l'eau du condenseur est assurée par deux pompes d'extraction verticales, de capacité 100% chacune dont une en réserve.

### **2.2.4- Le poste de réchauffage**

Pour chaque unité, le poste de réchauffage est constitué de quatre réchauffeurs basse pression BP1 à BP4, d'une bache alimentaire dégazante et de deux réchauffeurs haute pression HP6 et HP7 et d'un réchauffeur HP6 bis.

### **2.2.5- Les pompes alimentaires**

La chaudière est alimentée par trois pompes alimentaires de capacité 50% dont une en réserve avec coupleur-variateur-multiplieur.

Ces pompes alimentaires sont gavées par des pompes nourricières et entraînées directement par le moteur principal.

### **2.2.6- Les pompes de circulation**

Le refroidissement du condenseur est assuré par un circuit ouvert à l'eau de mer. Ce système fonctionne à l'aide de deux pompes de circulation verticales de capacité 50%.

### **2.2.7- Les circuits eau et vapeur principaux**

Les tuyauteries principales assurent les liaisons entre la chaudière et la turbine, elles sont constituées par :

-  Les tuyauteries de vapeur surchauffée ;
-  Les tuyauteries de vapeur à resurchauffer ;
-  Les tuyauteries de vapeur resurchauffée.

### 3- Le déchargement, le stockage et la reprise des combustibles

#### 3.1- Le charbon

L'installation de déchargement, de stockage et de reprise du charbon a pour but :

- ✚ De décharger les navires de 60 000 tonnes ;
- ✚ De recevoir le charbon déchargé des bateaux ;
- ✚ D'assurer à la centrale un stock correspondant à une autonomie d'environ 60 jours ;
- ✚ D'amener le charbon dans les silos du bâtiment de broyage ;
- ✚ D'assurer le chargement des trains à destination de la centrale de Mohammedia.

Le parc de stockage a une capacité de 1 000 000 de tonnes.

### 4- Le fuel lourd n°2 et le gasoil

#### 4.1- Les réservoirs

L'installation comprend deux réservoirs cylindriques d'une capacité de 50 000 m<sup>3</sup> chacun pour le fuel et un réservoir de 500 m<sup>3</sup> pour le gasoil, ce dernier permet d'alimenter la chaudière auxiliaire et le diesel de secours.

#### 4.2- La station de dépotage

Le fuel-oil est amené à la centrale par wagons-citernes. La station de dépotage permet le déchargement simultané de 40 wagons avec un débit total de 12 000 m<sup>3</sup>/h à l'aide de deux pompes fonctionnant en parallèle, une troisième étant en réserve.

#### 4.3- Les installations ferroviaires

Elles permettent :

- ✚ L'accès et le déchargement des trains amenant le fioul-oil ;
- ✚ L'accès et le chargement des trains de charbon à destination de la centrale thermique de Mohammedia appartenant à l'Office National de l'Electricité.

Les installations comportent notamment :

- ✚ Les voies et appareils de voies, y compris le raccordement au réseau de l'Office National des Chemins de Fer (ONCF) ;
- ✚ La signalisation adéquate ;
- ✚ Un garage pour les locotracteurs diesel.

### 5- Production et stockage de l'eau d'appoint

Un poste de production d'eau déminéralisée par paire d'unités est installé, chaque installation se compose de deux chaînes de production complètes, totalement indépendantes l'une de l'autre, y compris pour la régénération, chaque chaîne comprend :

- ✚ Une station de pompage d'eau brute ;
- ✚ Une station d'injection de coagulant ;

- ✚ Un filtre ;
- ✚ Un échangeur cationique faible ;
- ✚ Trois échangeurs cationiques forts ;
- ✚ Trois échangeurs anioniques faibles ;
- ✚ Un dégazeur ;
- ✚ Une station de pompage d'eau dégazée ;
- ✚ Un échangeur anionique fort ;
- ✚ Un échangeur à lit mélangé ;
- ✚ Un stockage d'eau traitée ;
- ✚ Les dispositifs de régénération ;
- ✚ Une commande automatique avec microprocesseur et automates ;
- ✚ Un stockage de régénérant ;
- ✚ Trois fosses de neutralisation utilisées pour le traitement d'extraction.

## 6- Production d'hypochlorite de sodium

L'injection d'hypochlorite de sodium a pour but d'éviter tout développement de la vie marine dans le système de refroidissement par eau de mer.

L'eau de mer alimentant les unités d'électrolyse est fournie par des pompes immergées dans les citernes d'aspiration des pompes de circulation.

## 7- Evacuation des cendres-mâchefers et des cendres volantes

### 7.1- Cendres mâchefers

L'installation a pour but de récupérer les cendres mâchefers à la sortie de chaque dégraisseur. Les cendres sont ensuite acheminées par un réseau de transporteurs à courroie vers deux silos de stockage de capacité 500 m<sup>3</sup> chacun. Les cendres sont alors évacuées par camion benne vers un silo de stockage aménagé spécialement à cet effet.

### 7.2- Cendres volantes

Les cendres volantes sont récupérées sous les trémies des électro-filtres et stockées dans deux silos de capacité 2250 m<sup>3</sup> chacun, elles sont ensuite évacuées de deux manières :

Par camion citerne en vue de leur valorisation dans l'industrie du ciment ;

Par camion benne vers le site de stockage.

## V- Conclusion

Après avoir fait une description de la société Jorf Lasfer Energy Company, ainsi qu'un bref aperçu sur le mode de fonctionnement de la centrale thermique, on va faire une description détaillée de la chaîne de broyage et en entamer une analyse fonctionnelle.

## Chapitre 2

### PRESENTATION DU SUJET

#### I- Introduction

Ce chapitre a pour but d'identifier et comprendre l'environnement de la chaîne de broyage en appliquant une analyse fonctionnelle.

D'une part nous avons utilisé le diagramme de la bête à corne pour définir le besoin auquel répond le système, d'autre part nous avons utilisé le diagramme de la pieuvre pour identifier les fonctions principales et les fonction de contraintes du système.

#### II- Généralité

##### 1- Définition

**Définition de la maintenance selon l'AFNOR par la norme NF EN 13306 (avril 2001) :** Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optimal.

##### 2- La fonction maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations.

La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :

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

Dans une entreprise, il existe un grand nombre de matériels différents qui sont liés ou non à la production. C'est dans ce contexte qu'apparaît la nécessaire polyvalence des techniciens de maintenance ainsi que leurs capacités d'adaptation. La liste (non exhaustive) qui suit permet de se rendre compte de la variété des actions qui constituent souvent le quotidien de la mission d'un service maintenance :

- ✚ Maintenance préventive et corrective de tous les systèmes dont le service a la charge ainsi que toutes les opérations de révisions, contrôles, etc.
- ✚ Travaux d'installation et de mise en route de matériels neufs.
- ✚ Travaux directement liés aux conditions de travail : sécurité, hygiène, environnement, pollution, etc.
- ✚ Amélioration, reconstruction et modernisation des installations.
- ✚ Gestion des pièces de rechange, des outillages et des moyens de transport et de manutention.
- ✚ Fabrication de certaines pièces détachées.
- ✚ Travaux divers dans les locaux de l'entreprise, agrandissements, déménagements.
- ✚ Gestion des différentes énergies et des réseaux de communication.

Pour tous ces points, l'objectif permanent est de maintenir les matériels dans un état optimal de service. La priorité sera bien sur toujours orientée vers l'outil de production.

Le service maintenance doit donc maîtriser le comportement des matériels en gérant les moyens nécessaires et disponibles. C'est là que l'importance de la mutation de l'entretien traditionnel vers une logique de maintenance prend toute son importance.

### 2.1- Les différentes formes de maintenance

Dans ce paragraphe on rappelle les différentes formes de maintenance qu'on va regrouper dans le schéma suivant :

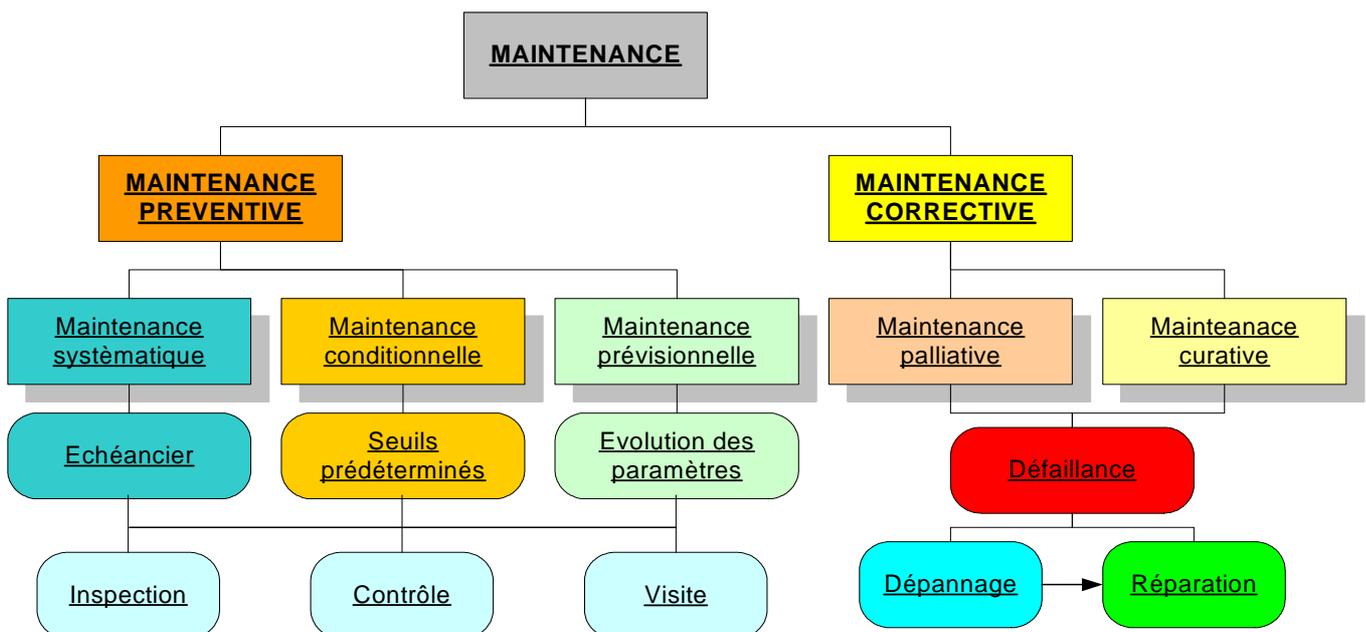


Figure 2.1: Schéma des différentes formes de maintenance

### 2.1.1- Choix d'une forme de maintenance

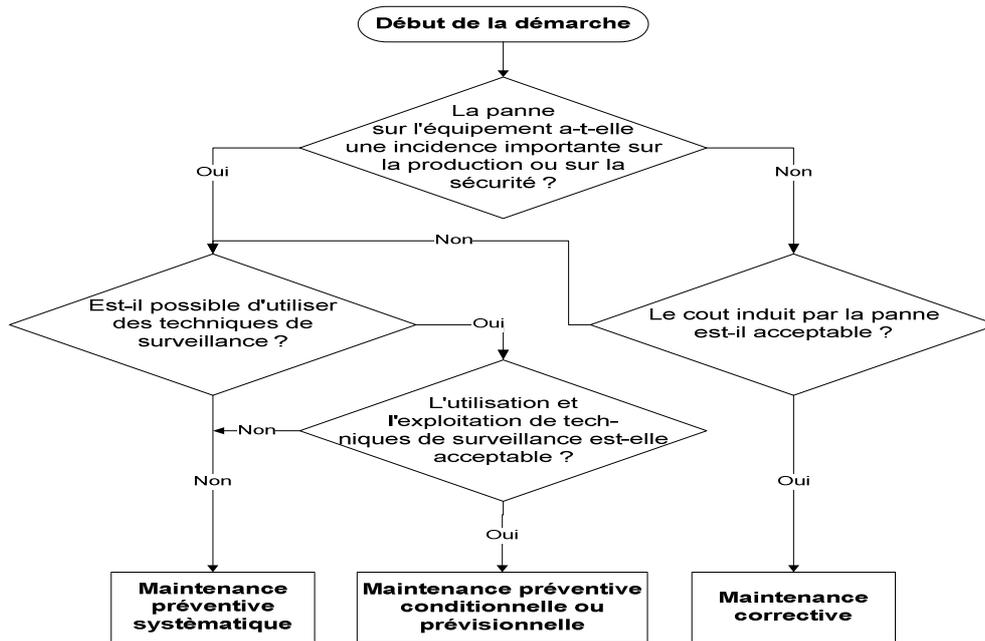
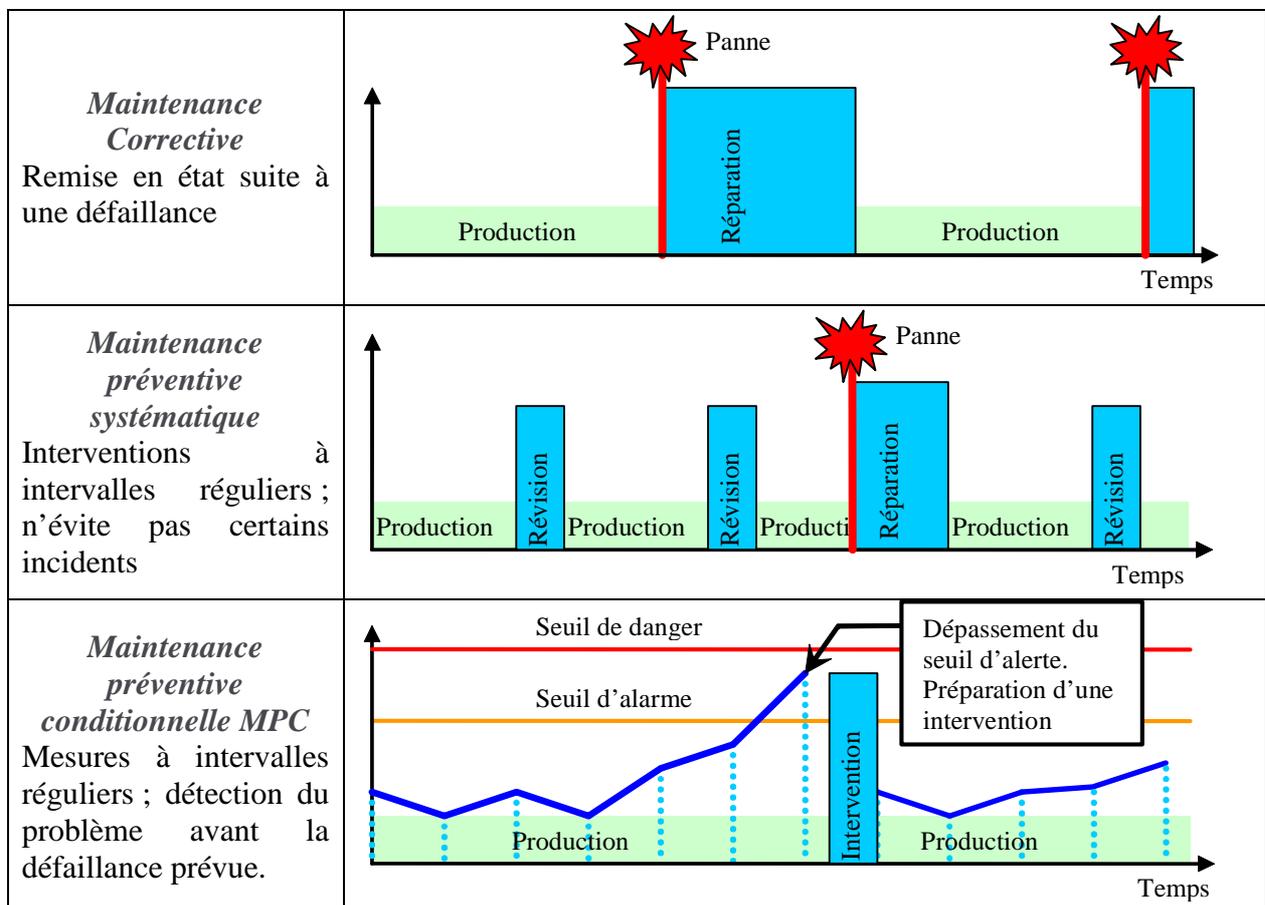
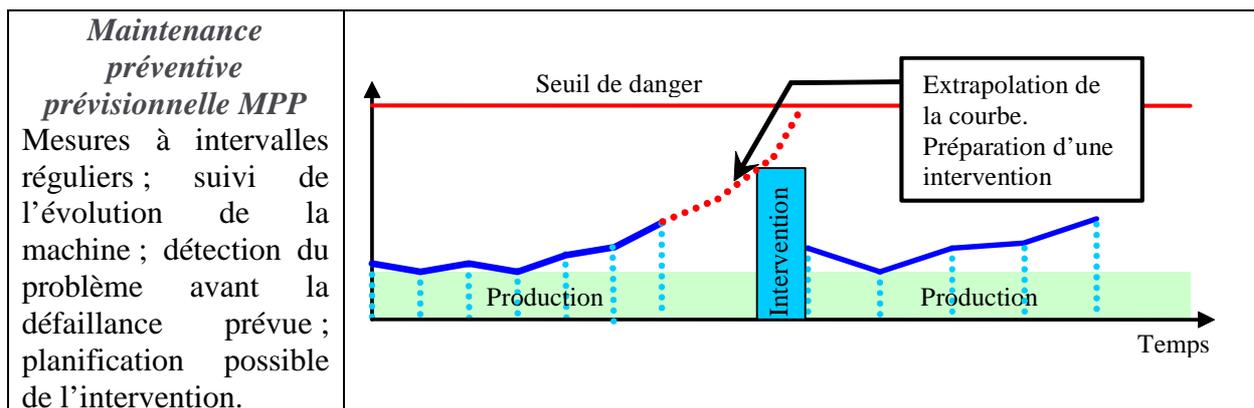


Figure 2.2 : Logigramme de choix d'une forme de maintenance

### 2.1.2- Comparaison entre les différentes formes de maintenance





**Figure 2.3 :** Schéma des temps d'interventions pour chaque forme de maintenance

La MPC / MPP a pour but de :

- ✚ Surveiller le fonctionnement de la machine et prévoir quand elle va défaillir ;
- ✚ Anticiper la maintenance et réduire les coûts d'arrêt ;
- ✚ Réparer les machines seulement lorsqu'elles le nécessitent ;
- ✚ Optimiser les interventions sur les seules défaillances.

Par rapport à la maintenance corrective, la MPC / MPP permet d'éviter les pannes, donc les arrêts machines et donc les coûts d'indisponibilité (qui peuvent représenter les 2/3 des coûts de production).

Par rapport à la maintenance préventive systématique, la MPC / MPP permet d'éviter des interventions coûteuses, et pas toujours nécessaires (ex : vidange d'un grand volume d'huile sans qu'elle ne soit dégradée) et qui ne garantissent pas de ne pas avoir de pannes.

En MPC / MPP, le défaut est détecté **AVANT** d'engendrer un arrêt de la machine. Le principe est de surveiller la machine régulièrement et de noter son évolution.

### III- Cahier des charges

Le broyage du charbon brut est assuré par une chaîne de broyage contenant un broyeur vertical BCP 2210/68.

La marche actuelle de cette chaîne pose des problèmes de maintenance en termes de coût et disponibilité.

Afin d'assurer une bonne disponibilité et d'optimiser les coûts de maintenance de ce broyeur, il nous a été demandé de :

- ✚ Analyser les historiques d'interventions mécaniques sur la chaîne de broyage ;
- ✚ Dégager les éléments dont la défaillance est répétitive ;
- ✚ Dégager les éléments les plus critiques ;
- ✚ Elaborer un plan de maintenance préventive de la chaîne de broyage ;
- ✚ Proposer des solutions techniques pour améliorer la fiabilité des éléments critiques ;
- ✚ Etudier la rentabilité des solutions proposées.

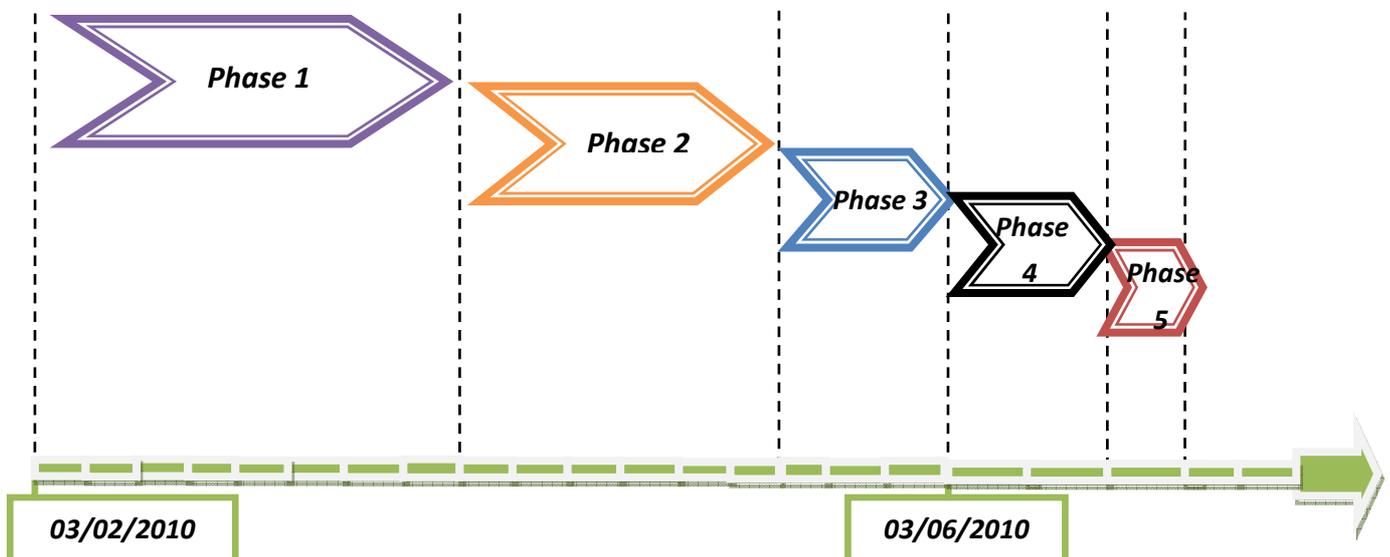
## IV- Méthodologie et contexte de travail

La stratégie de la maintenance a pour but de minimiser les avaries, en vue, d'augmenter le temps de bon fonctionnement et la durée de vie ainsi que l'amélioration des paramètres de performances de la chaîne de broyage.

Pour répondre au cahier des charges, nous avons adopté l'approche suivante :

Nous avons commencé par identifier et comprendre la chaîne de broyage en faisant une analyse fonctionnelle tout en calculant le temps de bon fonctionnement de la chaîne. Ensuite une étude AMDEC appliquée à la chaîne nous amènera à déterminer les défaillances les plus critiques pour lesquels il faudrait engager des actions préventives, voir amélioratives, enfin on va remonter aux causes racines des défaillances dont nous proposons des solutions amélioratives et évaluons par la suite leurs rentabilités à travers une étude technico-économique.

L'échéancier selon lequel nous allons travailler est étalé sur une période comprise entre le 03/02/2010 et le 03/06/2010, les détails de notre feuille de route sera présenté en **annexe 1**.



Phase	Objectifs
<b>Phase 1 : Présenter la société d'accueil et l'unité d'étude</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation de la société JLEC,</li> <li>- Compréhension du fonctionnement de la centrale thermique,</li> <li>- Elaboration d'un cahier des charges &amp; une méthodologie du travail,</li> <li>- Faire Analyse fonctionnelle de la chaîne de Broyage.</li> </ul>
<b>Phase 2 : Etude statistique, analyse AMDEC et étude RCA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul de la fiabilité et de la maintenabilité de la chaîne de broyage,</li> <li>- Faire une analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC),</li> <li>- Faire une analyse des causes racines de la, chaîne de broyage (RCA).</li> </ul>
<b>Phase 3 : Elaboration d'un plan de</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration d'un PMP du broyeur (inventaire d'intervention, check list, mode opératoire),</li> </ul>

<b>maintenance</b>	- Elaboration d'un PMP des circuits hydrauliques, - Elaboration d'un PMP des l'alimentateur.
<b>Phase 4 : Recherche de solutions</b>	- Recherche et organisation des solutions.
<b>Phase 5 : Calcul technico-économique</b>	- Validation des solutions trouvées, - Calcul économique des solutions retenues.

## V- Description de la chaîne de broyage

### 1- Circuit de charbon

#### 1.1- alimentateur

La fourniture en charbon est destinée à l'extraction sous trémie pour l'alimentation des broyeurs, du type cylindrique à galets, installés à la centrale thermique de JORF LASFAR.

L'alimentateur est composé de :

- ✚ Un casing étanche avec blindage de protection démontable des zones soumises à usure ;
- ✚ Une chaîne d'extraction centrale ;
- ✚ Les barreaux sont montés en arêtes de poisson avec un maillon racleurs tous les 10 barreaux ;
- ✚ Un régleur de couche manuel permettant de faire varier la hauteur du charbon de l'alimentateur.  
Ce régleur est situé à ras de l'extrémité de la tôle ci-dessus de manière à éviter tout bourrage et compactage du charbon ;
- ✚ Une tôle verticale de protection du fond de l'extracteur, avec guide chaîne haut et bas situé en retrait de 200 à 300 mm par rapport à la goulotte de descente du charbon de manière à éviter tout bourrage ou blocage par de blocs de charbon ou d'objets de taille de 100 mm ou plus ;
- ✚ Des portes de visite sur l'arrière, devants, le dessus et sur les cotés de l'extracteur ;
- ✚ Une goulotte en acier inoxydable de jetée sous la tête de l'extracteur ;
- ✚ Une prise d'échantillon de charbon brut ;
- ✚ Un contrôleur de rotation ;
- ✚ Un détecteur de bourrage ;
- ✚ Un groupe d'entraînement avec :
  - Réducteur de vitesse ;
  - Moteur électrique ;
  - Transmission ;
  - Limiteur d'effort ;
  - Variateur de vitesse ;
  - Carter de protection.

#### 1.1.1- Caractéristiques d'alimentateur

- ✚ Longueur : 13.5 m ;
- ✚ Inclinaison : 3° ;
- ✚ Largeur d'extraction (intérieur) : 790 mm ;
- ✚ Débit variable : 3.2 t/h à 32 t/h ;
- ✚ Débit maximal possible : 35 t/h ;

- ✚ Vitesse d'avancement : 0.10 m/s ;
- ✚ Hauteur de couche : 100 à 200 mm ;
- ✚ Duré de vie calculée du réducteur : 50000 h ;
- ✚ Facteur de service du réducteur : 1.5 ;
- ✚ Température maximal de fonctionnement : 60°C ;
- ✚ Surpression en fonctionnement : 10000 Pa ;
- ✚ Ouverture sous trémie à charbon brut : 790 × 4000 mm ;
- ✚ Goulotte sur descente de charbon brut au broyeur : 790 × 790 mm ;
- ✚ Charge de rupture de la chaîne : > 80 t.

## 1.2 - Broyeur

Les broyeur BCP sont conçus pour broyer le charbon destiné à la chauffe des chaudières en charbon pulvérisé. Leur production peut varier progressivement entre les allures minima et maxima de la chaudière et ils peuvent fonctionner pendant de longues périodes sans arrêt pour entretien, graissage ou réglage.

Nous entendons par broyeur BCP 2210/68 un broyeur à trois galets équipé d'une cuve de 2210 mm de diamètre intérieur. Les Deux derniers chiffres « 68 » indiquent le débit d'air passant dans le broyeur en tonnes/heure. Les lettres BCP indiquent le type : « Broyeur à Cuve Plate ».

Le broyeur BCP est constitué d'une cuve tournante fixé sur le plateau au réducteur planétaire, qui reçoit en son centre le charbon brut et le répartit par effet centrifuge sur ses bords où trois galets en rotation libre l'écrasent.

L'alimentation du charbon brut est centrale. Elle s'effectue à l'aide d'une goulotte de descente verticale dans l'axe de cuve à travers le séparateur.

Les pendulaires oscillants au nombre de trois portent les galets de broyage qui tournent librement sur leur axe.

L'entraînement des galets, par frottement, n'est possible qu'en cas de présence d'une hauteur de couche suffisante de charbon.

La pression de broyage est donnée par des vérins hydrauliques asservis électroniquement. La pression d'huile dans les vérins varie suivant la charge du broyeur, la nature du charbon, et la hauteur de couche de charbon sous les galets.

Les galets de broyage sont montés sur roulements et leur lubrification s'effectue par barbotage à bain d'huile.

La ventilation du broyeur, qui assure le séchage et le transport du charbon pulvérisé est assuré par les ventilateurs d'air primaire placés en amont du broyeur. L'air chaud entre tangentiellement dans la chambre de broyage et dans un mouvement ascendant autour de la cuve entraine le charbon pulvérisé éjecté par centrifugation après son passage sous les galets et l'emmène dans le séparateur placé à la partie supérieur du broyeur.

Le séparateur assure la sélection entre les grains fins et les grains grossiers. Une première sélection s'effectue dans la chambre de détente qui renvoie les plus gros grains à la cuve de broyage tandis que les plus fins atteignent les volets de finesses qui les remettent en vitesse. Le réglage de l'inclinaison des volets du séparateur détermine la finesse du charbon pulvérisé. Les volets sont commandés manuellement. Par la centrifugation du produit, les grains les plus lourds sont entraînés vers la périphérie du séparateur où ils perdent leur vitesse au contact de la paroi et tombent le long du cône intérieur dans la cuve où ils sont broyés à nouveau, les grains à la bonne finesse partent vers les tuyauteries de charbon pulvérisé jusqu'aux bruleurs.

Le réducteur planétaire est installé dans le châssis qui supporte le broyeur.

Tous les arbres de réducteur sont montés sur roulements et leur lubrification est assurée par circulation d'huile et avec bain d'huile renouvelé dans le boîtier de roulement inférieur. Les engrenages sont lubrifiés par arrosage.

Un circuit d'air d'étanchéité à une pression supérieure à celle qui règne dans le broyeur alimente :

- ✚ La boîte à air fixée à la partie inférieure de la cuve pour éviter que du charbon et de l'air chaud s'échappent vers l'extérieur.
- ✚ Les trois pendulaires afin protéger les joints d'étanchéité et d'éviter l'introduction de charbon à l'intérieur des pendulaires.
- ✚ Les trois vérins de pression des pendulaires coté tige de piston pour protéger également les joints d'étanchéité de l'introduction de charbon.

### 1.2.1- Caractéristiques du broyeur

- ✚ Type : Broyeur BCP 2210/68
- ✚ Sorties de charbon pulvérisé : 4 boîtes de départ Dint= 470mm
- ✚ Poids du broyeur sans le réducteur : 77.3 tonnes
- ✚ Réducteur planétaire avec butée à patins hydrodynamique
- ✚ Poids du réducteur : 9.8 tonnes
- ✚ Graissage du réducteur : par circulation d'huile
- ✚ Cuve : D=2210mm
- ✚ Vitesse de rotation de la cuve : 42.2 t/mn
- ✚ Pendulaires : 3 pendulaires à 120 degré
- ✚ Commande hydraulique avec asservissement de pression
- ✚ Graissage par barbotage à bain d'huile
- ✚ Galets : Dmoyen=1075mm
- ✚ Vitesse de rotation de la cuve : 78.7 t/mn
- ✚ Puissance installée : moteur électrique de 450 KW à 990 t/h
- ✚ Séparateurs :
  - type double cône statique
  - commande des volets de finesses manuelle

## 2- Lubrification réducteur

### 2.1- Description du circuit

Le réducteur planétaire est installé dans le châssis qui supporte le broyeur, et il est équipé d'une centrale de lubrification pour assurer le bon fonctionnement du réducteur.

Cette centrale est constituée de :

- ✚ Un réservoir muni de résistance de chauffage, et d'un orifice de remplissage avec demi-coupleur rapide ;
- ✚ Une pompe protégée par une soupape ;
- ✚ Une unité de filtration munie de deux vannes trois voies permettant l'isolement d'un filtre pour nettoyage ;
- ✚ Un refroidisseur d'huile avec une vanne thermostatique sur le circuit d'eau ;
- ✚ Une ligne de distribution assurant l'alimentation en huile du réducteur en deux points distincts ;
- ✚ Une ligne de récupération assurant le retour au réservoir.

### 3- Circuit hydraulique de commande des pendulaires

#### 3.1- Description du circuit

Chaque pendulaire est équipé d'un vérin hydraulique simple effet.

Pour absorber les vibrations du pendulaire en fonctionnement ainsi que le passage de corps étrangers sous les galets, chaque vérin est relié côté piston à un accumulateur gonflé à l'azote.

Deux limiteurs de pression agissent en sécurité lors du passage sous les galets d'un corps étranger en évacuant le débit d'huile instantané dû au recul brutal des vérins. Le robinet d'isolement permet la décompression du circuit hydraulique avant d'effectuer une intervention sur les pendulaires ou sur la centrale hydraulique.

L'alimentation des vérins s'effectue à partir d'une centrale hydraulique comprenant :

- ✚ Un réservoir étanche avec ses accessoires : niveau visuel, contrôleur de niveau, thermostat, robinet de vidange, télé-thermomètre ;
- ✚ Un moteur électrique entraîne une pompe à débit constant de 19 l/mn, cette dernière est protégée par un limiteur de pression ;  
La pompe refoule l'huile à travers une unité de filtration ;
- ✚ Une vanne de trois voies à commande simultanée permet le by-passage du filtre encrassé pour changement de la cartouche filtrante. Les clapets anti-retour intégrés au filtre étant en sécurité pour le changement des cartouches filtrantes pendant le fonctionnement du groupe hydraulique ;
- ✚ Une vanne MASONÉILAN qui joue un rôle très important, car c'est elle qui fera varier la pression en plus ou en moins dans les vérins faisant varier de ce fait la pression de broyage ;  
Elle est commandée pneumatiquement, et elle maintient la pression dans les vérins ;
- ✚ Un clapet anti-retour avec étrangleur réglable permet dans un sens le maintien en pression des vérins et dans l'autre sens une décompression régulée. Il protège la vanne MASONÉILAN de surpressions instantanées dues au passage des corps étrangers sous les galets de broyage ainsi que les filtres ;
- ✚ Sur le circuit de retour, un échangeur de température eau/huile protégé par un clapet taré maintient l'huile du réservoir à une température normale de fonctionnement.  
La régulation du débit d'eau envoyé dans l'échangeur est effectuée par la vanne thermostatique ;

#### 3.1.1- Caractéristique du circuit

- ✚ Trois vérins de pression simple effet ;
  - Ø piston=180 mm
  - Ø tige=125 mm
  - Course=115 mm
  - Accumulateur de 10 litres
- ✚ Réservoir de 150 litres ;
- ✚ Moteur électrique : P=7.5W à 750 tr/mn ;
- ✚ Pompe à palettes Q= 19 l/mn à 750 tr/mn à 7 bars ;
- ✚ Limiteur de pression taré à 110 bars (protection pompe) ;
- ✚ Limiteurs de pression tarés à 100 bars (protection du circuit) ;
- ✚ Filtres à huile 10 microns ;
- ✚ Vanne MASONÉILAN : plage de pression de 2 à 73 bar ;
- ✚ Télé-thermomètre 0 à 100°C (température d'huile du réservoir).

## 4- Lubrification des pendulaires

### 4.1- Description du circuit

Chaque broyeur est équipé d'un groupe destiné à assurer la lubrification des éléments mobiles des pendulaires.

Ce groupe travaillant à faible pression 8 bars est muni d'une pompe à engrenage assurant la circulation de l'huile à travers les 3 voies de fonctionnement, chacune est équipée d'une vanne pour régler le débit de ligne de lubrification et d'un indicateur visuel de débit sur le retour.

#### 4.1.1- Caractéristiques du circuit

- ✚ Réservoir de 50 litres ;
- ✚ Moteur électrique 0.75 KW ;
- ✚ Limiteur de pression taré à 8 bars
- ✚ Manomètre  $\varnothing = 400$  mm ;
- ✚ Télé-thermomètre  $\varnothing = 200$  mm à 120°C.

## VI- Analyse fonctionnelle

### 1- Définition de l'analyse fonctionnelle

D'après la norme **AFNOR NF X 50-151**, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et / ou valoriser les fonctions du produit (matériel, logiciel, processus, service) attendues par l'utilisateur.

- ✚ Appliquée à la création ou à l'amélioration d'un produit, elle constitue les étapes fondamentales de l'ANALYSE DE LA VALEUR ou de l'AMDEC ;
- ✚ Appliquée au seul besoin elle est la base fondamentale de l'établissement du cahier des charges fonctionnelles (C.D.C.F).

### 2- objectifs de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une méthode dont l'objet est de contribuer à générer les fonctions de service et techniques relatives à un produit industriel.

La méthode peut être séquencée en trois étapes :

- ✚ Identifier les fonctions : cette étape consiste à imaginer les fonctions potentielles ou réalisées ;
- ✚ Exprimer les fonctions : cette étape consiste à qualifier les fonctions à l'aide d'un verbe d'action et d'un complément ;
- ✚ Caractériser les fonctions : cette étape consiste à identifier les critères et à préciser les valeurs (niveau et limites).

Afin d'analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire de définir d'une manière rigoureuse les fonctions que ce système doit remplir durant son utilisation.

### 3- Les outils de l'analyse fonctionnelle externe

#### 3.1- La bête à corne

Chaque étude représente une prise de risque, un investissement de temps, de compétences, de ressources humaines et a donc un coût. C'est pourquoi la toute première étape de la méthode consiste à réexprimer le but de l'étude et à en vérifier la stabilité.

Cet outil définit le besoin auquel répond le système. Souvent les acteurs d'un projet privilégient des solutions déjà connues sans analyser concrètement le besoin qui justifie le projet.

Avant d'imposer un « comment » ou une solution, il faut aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin.

Il convient donc d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement d'un projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la reconception d'un produit.

Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

-  A qui, à quoi le produit rend-il service ?
-  Sur qui, sur quoi agit-il ?
-  Dans quel but ? (pour quoi faire?)

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales.

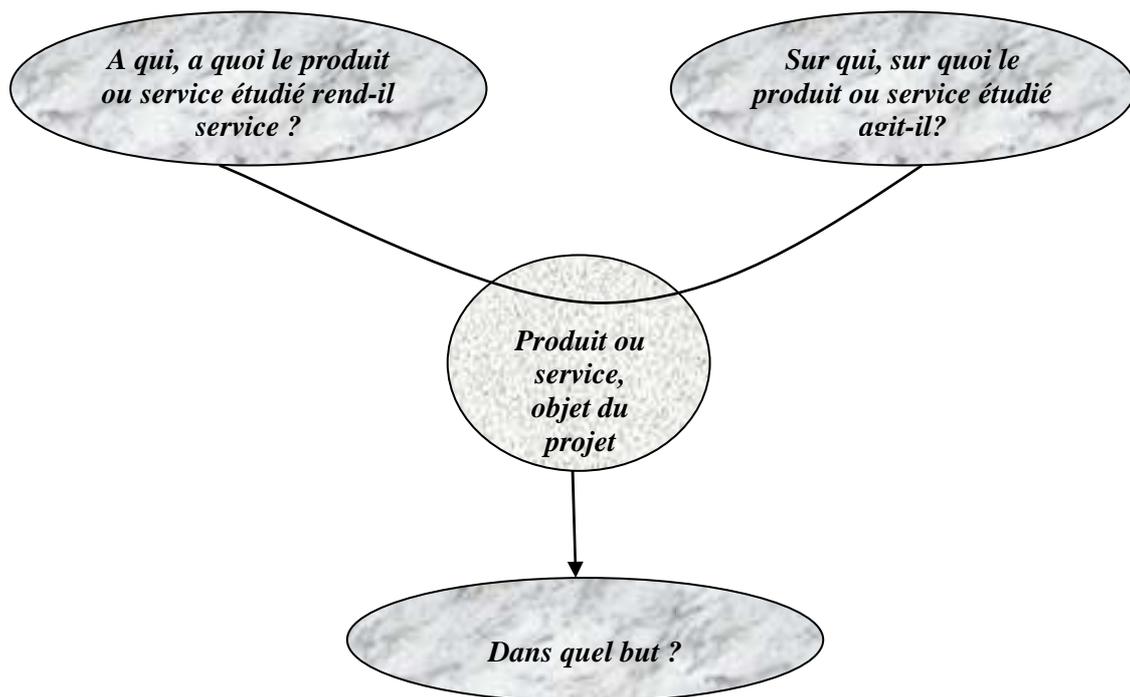


Figure 2.4 : Diagramme de la bête à corne

#### 3.2- La pieuvre

Cet outil identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe).

**Fonctions principales :** Quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ? Pour chaque phase de son cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation (extérieur à l'objet). Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale :

Une fonction principale est exprimée par 2 milieux extérieurs et un verbe.

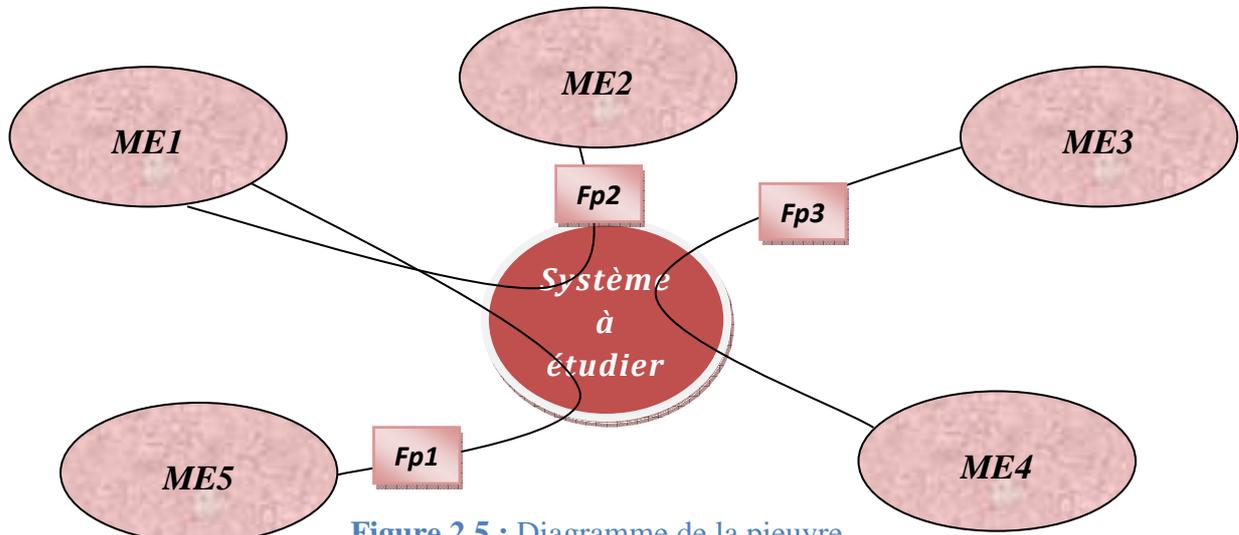


Figure 2.5 : Diagramme de la pieuvre

**Fonctions contraintes :** Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ? Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu d'environnement. Le but de ces relations est appelé fonction de contrainte.

Une fonction de contrainte est exprimée par 1 milieu extérieur et un verbe.

Elles peuvent parvenir de façon différente :

-  contrainte imposée par l'action d'un élément du milieu extérieur,
-  contrainte d'interface avec un produit existant,
-  exigence particulière (de l'utilisateur).

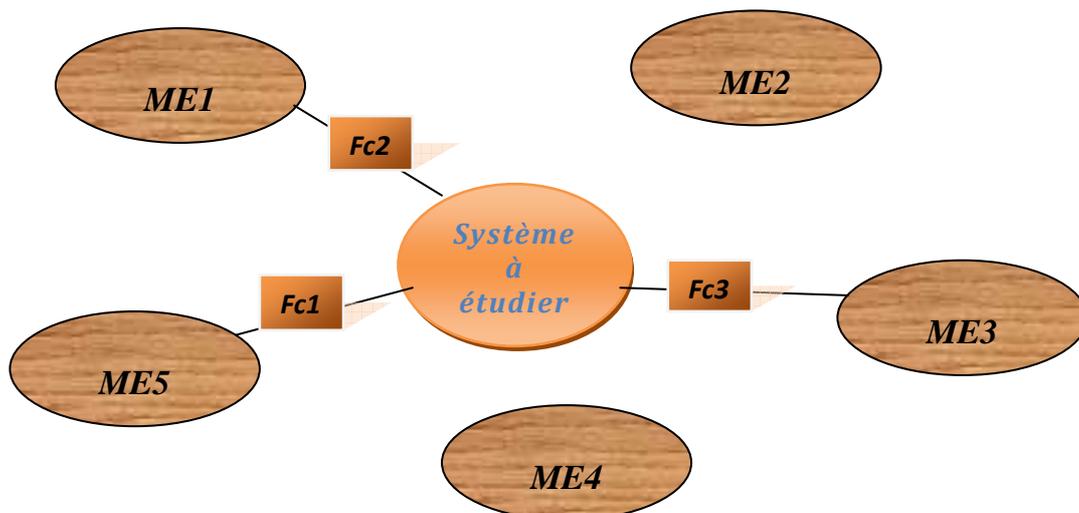


Figure 2.6 : Diagramme de la pieuvre

## VII- application de l'analyse fonctionnelle

### 1- Analyse fonctionnelle externe

#### 1.1- Analyse de besoin

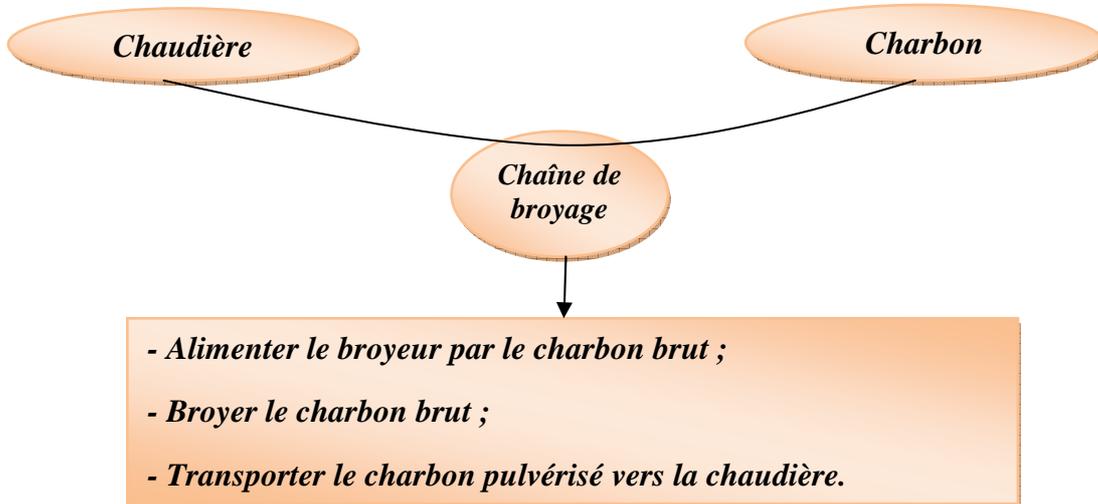


Figure 2.7 : Diagramme de la bête à corne

#### 1.2- La pieuvre

##### 1.2.1- Les fonctions principales

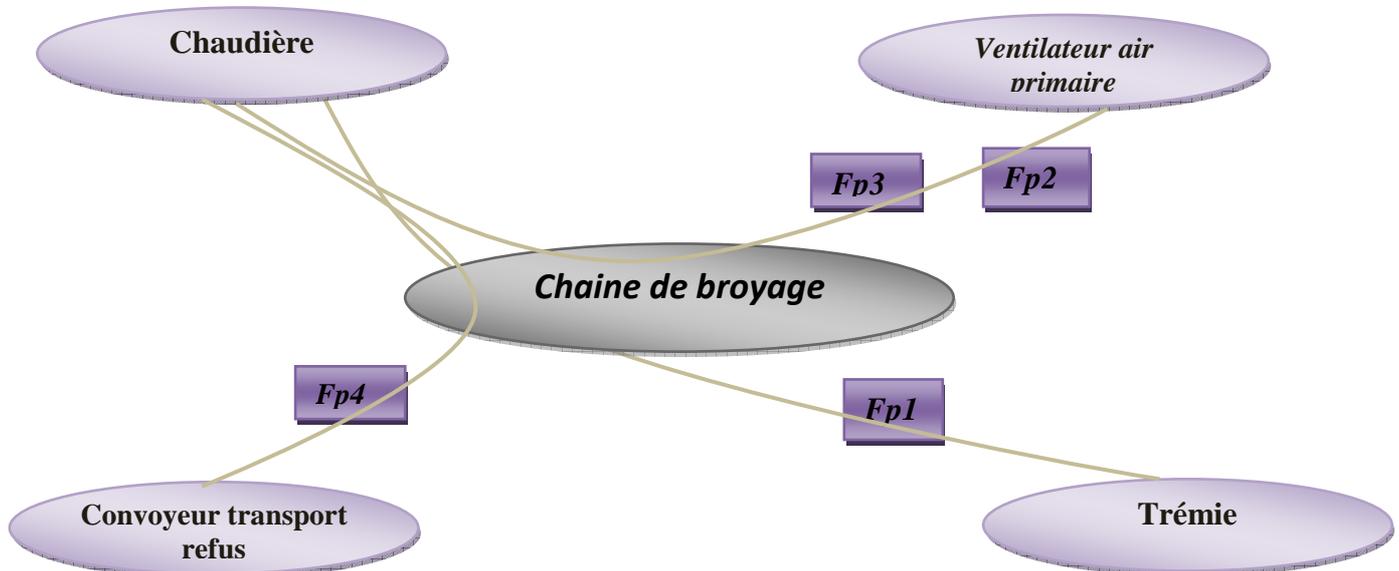


Figure 2.8 : Diagramme de la pieuvre

N°	Fonctions
<i>Fp1</i>	<i>Permettre de broyer le charbon brut</i>
<i>Fp2</i>	<i>Permettre de transporter le charbon pulvérisé</i>
<i>Fp3</i>	<i>Permettre de sécher le charbon pulvérisé</i>
<i>Fp4</i>	<i>Permettre d'évacuer le refus broyeur</i>

### 1.2.2- Les fonctions secondaires

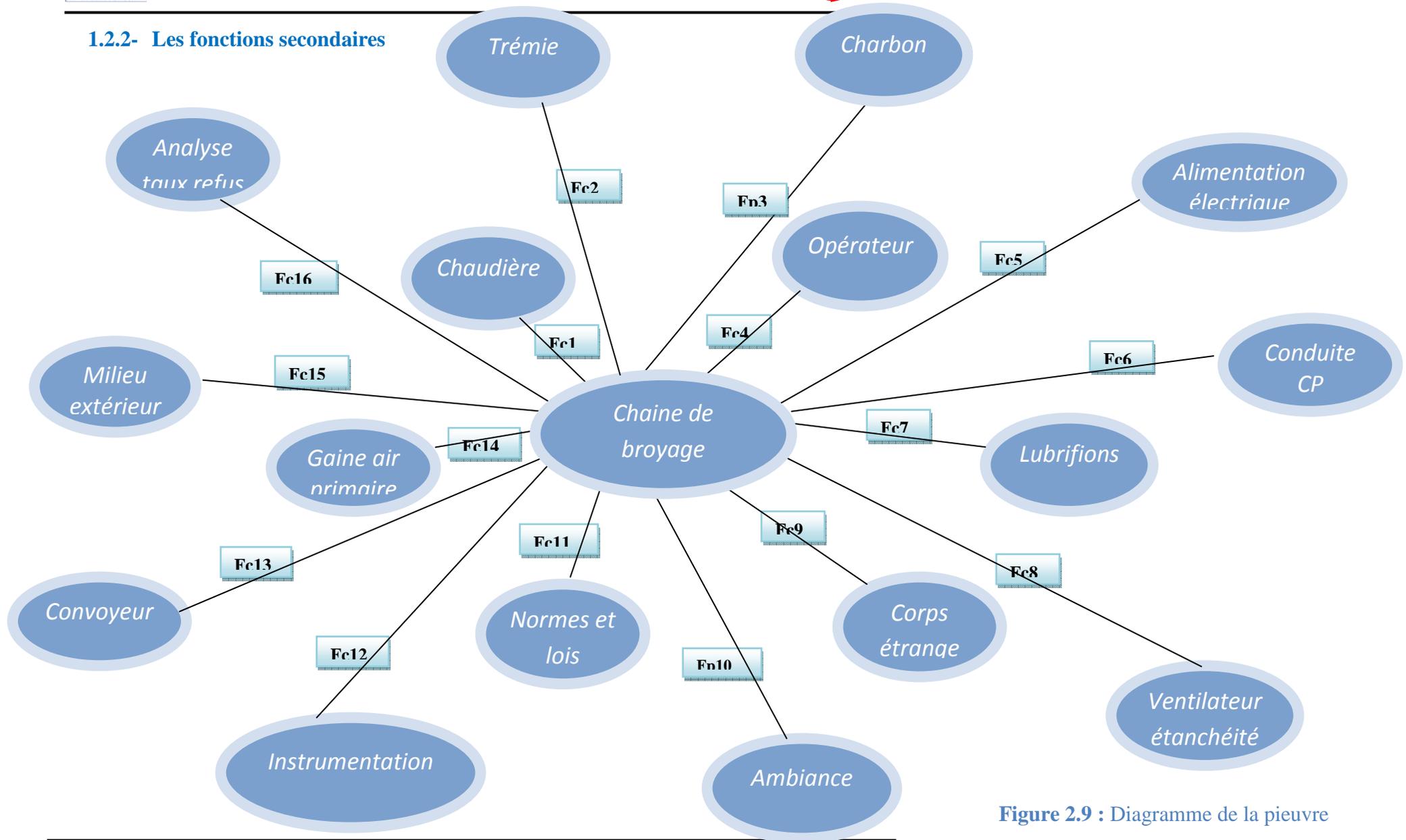


Figure 2.9 : Diagramme de la pieuvre

N°	Fonctions
<i>FC 1</i>	<i>Bruler le charbon pulvérisé</i>
<i>FC 2</i>	<i>Alimenter le broyeur par le charbon brut</i>
<i>FC 3</i>	<i>Respecter la finesse demandée</i>
<i>FC 4</i>	<i>Faciliter la maintenance en cas d'arrêt</i>
<i>FC 5</i>	<i>Alimenter la chaîne de broyage en électricité</i>
<i>FC 6</i>	<i>Transporter le charbon pulvérisé</i>
<i>FC 7</i>	<i>lubrifier et refroidir la chaîne de broyage</i>
<i>FC 8</i>	<i>Assurer l'étanchéité de la chaîne de broyage</i>
<i>FC 9</i>	<i>Evacuer le refus broyeur</i>
<i>FC 10</i>	<i>S'adapter avec les paramètres de fonctionnement (T, P, ...)</i>
<i>FC11</i>	<i>Respecter les normes et les lois</i>
<i>FC 12</i>	<i>Protéger la chaîne de broyage</i>
<i>FC 13</i>	<i>Evacuer le refus broyeur</i>
<i>FC 14</i>	<i>Alimenter la chaîne en air primaire</i>
<i>FC 15</i>	<i>Ne pas polluer</i>
<i>FC 16</i>	<i>Analyser l'état du galet</i>

### **VIII- Conclusion**

L'analyse fonctionnelle faite ci-dessus concernant les installations névralgiques nous a permis de comprendre le fonctionnement de la chaîne de broyage. Ainsi, de déterminer le besoin auquel répond le système et d'identifier les fonctions principales et les fonctions de contraintes du système.

---

## Chapitre 3

### ETUDE HISTORIQUE

#### I- Introduction

Dans ce chapitre nous essaierons d'estimer la valeur de la MTBF, la MTTR et la disponibilité de la chaîne de broyage en se basant sur la méthode industrielle adoptée par JLEC.

Ensuite nous essaierons de déterminer les unités maintenables les plus défaillantes en se basant sur la méthode ABC.

#### II- Etude statistique

##### 1- Calcul de la fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée.

La fiabilité est la probabilité de n'avoir aucune défaillance à l'instant  $t$ , comprise entre 0 et 100 % et elle est notée  $R(t)$ .

Dans notre cas la démarche consiste à étudier la fiabilité de la chaîne de broyage de l'unité 1, tout en se basant sur l'historique des pannes d'une période de 4 ans, ceci va nous permettre d'avoir une estimation du MTBF pour la chaîne de broyage.

Pour le calcul du MTBF, nous avons utilisé la méthode MTBF industriel adoptée par JLEC. Bien que c'est une méthode approximative mais d'après plusieurs études préétablies les résultats du MTBF Industriel sont sensiblement égales à ceux estimés par d'autres méthodes statistiques (comme la méthode de Weibull).

Pour déterminer le MTBF industriel de la chaîne de broyage, nous fixons des TBF (jours). Et à partir de l'historique fourni, nous comptons le nombre de fois, pour chaque TBF fixé où la chaîne ne défaillait pas.

##### Exemple

Pour le TBF de 2 jours :

Nous avons 5 fois où le TBF de la chaîne de broyage était de 2 jours, par la suite on calcule le cumul TBF ( $5 \times 2 = 10$ ).

Ainsi le MTBF est le rapport du total du cumul TBF sur le total du nombre d'intervention ( $MTBF = 857/30 = 28.566$  Jours).

<b>TBF</b>	1	2	4	6	7	8	10	12	23	31	36	40	43	53	60	64	69	80	90	160	<b>Total</b>	
<b>Nbr d'intervention</b>	4	5	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>30</b>
<b>Cumul TBF</b>	4	10	4	12	7	8	20	12	23	62	36	40	43	53	60	64	69	80	90	160	<b>857</b>	

$$MTBF = \frac{\sum TBF * Nbr \text{ d'interventions}}{\sum Nbr \text{ d'interventions}} = 28.566 \text{ Jours}$$

On remarque que la MTBF de la chaîne de broyage est très petite par rapport aux données offertes par le constructeur puisque cette chaîne est destinée de travailler pendant de longues durées. Donc on constate que la chaîne de broyage est entravée par de nombreux problèmes.

## 2- Calcul de la maintenabilité

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise. C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées.

On notera M(t) la fonction maintenabilité, TTR les durées d'intervention et MTTR la moyenne de ces durées.

En se basant sur les fiches historiques de la chaîne de broyage, on obtient le nombre d'interventions et le temps d'arrêt de la chaîne de broyage par année :

Année	2005	2006	2007	2008	Total
<b>Nbr d'intervention</b>	16	4	7	3	30
<b>Temps d'arrêt (h) « TTR »</b>	870.33	118.47	637.68	107	1733.48

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{\sum Nbr \text{ d'interventions}} = 57.782 \text{ h}$$

On remarque que la MTTR est très grande ce qui influence sur la disponibilité de la chaîne de broyage.

## 3- Calcul de la disponibilité :

La notion de disponibilité exprime la probabilité qu'une entité soit en état de « disponibilité » dans des conditions données à un instant donné en supposant que la fourniture des moyens extérieurs soit assurée (NFX 60-010).

$$Disponibilité = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 90\%$$

## Remarque

Il est à noter que dans cette étude on tient compte que des organes les plus défaillants. Autrement dit on ne s'intéresse pas à la totalité des éléments puisqu'on étudie le système dans sa phase d'exploitation et non dans sa phase de conception.

Pour identifier les éléments les plus défaillants on utilisera la méthode ABC.

### 4- Méthode ABC

#### 4.1- Présentation de la méthode

##### 4.1.1- But

C'est un outil de visualisation de la fréquence (coût) des causes, des sources de variation, des problèmes de qualité, etc.

##### 4.1.2- Applications

- ✚ Mettre en évidence l'aspect principal d'un problème ;
- ✚ Établir les priorités dans les activités d'amélioration de la qualité ;
- ✚ Aider à choisir les éléments ou causes spécifiques à étudier en vue d'apporter des améliorations ;
- ✚ Évaluer l'efficacité des améliorations apportées en présentant les diagrammes de Pareto : avant et après ;
- ✚ Permet de comprendre au premier coup d'oeil les problèmes et leur gravité respective ;
- ✚ Mettre en ordre d'importance, les effets des facteurs dans une expérience planifiée.

##### 4.1.3- Principe

La méthode ABC est une méthode consistant à classer un référentiel par ordre décroissant des sorties.

On divise donc le référentiel en trois groupes :

- ✚ Le groupe A est composé des références constituant 80% des sorties ;
- ✚ Le groupe B est composé des références constituant 15% des sorties ;
- ✚ Le groupe C est composé des références constituant 5% des sorties ;

##### 4.1.4- La démarche de la méthode

- 1) Choisir la variable catégorique (X axe horizontal) pour classer les données : type de non-conformité (défauts), type de produits, machines, opérateurs, causes, etc.
- 2) Choisir une unité de mesure (Y axe vertical) pour faire le tableau des données : effectif ou fréquence ;
- 3) Faire la collecte des données ou employer des données historiques disponibles, en précisant la période de référence où les données furent collectées ;
- 4) Produire le tableau et tracer le graphique en ordre décroissant de fréquence ;
- 5) Calculer le pourcentage cumulé ;
- 6) Lorsque les barres de fréquence sont complètes, on trace la courbe des pourcentages cumulés.

## 4.2- Applications

### 4.2.1- Sélection des sous-équipements les plus défaillants

Dans ce cas nous avons utilisé un historique établi sur une période de 6 ans, les résultats seront regroupés dans le tableau suivant :

<i>Sous-équipements</i>	<i>Nbr de pannes</i>	<i>%</i>	<i>Cumul</i>	<i>% cumul</i>
<i>Broyeur</i>	<i>63</i>	<i>37.7245</i>	<i>63</i>	<i>37.7245</i>
<i>Alimentateur</i>	<i>50</i>	<i>29.9401</i>	<i>113</i>	<i>67.6646</i>
<i>Lubrification pendulaires</i>	<i>17</i>	<i>10.1796</i>	<i>130</i>	<i>77.8442</i>
<i>Commande pendulaires</i>	<i>17</i>	<i>10.1796</i>	<i>147</i>	<i>88.0238</i>
<i>Lubrification réducteur</i>	<i>10</i>	<i>5.9882</i>	<i>157</i>	<i>94.012</i>
<i>Refus broyeur</i>	<i>7</i>	<i>4.1916</i>	<i>164</i>	<i>98.2036</i>
<i>Trémie</i>	<i>3</i>	<i>1.7964</i>	<i>167</i>	<i>100</i>
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>100</b>		

Tableau 3.1 : Nombre de pannes par sous équipements défaillants

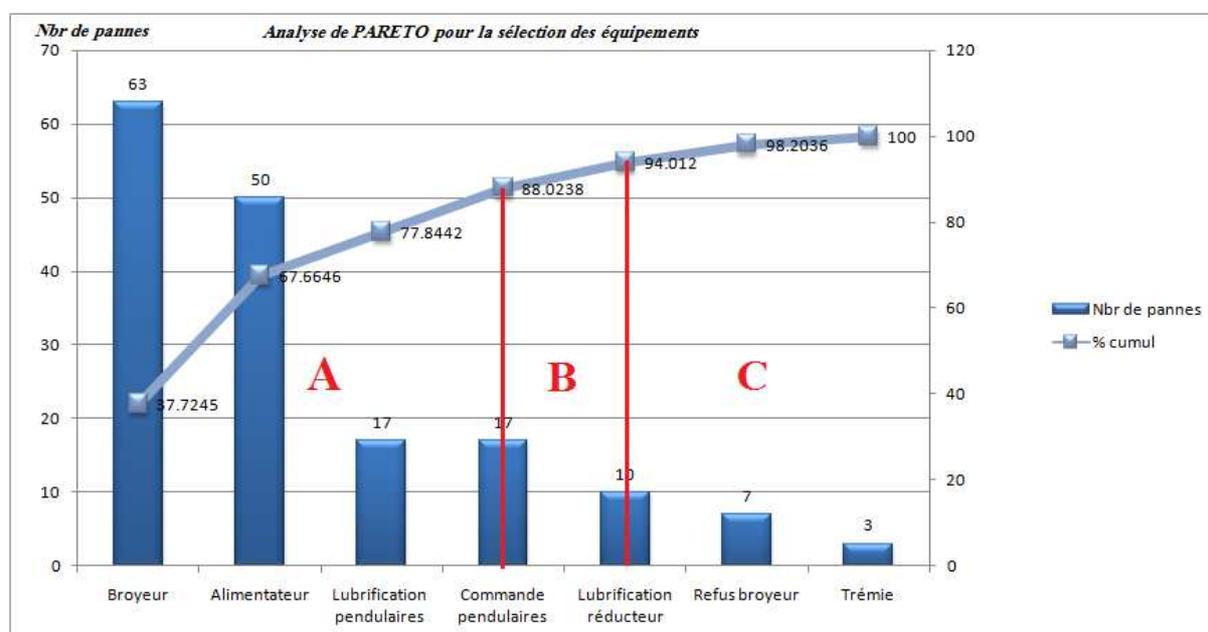


Figure 3.1 : Diagramme ABC des pannes par sous ensembles défaillants

D'après cette étude les sous-équipements qui représentent la majorité des défaillances sont les équipements constituant la zone A (Broyeur, Alimentateur, Commande pendulaires et Lubrification pendulaires).

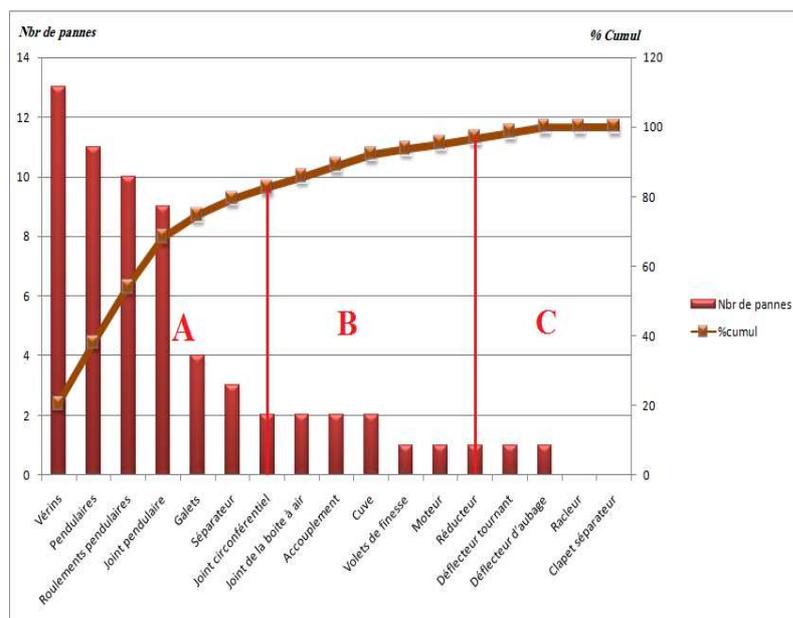
### 4.3- Sélection des unités maintenables les plus défaillants

Durant toute cette étude nous nous sommes basés sur l'historique établi d'une période de 6 ans, les résultats seront regroupés dans les tableaux suivants :

#### 4.3.1- Broyeur

Eléments	Nbr de pannes	%	cumul	%cumul
Vérins	13	20.6349	13	20.6349
Pendulaires	11	17.4603	24	38.0952
Roulements pendulaires	10	15.8730	34	53.9682
Joint pendulaire	9	14.2857	43	68.2539
Galets	4	6.3493	47	74.6032
Séparateur	3	4.7619	50	79.3651
Joint circconférentiel	2	3.1746	52	82.5397
Joint de la boîte à air	2	3.1746	54	85.7143
Accouplement	2	3.1746	56	88.8889
Cuve	2	3.1746	58	92.0635
Volets de finesse	1	1.5873	59	93.6508
Moteur	1	1.5873	60	95.2381
Réducteur	1	1.5873	61	96.8254
Défecteur tournant	1	1.5873	62	98.4127
Défecteur d'aubage	1	1.5873	63	100
Racleur	0	0	63	100
Clapet séparateur	0	0	63	100
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>100</b>		

Tableau 3.2 : Nombre de pannes par organe défaillant du broyeur



D'après le graphe les unités maintenables les plus défaillantes sont :

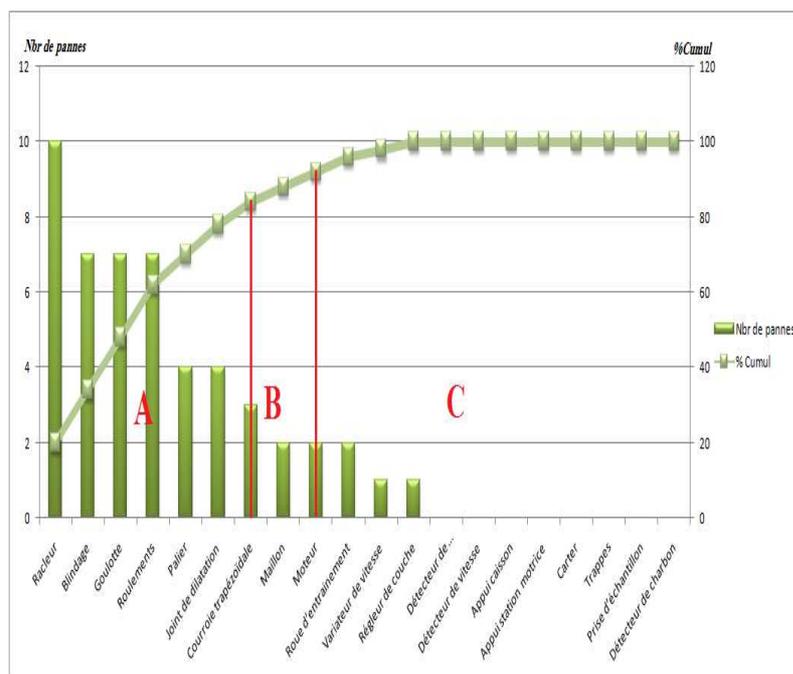
- Vérins ;
- Pendulaires
- Roulement pendulaires ;
- Joint pendulaire ;
- Galets ;
- Séparateur ;
- Joint circconférentiel.

Figure 3.2 : Diagramme ABC des pannes par organe défaillant

### 4.3.2- Alimentateur

Eléments	Nbr de pannes	%	Cumul	% Cumul
Racleur	10	20	10	20
Blindage	7	14	17	34
Goulotte	7	14	24	48
Roulements	7	14	31	62
Palier	4	8	35	70
Joint de dilatation	4	8	39	78
Courroie trapézoïdale	3	6	42	84
Maillon	2	4	44	88
Moteur	2	4	46	92
Roue d'entraînement	2	4	48	96
Variateur de vitesse	1	2	49	98
Régleur de couche	1	2	50	100
Détecteur de bourrage	0	0	50	100
Détecteur de vitesse	0	0	50	100
Appui caisson	0	0	50	100
Appui station motrice	0	0	50	100
Carter	0	0	50	100
Trappes	0	0	50	100
Prise d'échantillon	0	0	50	100
Détecteur de charbon	0	0	50	100
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100</b>		

Tableau 3.3 : Nombre de pannes par organe défaillant de l'alimentateur



D'après le graphe les unités maintenables les plus défaillantes sont :

- Racleur ;
- Blindage ;
- Goulotte ;
- Roulement
- Palier ;
- Joint de dilatation ;
- Courroie trapézoïdale.

Figure 3.3 : Diagramme ABC des pannes par organe défaillant

### 4.3.3- Circuit hydraulique de commande des pendulaires

<i>Eléments</i>	<i>Nbr de pannes</i>	<i>%</i>	<i>Cumul</i>	<i>% Cumul</i>
<i>Pompe à palettes</i>	5	29.4117	5	29.4117
<i>Filtres</i>	4	23.5297	9	52.9414
<i>Limiteur de pression</i>	2	11.7647	11	64.7061
<i>Accouplement</i>	2	11.7647	13	76.4708
<i>Accumulateur</i>	1	5.8823	14	82.3531
<i>Echangeur de température</i>	1	5.8823	15	88.2354
<i>Reniflard</i>	1	5.8823	16	94.1177
<i>Moteur électrique</i>	1	5.8823	17	100
<i>Réservoir</i>	0	0	17	100
<i>Vanne de vidange</i>	0	0	17	100
<i>Niveau visuel</i>	0	0	17	100
<i>Vanne thermostatique</i>	0	0	17	100
<i>Manomètre</i>	0	0	17	100
<i>Pressostat différentiel</i>	0	0	17	100
<i>Télé-thermomètre</i>	0	0	17	100
<i>Vanne by- passe</i>	0	0	17	100
<i>Thermostat</i>	0	0	17	100
<i>Vanne d'isolement</i>	0	0	17	100
<i>Vanne MASONILAN</i>	0	0	17	100
<i>Clapet anti- retour</i>	0	0	17	100
<i>Coupleur</i>	0	0	17	100
<i>Ligne d'alimentation</i>	0	0	17	100
<i>Ligne de récupération</i>	0	0	17	100
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100</b>		

**Tableau 3.4 :** Nombre de pannes par organe défaillant du circuit de commande

D'après le tableau ci-dessus les unités maintenables les plus défaillantes sont :

-  Pompes à palette ;
-  Filtre ;
-  Limiteur de pression ;
-  Accouplement ;
-  Accumulateur ;
-  Echangeur de température ;
-  Reniflard ;
-  Moteur électrique.

#### 4.3.4- Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires

<i>Eléments</i>	<i>Nbr de pannes</i>	<i>%</i>	<i>Cumul</i>	<i>%Cumul</i>
<i>Filtres</i>	6	35.2941	6	35.2941
<i>Pompe à engrenages</i>	3	17.6472	9	52.9413
<i>Clapet anti- retour</i>	2	11.7647	11	64.7060
<i>Soupape de protection</i>	2	11.7647	13	76.4707
<i>Accouplement</i>	2	11.7647	15	88.2354
<i>Reniflard</i>	1	5.8823	16	94.1177
<i>Moteur électrique</i>	1	5.8823	17	100
<i>Réservoir</i>	0	0	17	100
<i>Robinet de vidange</i>	0	0	17	100
<i>Indicateur de niveau</i>	0	0	17	100
<i>Contrôleur de niveau</i>	0	0	17	100
<i>Vanne d'isolement</i>	0	0	17	100
<i>Coupleur hydraulique</i>	0	0	17	100
<i>Trappe de visite</i>	0	0	17	100
<i>Contrôleur de débit</i>	0	0	17	100
<i>Vanne thermostatique</i>	0	0	17	100
<i>Thermomètre</i>	0	0	17	100
<i>Ligne de d'alimentation</i>	0	0	17	100
<i>Line de récupération</i>	0	0	17	100
<b>Total</b>	17	100		

**Tableau 3.5 :** Nombre de pannes par organe défaillant du circuit de lubrification

D'après le tableau ci-dessus les unités maintenables les plus défaillantes sont :

- ✚ Filtre ;
- ✚ Pompe à engrenage ;
- ✚ Clapet anti-retour ;
- ✚ Soupape de protection ;
- ✚ Accouplement
- ✚ Reniflard ;
- ✚ Moteur électrique.

### III- Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous avons pu déterminer les unités maintenables les plus défaillantes constituant la classe A de la chaîne de broyage. De ce fait, nous avons focalisé notre étude sur la classe A de chaque équipement qui engendre la majorité des cas d'arrêts de la chaîne de broyage.

## Chapitre 4

### ETUDE AMDEC ET ETUDE RCA

#### I- Introduction

Dans ce chapitre nous essaierons de déterminer les unités maintenables les plus critiques pour lesquelles il faut engager des actions préventives et amélioratives, pour cela nous allons exposer les différentes défaillances possibles grâce à une étude AMDEC qui permette une étude systématique des causes et des effets des défaillances qui peuvent affecter les composants de la chaîne de broyage et de classer les unités maintenables par ordre de criticité.

Ensuite nous essaierons de mettre le doigt sur la cause racine provoquant ces défaillances grâce à une étude RCA (Rot Cause Analysais).

#### II- L'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité

##### 1- Définition

L'AMDEC est une technique d'analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement des machines par la maîtrise des défaillances. Elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, d'un rendement global maximum des machines de production et des équipements industriels. L'étude de l'AMDEC vise à :

##### Augmenter la fiabilité :

- Prévention des pannes ;
- Fiabilisation de la conception ;
- Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation ;
- Optimisation de l'utilisation et de la conduite ;
- Amélioration de la surveillance et des tests ;
- Amélioration de la maintenance préventive ;
- Détection précoce des dégradations.

##### Augmenter la disponibilité :

- Prise en compte de la maintenabilité dès la conception ;
- Amélioration de la testabilité ;
- Aide au diagnostic ;
- Amélioration de la maintenance corrective.

##### Améliorer la sécurité :

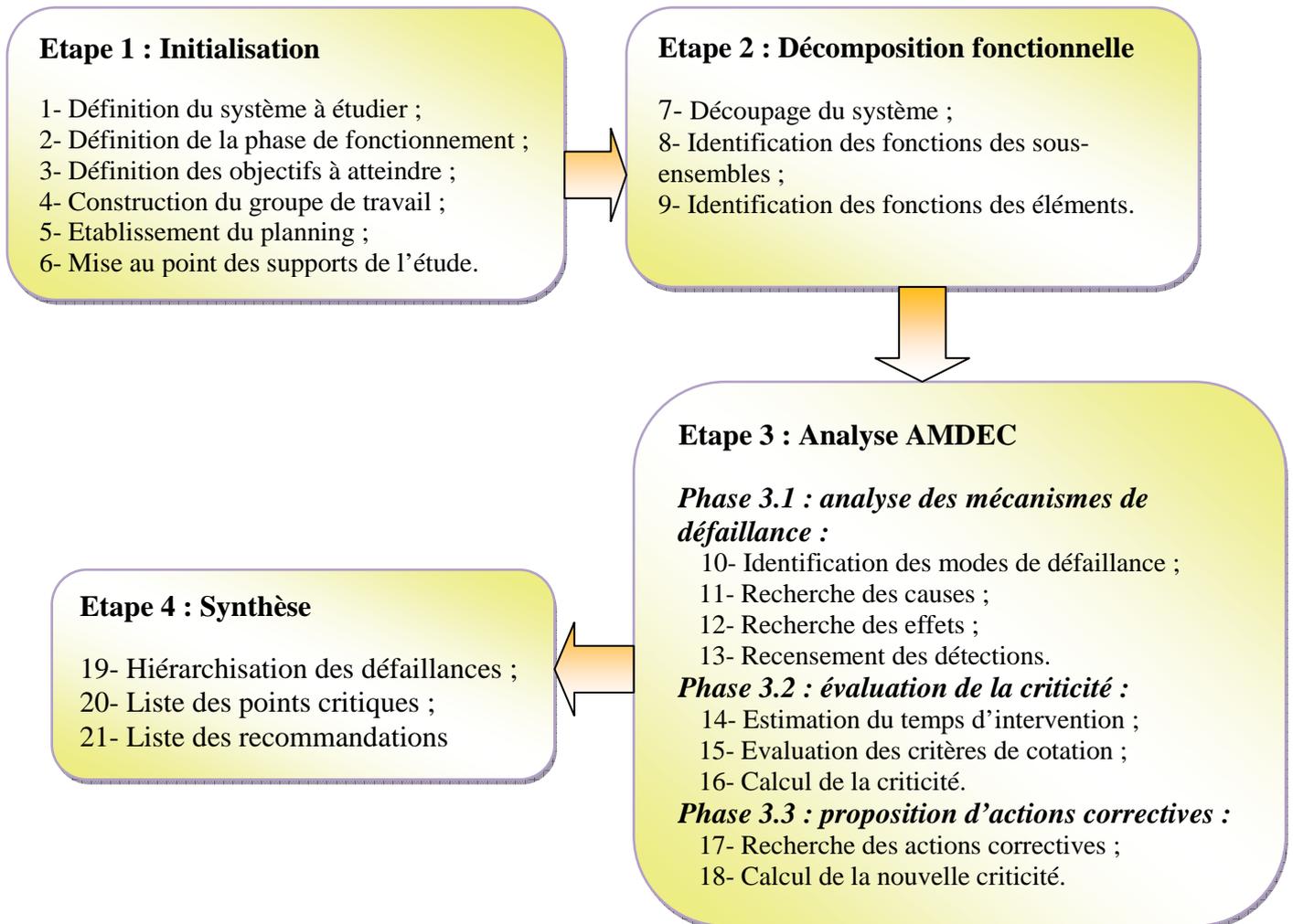
La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Une étude AMDEC resterait sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle systématique.

L'AMDEC machine est essentiellement destinée à l'analyse des modes de défaillance d'éléments matériels (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques; électroniques...).

Elle peut aussi s'appliquer aux fonctions de la machine, au stade préliminaire de sa conception par exemple.

L'étude peut être prolongée par des travaux complémentaires tels que les calculs de fiabilité et disponibilité, l'élaboration de plans de maintenance et des aides au diagnostic, etc.

Une étude AMDEC comporte 4 étapes successives suivantes :



## 2- Barème de cotation

La définition des critères de cotation et de leurs chiffrages est une étape très importante dans la méthode AMDEC. Elle permet l'évaluation des défaillances sur la base d'un barème que l'équipe de travail a choisi. Cette cotation peut être différente suivant :

- ✚ L'expérience des personnes présentes durant l'étude.
- ✚ Le taux de disponibilité souhaité.

Ce chiffrage permet de :

- ✚ Mettre en évidence l'importance de chaque défaillance par la définition de trois critères quantitatifs : La fréquence d'apparition de la défaillance, sa gravité et sa détection.
- ✚ Homogénéiser la cotation par l'utilisation du barème.

- ✚ Hiérarchiser les causes de défaillances afin de mettre en évidence celles qui devront faire l'objet d'actions prioritaires.

Les trois indices retenus lors de l'élaboration de ce barème sont :

- ✚ **L'indice de fréquence (F)** : il représente le risque que la cause potentielle de défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode de défaillance considéré. Cet indice s'exprime par le nombre de défaillance de l'élément sur une période donnée.
- ✚ **L'indice de gravité (G)** : il se réfère à la gravité de l'effet de chaque défaillance, tel qu'elle a été ressenti par l'utilisateur. Donc cet indice est lié à l'effet de la défaillance.
- ✚ **L'indice de détection (D)** : il représente la probabilité que la cause ou le mode de défaillance soit décelé par l'opérateur. Cette notion dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre au moment de l'étude.

La criticité correspond au produit des indices cités plus haut, ceci dans le but de hiérarchiser les défaillances potentielles :

$$C = F * G * D$$

Les critères sont estimés à l'aide des tableaux de cotation suivant, comme convenu lors des cellules de travail :

#### Indice de fréquence F :

Valeurs de F	Probabilité d'apparition de la défaillance
1	Très faibles taux d'apparition <i>1 défaillance sur 2 ans</i>
2	Faible taux d'apparition <i>1 défaillance 1 an</i>
3	Taux d'apparition moyen <i>2 défaillances sur 1 an</i>
4	Taux d'apparition régulier <i>Plusieurs défaillances par an</i>

Tableau 4.1 : Echelle de notation de la fréquence

#### Indice de gravité G :

Valeurs de G	Gravité
1	Gravité très faible <i>Sans influence</i>
2	Gravité faible <i>Peut critique</i>
3	Gravité moyenne <i>critique</i>
4	Gravité catastrophique <i>Très critique</i>

Tableau 4.2 : Echelle de notation de la gravité

**Indice de non détection D :**

Valeurs de D	Non détection
1	Défaillance précocement détectable : détection à coup sur de la cause de défaillance <b><i>Détection évidente</i></b>
2	Défaillance détectable : Signe avant coureur facilement détectable <b><i>Détection possible</i></b>
3	défaillance difficilement détectable : signe avant coureur de la défaillance difficilement détectable, peu exploitable <b><i>Détection improbable</i></b>
4	Défaillance indétectable : Aucun signe avant coureur de la défaillance <b><i>Détection impossible</i></b>

**Tableau 4.3:** Echelle de notation du non détection

**Indice de criticité C :**

Valeurs de C	Criticité
$1 \leq C < 10$ criticité négligeable	Aucune modification <b><i>Maintenance corrective</i></b>
$10 \leq C < 18$ criticité moyenne	Amélioration <b><i>Maintenance préventive systématique</i></b>
$18 \leq C < 27$ criticité élevée	Surveillance particulière <b><i>Maintenance préventive conditionnelle</i></b>
$27 \leq C < 64$ criticité interdite	<b><i>Remise en cause complète de l'équipement</i></b>

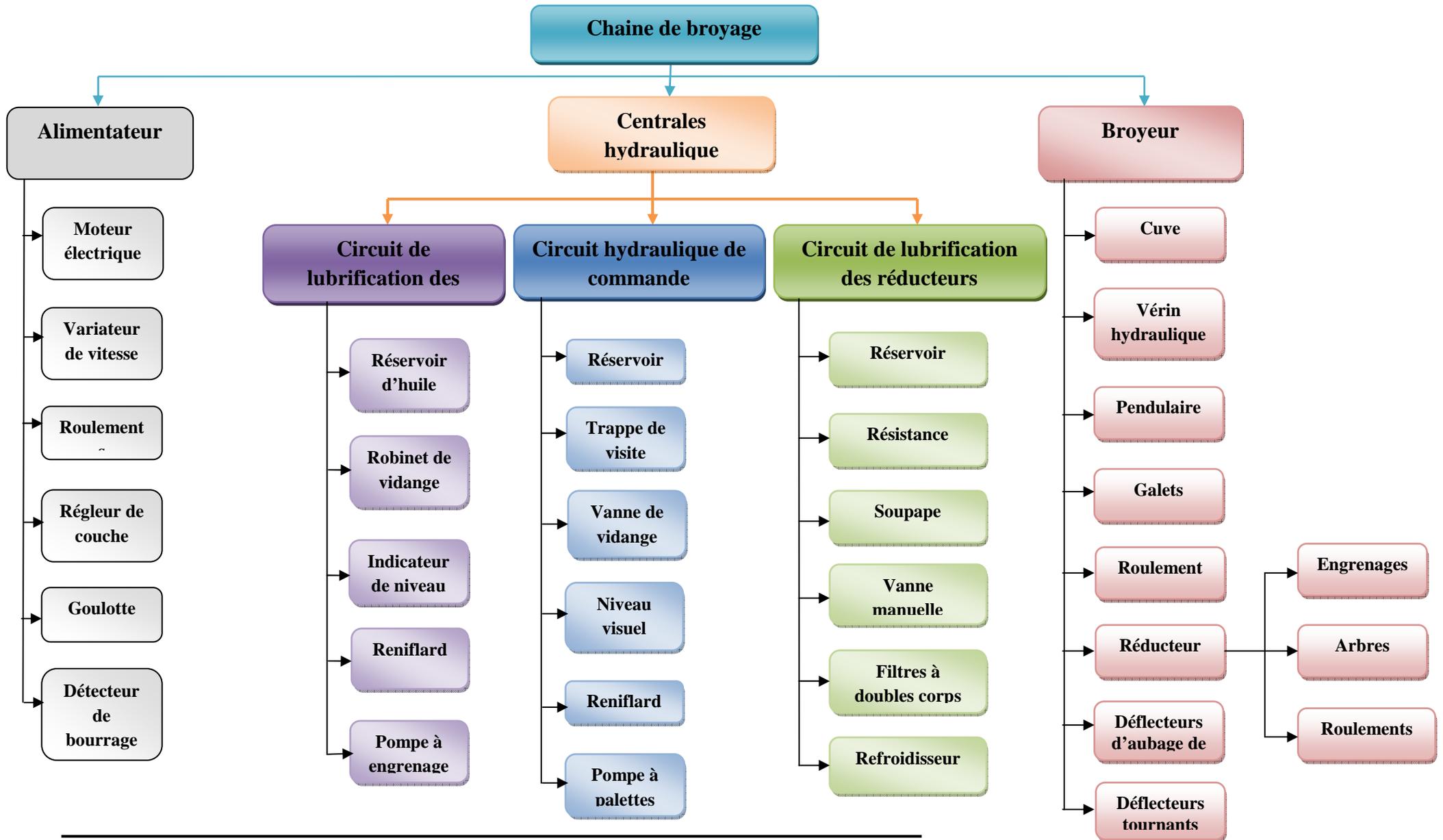
**Tableau 4.4:** Choix d'une forme de la maintenance

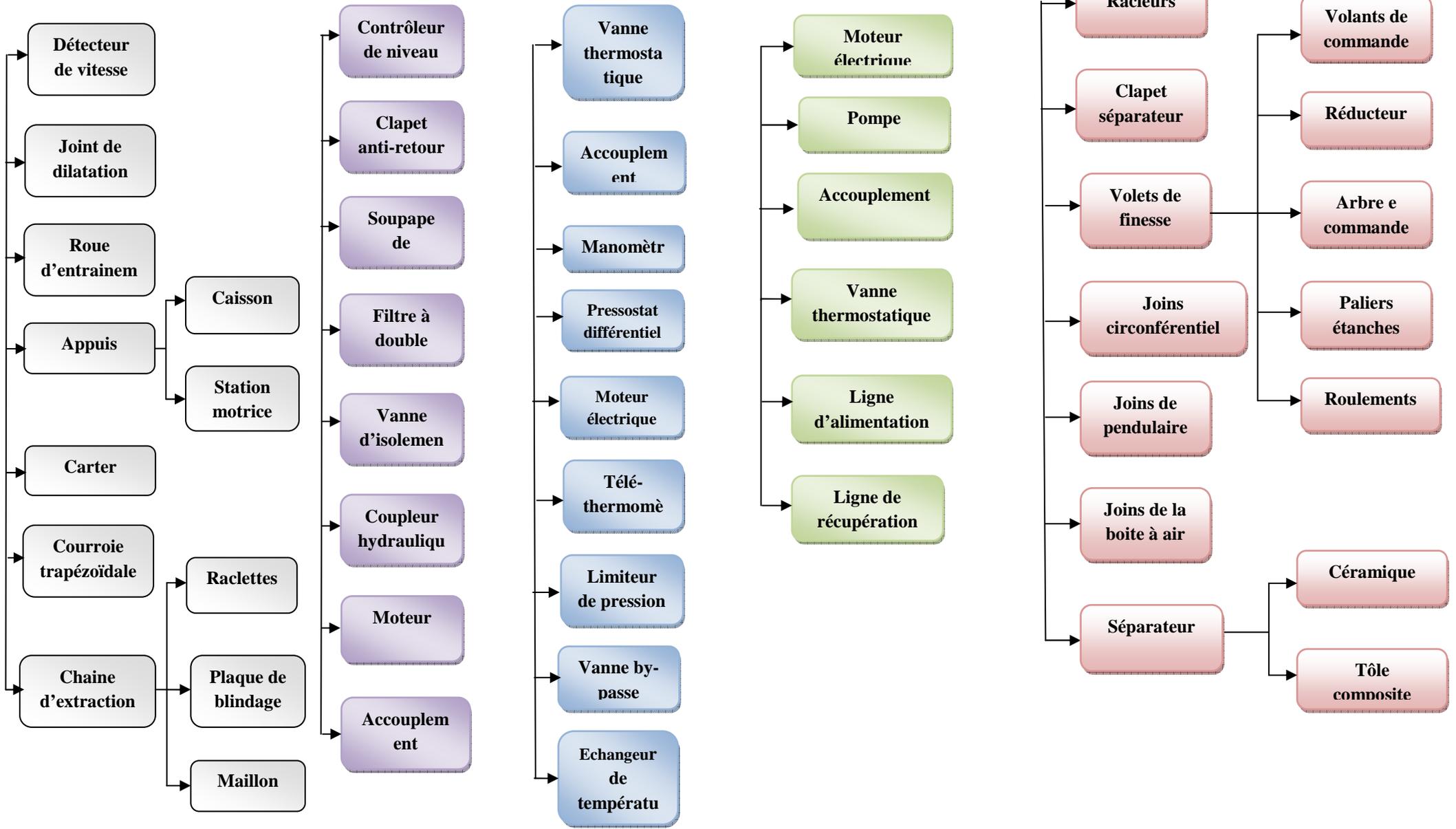
### III- Application de la méthode AMDEC

#### 1- Décomposition Fonctionnelle de la chaîne de broyage

La chaîne de broyage dont on étudiera les défaillances doit d'abord être décortiquée. Cela permettrait de passer d'un problème compliqué à des éléments simples à étudier.

Alors, après avoir distingué les groupes fonctionnels d'un tel système, il faut recenser ensuite les organes qui le constituent.





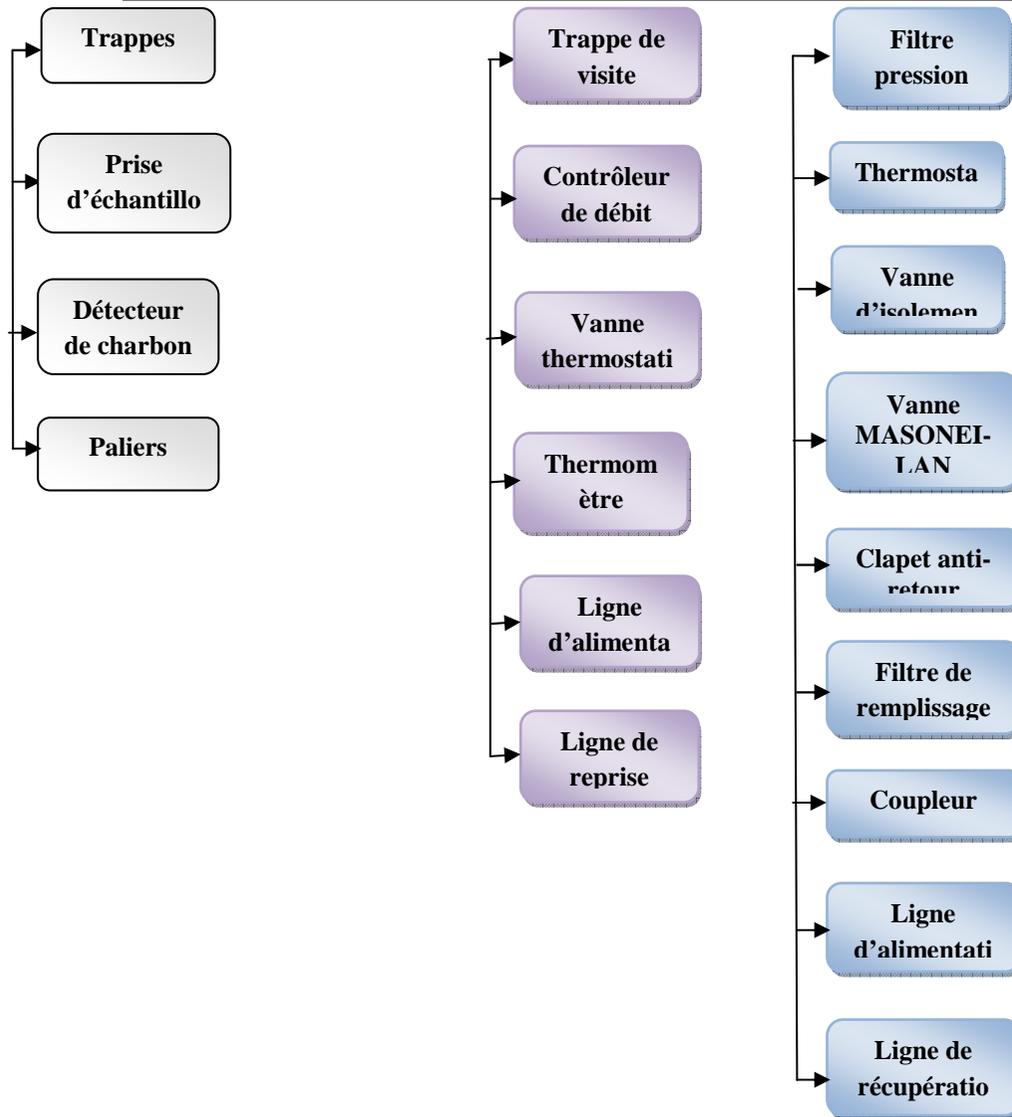


Figure 4.1 : Décomposition fonctionnelle de la chaîne de broyage



## 2- Les fiches AMDEC de la chaîne de broyage

Date de l'analyse:	<b>AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITÉS</b>				Phase de fonctionnement				page : 1 / 1
	Système : <i>Chaîne de broyage</i>		Sous - Ensemble : <i>Broyeur</i>						Nom : EL M'HAMEDI ALAOUI
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Action
					F	G	D	C	
<i>Vérin</i>	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Déformation de la tige	Efforts importants	Arrêt du broyeur	1	4	2	8	MPS : Surveillance périodique avec changement en cas de nécessité
		Blocage d'injecteur	Infiltration du charbon pulvérisé	Arrêt du broyeur	1	4	2	8	MPT: Assurer l'étanchéité
		Fuite d'huile	Détérioration des joints	- Cycle ralenti - Mauvais rendement	3	4	2	24	Etude RCA pour déterminer la cause racine
			Usure	-Arrêt broyeur	1	3	3	9	MPT : Contrôle périodique
			Oxydation		1	3	3	9	
		<i>Galet</i>	Broyer le charbon brut	Usure	Frottement entre les galets et le charbon brut	Augmentation du taux refus broyeur	2	3	2
Infiltration du corps étranger	Arrêt du broyeur si d>9mm				3	4	2	24	Etude RCA

<b>Roulements des pendulaires</b>	Assurer le guidage en rotation	Usure	Lubrification inadapté	Dégradation de fonctionnement du broyeur	2	1	2	4	MPT : Réalisation du plan de vidange	
			Bruit		Corrosion liée au contact	1	1	3	3	PR : Changement annuelle de roulements
		Ecaillage	Infiltration des impuretés « Charbon »			1	3	2	6	
			Echauffement		Lubrification inadéquate	2	2	2	8	S'assurer de la bonne lubrification
		Mauvais ajustement et jeu			2	3	2	12	MPT : Analyse vibratoire. MPT : Contrôler l'alignement de l'arbre.	
		Vibration	Mauvais montage		Arrêt du broyeur	1	3	3	9	MPS : Vérifier le montage des Roulements. MPT : Analyse vibratoire.
			Utilisation sous des charges mal adaptées			1	3	3	9	Calculer les efforts supportés par le roulement.

<i>pendulaire</i>	Maintenir les galets	Déformation de la tige	Efforts importants	Arrêt du broyeur	1	3	2	6	PR : Changer la tige de pendulaire.
			Corrosion		1	2	2	6	
			Fluage		1	3	2	6	
<i>Joint de pendulaire</i>	Assurer l'étanchéité des pendulaires	Détérioration des joints	Chocs thermiques	Infiltration du charbon pulvérisé qui peut engendrer une dégradation du fonctionnement du broyeur	1	3	3	9	MPS : Changer les joints
			Surpression		1	3	3	9	
			Fatigue		1	3	3	9	
<i>Séparateur</i>	assurer la sélection entre les grains fins et les grains grossiers	Usure	Contacte direct entre les surface des séparateur et le charbon pulvérisé	Passage des grains grossiers vers la chaudière qui provoque une diminution du rendement de la chaudière.	2	1	2	4	MPT : Changer le blindage
			Corrosion		Colmatage des conduites.	1	1	2	2

Date de l'analyse:	<i>AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITÉS</i>				Phase de fonctionnement				page : 1 / 2
	Système : <i>Chaîne de broyage</i>		Sous - Ensemble : <i>Alimentateur</i>						Nom : EL M'HAMEDI ALAOUI
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Action
					F	G	D	C	
<i>Racleur</i>	Transporter le charbon pour alimenter le broyeur	Déformation	Contraintes mécaniques	Arrêt de l'alimentateur	3	3	2	18	Etude RCA
			Rupture		Corrosion	1	2	2	4
		Fatigue			3	3	3	27	Etude RCA
		Fluage	1		2	3	6		
<i>Blindage</i>	Protéger les éléments de l'alimentateur	Usure	Contact charbon-blindage	Risque d'arrêt de l'alimentateur	2	2	2	8	MPS : Contrôle de l'état de blindage et changement en cas de nécessité.
			Corrosion		1	1	2	2	
<i>Goulotte</i>	Alimenter le broyeur en charbon brut	Fuite	Usure	Arrêt de l'alimentateur	3	3	1	9	MC : - Soudage de la partie usé - Changement de goulotte en cas de nécessité.
			Corrosion		1	1	1	1	
		Cassure	Pression de la trémie		2	3	1	6	
<i>Palier</i>	Guidage en rotation	Usure	Mauvaise lubrification		2	2	1	4	MC : Changement du palier

<b>Joint de dilatation</b>	Assurer l'étanchéité	Détérioration du joint	Fatigue	Arrêt du broyeur	2	3	1	6	MC : Changement du joint
<b>Courroie trapézoïdale</b>	Transmettre le mouvement de rotation de la roue motrice à la roue réceptrice	Rupture	Frottement	Arrêt de l'alimentateur	1	4	2	8	Inspection visuel de la courroie avant le montage. MPS : Changement de la courroie
			Echauffement		1	4	2	8	
			Fatigue		3	3	1	9	
<b>Roulement</b>	Assurer le guidage en rotation	Usure Bruit Ecaillage	Lubrification inadapté	Dégradation de fonctionnement de l'alimentateur	2	2	2	8	MPT : Réalisation du plan de vidange
			Corrosion liée au contact		1	2	3	6	MPA : changer les roulements
		Echauffement	Lubrification inadéquate	Dégradation de fonctionnement de l'alimentateur	2	2	2	8	MP : s'assurer de la bonne lubrification
			Mauvais ajustement et jeu		2	3	3	12	MPT : Analyse vibratoire MPT : Contrôler l'alignement de l'arbre
		Vibration	Mauvais montage	Arrêt de l'alimentateur	1	3	3	9	MP T: Vérifier le montage de roulement MPT : Analyse vibratoire.
			Utilisation sous des charges mal adaptées		1	3	3	9	Calculer les efforts supportés par le roulement.

Date de l'analyse:	<b>AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITÉS</b>				Phase de fonctionnement				page : 1 / 3				
	Système : <i>Chaîne de broyage</i>		Sous - Ensemble : <i>Circuit hydraulique de commande des pendulaires</i>						Nom : <i>EL M'HAMEDI ALAOUI</i>				
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Action				
					F	G	D	C					
<b>Pompe à palettes</b>	Débiter l'huile sous pression	Pas de débit	Rupture accouplement	Arrêt du broyeur	1	4	2	8	PR : Changer l'accouplement				
			Cassure interne ou blocage		1	4	2	8	PR : Changer la pompe Utilisation de coupleur pour protéger le moteur et minimiser les dégâts.				
		Débit insuffisant	Usure interne du à la cavitation		2	4	3	24	Etude RCA				
			Contamination d'huile avec du charbon pulvérisé		3	4	2	24					
		Fuite	Détérioration de la garniture mécanique		3	4	2	24					
			Vibration		3	4	2	24					
		<b>Filtre à huile</b>	Filtrer l'huile		Encrassement	Infiltration des impuretés	Contamination d'huile	4		2	2	16	MPT : Nettoyer le filtre
					Mauvais filtrage								

<b>Limiteur de pression</b>	Eviter les surpressions durant le cycle	Détérioration	Usure du clapet	Pression instable ce qui nécessite l'arrêt du broyeur	2	3	4	24	Etude RCA
			Fatigue du ressort		2	3	4	24	
<b>Accouplement</b>	Transmettre la rotation du moteur à la pompe	Rupture	Surcharge	Arrêt du broyeur	1	4	2	8	PR : Changer l'accouplement
			Fatigue		1	4	3	12	
		Vibration	Désalignement	Mauvaise transmission ce qui provoque une dégradation de fonctionnement du broyeur	2	3	2	12	MPT : - Réalignement - Serrage de système de fixation - Analyse vibratoire
<b>Accumulateur</b>	Amortir les chocs	Fatigue	Surpression Dépression	Fluctuation de la pression	1	3	4	12	PR : Changer les accumulateurs.
<b>Echangeur de température</b>	Refroidir l'huile	Bouchage	Infiltration du charbon pulvérisé	Augmentation de la température	2	2	2	8	MPS : Nettoyer la surface d'échangeur.
<b>Reniflard</b>	- Mettre le réservoir sous pression atmosphérique - Filtrer l'air	Encrassement	Impuretés	Contamination d'huile qui conduit à l'usure des composants	1	1	2	2	MPS : Nettoyer le filtre.  Utiliser la nouvelle génération des reniflards avec dessiccateur
<b>Moteur électrique</b>	Entraîner la pompe	Echauffement	Surcharge	Grillage	1	4	2	8	MPT : Contrôler l'intensité du courant électrique. PR : Rebobinage du moteur.

Date de l'analyse:	<b>AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITÉS</b>				Phase de fonctionnement				page : 1 / 4
	Système : <i>Chaîne de broyage</i>		Sous - Ensemble : <i>Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires</i>						Nom : <i>EL M'HAMEDI ALAOUI</i>
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Action
					F	G	D	C	
<b>Pompe à engrenage</b>	Débiter l'huile	Pas de débit	Rupture accouplement	Arrêt du broyeur	1	4	2	8	PR : Accouplement
			Cassure interne ou blocage		1	4	2	8	PR : Pompe Utilisation de coupleur pour protéger le moteur et minimiser les dégâts.
		Débit insuffisant	Contamination d'huile avec du charbon pulvérisé		3	4	2	24	Etude RCA
			Usure interne du à la cavitation		2	4	3	24	
		Fuite	Détérioration de la garniture mécanique		3	4	2	24	
			Vibration		3	4	2	24	

<b>Filtre à huile</b>	Filtrer l'huile	Encrassement	Infiltration des impuretés	Contamination d'huile	2	3	2	<b>12</b>	MPT : Nettoyer le filtre
		Mauvais filtrage							
<b>Clapet anti-retour</b>	Permettre le passage d'huile dans un seul sens	Fatigue	Surpression	Détérioration de la pompe	1	2	4	<b>8</b>	PR : Changer le clapet anti-retour
		Usure							
<b>Soupape de protection</b>	Protéger la pompe	Fatigue	Surpression	Détérioration de la pompe	2	3	3	<b>18</b>	PR : changement annuelle des soupapes de protection.
		Usure							
<b>Reniflard</b>	Mettre le réservoir sous pression atmosphérique + Filtrer l'air	Encrassement	Impuretés	Contamination d'huile qui conduit à l'usure des composants	2	1	2	<b>4</b>	MPS : Nettoyer le filtre. Utiliser la nouvelle génération des reniflards avec dessiccateur
<b>Moteur électrique</b>	Entraîner la pompe	Echauffement	Surcharge	Grillage	1	3	2	<b>6</b>	MPT : Contrôler l'intensité du courant électrique. PR : Rebobinage du moteur.

### 3- Classification des unités maintenable par ordre de criticité

Suite à une réunion avec les intervenants de la chaîne de broyage on a décidé de choisir la valeur 9 comme seuil de criticité pour tous les équipements critique.

Les éléments dont la criticité dépasse 9 sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

<i>Equipement</i>	<i>Unités maintenables</i>	<i>Cause</i>	<i>Criticité</i>
<i>Broyeur</i>	Vérin	Détérioration des joints	24
	Galet	Infiltration du corps étranger	24
	Roulement pendulaires	Mauvais ajustement et jeu	12
<i>Alimentateur</i>	Racleur	Fatigue	27
		Contrainte mécanique	18
	Roulement	Mauvais ajustement et jeu	12
<i>Circuit hydraulique de commande des vérins</i>	Pompe à palettes	Usure du à la cavitation	24
		Contamination d'huile	24
		Détérioration de la garniture mécanique	24
		Vibration	24
	Limiteur de pression	Usure du clapet	24
		Fatigue du ressort	24
	Filtre	Infiltration des impuretés	16
	Accouplement	vibration	12
	Accumulateur	Fatigue	12
<i>Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires</i>	Pompe à engrenage	Usure du à la cavitation	24
		Contamination d'huile	24
		Détérioration de la garniture mécanique	24
		Vibration	24
	Soupape de protection	Usure	18

**Tableau 4.5 : Classement des unités maintenables selon leurs indices de criticité**

Après avoir classé les unités maintenables selon leurs indices de criticité, il est nécessaire de recenser les causes les plus critiques responsables des défaillances.

Pour mettre le doigt sur la cause racine provoquant ces défaillances, une étude RCA s'avère nécessaire.

## IV- Etude RCA (Rot Cause Analysis)

### 1- Présentation de la méthode RCA

Rendre compte des incidents est l'un des outils fondamentaux des programmes de sécurité et de contrôle des dommages. Les Programmes de Gestion de la Maintenance utilisent en général les méthodes suivantes pour rendre compte et enregistrer les dommages, les défauts et les pannes ainsi que les temps d'arrêt qui en résultent, à des fins administratives, telles que :

- ✚ Compte rendu de défauts.
- ✚ Fiche de travail ;
- ✚ Rapports de pannes ;
- ✚ Demandes de réparations ;
- ✚ Bons/Ordres de travail.

Dans les rapports d'incident les quatre points fondamentaux sont :

- ✚ Tous les faits significatifs (quoi, où et quand et la durée du temps d'arrêt) ;
- ✚ L'action de réparation (rectification) ;
- ✚ La cause de la panne ;
- ✚ Les actions correctives pour empêcher que la panne ne se reproduise.

La logique R.C.A consiste à :

1- Organiser l'identification et l'analyse de la panne du matériel ;

2- Trouver les faits :

- ✚ Quoi ?
- ✚ Où ?
- ✚ Comment ?
- ✚ Quand ?

3- Réparer les dommages des équipements ;

4- Identifier les causes racines de la panne (méthode « Pourquoi ») ;

5- Actions préventives et amélioratives pour empêcher que le problème ne se produise.

Les tableaux ci-dessous résument l'étude des causes racines RCA.

<i>Date :</i>	<i>Machine :</i>	<i>Défaut :</i>
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits : ..... .....		

**Tableau 4.6 : Rapport d'étude (Après défaillance)**

Cause 1	Pourquoi ? .....
Cause 2	Pourquoi ? .....
Cause Racine N	Pourquoi ?.....
Actions préventives et amélioratives apportées aux causes : 1. .... N. ....	
Exécution des actions (Qui et Quand ?) .....	

**Tableau 4.7 : Analyse des causes racines**

Après avoir classé les éléments maintenables selon leurs criticités (voir tableau VI.11), une étude RCA s'impose pour remonter à la cause racine provoquant les défaillances citées auparavant. Pour ce faire, nous avons adopté le modèle établi ci-dessus.

## V- Application

### 1- Etude RCA des éléments critique de l'alimentateur

#### 1.1- Etude RCA des racleurs

<b>Date :</b>	<b>Machine : Alimentateur</b>	<b>Défaut : Rupture</b>
<b><i>Rapport d'étude :</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Détérioration des racleurs		
<b>Où :</b> Racleur		
<b>Comment :</b> Contact directe entre les racleurs et le charbon brut		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine :</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> Déformation des racleurs.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> Contrainte mécanique élevées.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> Blocage de la chaîne de raclage.	
<b>Cause Racine</b>	<b>Pourquoi ?</b> Infiltration des corps étranger (métalliques).	
<b><i>Actions apportées aux causes :</i></b>		
<b>Actions préventives :</b>		
1- Contrôle périodique de la chaîne de raclage.		
2- Analyse vibratoire.		
<b>Actions amélioratives :</b>		
1- Changement du matériau des racleurs.		
2- Etude mécanique et redimensionnement des racleurs.		
3- Utilisation de la nouvelle génération des convoyeurs.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand):</i></b>		
-----		

## 1.2- Etude RCA des roulements

<b>Date :</b>	<b>Machine : Alimentateur</b>	<b>Défaut : Echauffement</b>
<b><i>Rapport d'étude :</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Mauvais ajustement et jeu		
<b>Où :</b> Roulement		
<b>Comment :</b> usure anormal		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine :</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> lubrifiant inadéquat.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> roulement inadéquat.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> montage inadéquat des roulements.	
<b>Cause 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> augmentation du jeu.	
<b>Cause 5</b>	<b>Pourquoi ?</b> vibration.	
<b>Cause 6</b>	<b>Pourquoi ?</b> dérailage de la chaîne de raclage.	
<b>Cause 6</b>	<b>Pourquoi ?</b> déformation des racleurs.	
<b>Cause Racine</b>	<b>Pourquoi ?</b> Infiltration du corps étranger (métallique).	
<b><i>Actions apportées aux causes :</i></b>		
<b>Actions préventives :</b>		
1- S'assurer de la bonne lubrification.		
2- Analyse vibratoire.		
3- Analyse des huiles.		
4- Vérifier le montage des roulements.		
5- Contrôle périodique de la chaîne de raclage.		
<b>Actions amélioratives :</b>		
1- Utilisation d'un nouveau lubrifiant.		
2- Redimensionnement des roulements.		
3- Remplacer la chaîne de raclage par des bondes en caoutchouc.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand) :</i></b>		
-----		

## 2- Etude RCA des éléments critique du broyeur

### 2.1- Etude RCA du vérin

Date :	Machine : Broyeur	Défaut : Fuite dans les vérins
<b><i>Rapport d'étude</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Détérioration des joints		
<b>Où :</b> Vérin		
<b>Comment :</b> Surpression		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> augmentation de la pression	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> augmentation du contre débit	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> recul brutal du pendulaire	
<b>Cause 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> augmentation de la distance entre la cuve et le galet	
<b>Cause Racine 5</b>	<b>Pourquoi ?</b> passage du corps étranger (métallique) sous les galets	
<b><i>Actions apportées aux causes</i></b>		
<b>Actions préventives :</b>		
1- Contrôle de la qualité du charbon brut ;		
2- Analyse vibratoire ;		
<b>Actions amélioratives :</b>		
1- Installation des aimants toute au long du circuit de charbon brute ;		
2- Utilisation des vérins à simple effet.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand)</i></b>		
-----		

## 2.2- Etude RCA des galets

<b>Date :</b>	<b>Machine : Broyeur</b>	<b>Défaut : Usure des galets</b>
<b><i>Rapport d'étude</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> dégradation du fonctionnement du galet		
<b>Où :</b> galets		
<b>Comment :</b> usure sévère des galets		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> frottement des galets avec le charbon brut.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> matière première plus dur que le matériau du galet.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> mélange charbon/corps étranger.	
<b>Cause Racine 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> infiltration des corps étrangers.	
<b><i>Actions apportées aux causes</i></b>		
<b>Actions préventives</b>		
1- Contrôle de la qualité du charbon.		
2- Contrôle périodique des galets.		
<b>Actions amélioratives</b>		
1- Changement du matériau de rechargement des galets.		
2- Installation des aimants toute au long du circuit de charbon brute ;		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand) :</i></b>		
-----		

### 2.3- Etude RCA de roulements de pendulaires

<b>Date :</b>	<b>Machine : Broyeur</b>	<b>Défaut : Echauffement</b>
<b><i>Rapport d'étude</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Mauvais ajustement et jeu		
<b>Où :</b> Roulement du pendulaires		
<b>Comment :</b> usure anormal		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> lubrifiant inadéquat.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> roulement inadéquat.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> montage inadéquat des roulements.	
<b>Cause 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> efforts importantes.	
<b>Cause Racine 5</b>	<b>Pourquoi ?</b> recul brutale des pendulaires lors de passage des corps étrangers.	
<b><i>Actions apportées aux causes</i></b>		
<b>Actions préventives</b>		
1- S'assurer de la bonne lubrification.		
2- Analyse vibratoire.		
3- Analyse des huiles.		
4- Vérifier le montage des roulements.		
<b>Actions amélioratives</b>		
1- Utilisation d'un nouveau lubrifiant.		
2- Redimensionnement des roulements.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand)</i></b>		
-----		

### 3- Etude RCA des éléments critique du circuit de commande des pendulaires

#### 3.1- Etude RCA de la pompe à palette

<b>Date :</b>	<b>Machine :</b> Circuit de commande des pendulaires	<b>Défaut :</b> Détérioration de la pompe
<b><i>Rapport d'étude</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Détérioration de garniture mécanique.		
<b>Où :</b> pompe à palette		
<b>Comment :</b> surpression		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> Augmentations de pression dans le circuit hydraulique.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> Dégradation de fonctionnement de limiteur de pression.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> La fatigue du ressort de limiteur dû à la surpression.	
<b>Cause 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> Dégradation du fonctionnement des accumulateurs.	
<b>Cause 5</b>	<b>Pourquoi ?</b> La fatigue de la vessie des accumulateurs.	
<b>Cause 6</b>	<b>Pourquoi ?</b> Fluctuation de la pression.	
<b>Cause 7</b>	<b>Pourquoi ?</b> Recul brutal des pendulaires.	
<b>Cause Racine 6</b>	<b>Pourquoi ?</b> Passage du corps étrangers sous les galets.	
<b><i>Actions apportées aux causes</i></b>		
<b>Actions préventives</b>		
1- Contrôle de la qualité du charbon brute.		
2- Contrôle des éléments du circuit pendant les arrêts programmés.		
3- Analyse des huiles.		
<b>Actions amélioratives</b>		
1- Installation des aimants toute au long du circuit de charbon brute ;		
2- Utilisation de la nouvelle génération des limiteurs de pression à deux étages.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand) :</i></b>		
-----		

#### 4- Etude RCA des éléments critique du circuit de lubrification des pendulaires

##### 4.1- Etude RCA de la pompe à engrenage

<b>Date :</b>	<b>Machine :</b> Circuit de lubrification des pendulaires	<b>Défaut :</b> Détérioration de la pompe
<b><i>Rapport d'étude</i></b>		
Joindre les rapports d'incidents concernés ici, ou énumérer les faits :		
<b>Quoi :</b> Usure de la garniture mécanique.		
<b>Où :</b> pompe à engrenage		
<b>Comment :</b> cavitation		
<b>Quand :</b> -----		
<b><i>Analyse des causes racine</i></b>		
<b>Cause 1</b>	<b>Pourquoi ?</b> Usure à normal de la garniture mécanique.	
<b>Cause 2</b>	<b>Pourquoi ?</b> Oxydation de la garniture mécanique.	
<b>Cause 3</b>	<b>Pourquoi ?</b> Lubrifiant un insuffisant.	
<b>Cause 4</b>	<b>Pourquoi ?</b> Mélange huile/impureté.	
<b>Cause 5</b>	<b>Pourquoi ?</b> Contamination d'huile.	
<b>Cause Racine 6</b>	<b>Pourquoi ?</b> Infiltration de l'air humide et du charbon pulvérisé.	
<b><i>Actions apportées aux causes</i></b>		
<b>Actions préventives</b>		
1- Analyse vibratoire.		
2- Contrôle des éléments du circuit pendant les arrêts programmés.		
3- Analyse des huiles.		
<b>Actions amélioratives</b>		
1- S'assurer que la pompe travail dans la zone permise.		
2- S'assurer que la pression qui règne dans la chambre de broyage et inferieur à celle de l'aire d'étanchéité.		
3- Utilisation de la nouvelle génération des reniflards à dessiccateurs.		
4- Installation d'un filtre séparateur pour éliminer les gouttes d'eau et les impuretés.		
<b><i>Exécution des actions (Qui&amp;Quand)</i></b>		
-----		

## VI-Conclusion

Les différentes analyses citées précédemment concernant les installations névralgiques nous a permis de déterminer les unités maintenables les plus critiques, ainsi de dévoiler et mettre le doigt sur les causes racines provoquant les défaillances de chaque équipement et qui sont :

- ✚ Alimentateur :
  - Blocage de la chaîne de raclage dû à l'infiltration des corps étrangers.
  
- ✚ Broyeur :
  - Passage des corps étrangers (métallique) sous les galets.
  
- ✚ Circuit hydraulique de commande des pendulaires :
  - Passage des corps étrangers sous les galets.
  
- ✚ Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires :
  - Infiltration de l'air humide et du charbon pulvérisé.

Nous avons aussi proposé des actions de maintenance primaire visant la diminution de leur niveau de criticité en recommandant quelques solutions telles que le contrôle vibratoire, l'analyse des huiles et la mise en place des nouveaux équipements.

## Chapitre 5

---

# ELABORATION D'UN PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE (PMP)

## I-Introduction

Ce chapitre a pour but d'élaborer un plan de maintenance préventive pour constituer une base de données qui doit permettre de responsabiliser et sécuriser les opérateurs, de les former tout en optimisant à court, moyen, et long terme la politique de maintenance de la chaîne de broyage.

Ensuite nous proposons une fiche spécifique pour l'inspection et le changement des éléments les plus défaillants, les plus critiques et que les opérateurs de maintenance rencontrent souvent.

## II- Plan de maintenance préventive

Alors que le taux d'utilisation des équipements industriels atteignent des niveaux élevés et que l'objectif est plus que jamais une maîtrise toujours plus grande de leur disponibilité, la préparation des interventions de maintenances devient une obligation incontournable.

Un élément essentiel de préparation est la formalisation des procédures de maintenance et donc la rédaction des différents modes opératoires pour chacune des interventions, qu'elle soit à caractère systématique bien sûr, mais aussi conditionnelle ou corrective (au moins pour les défaillances les plus courantes).

### 1- Définition

Selon la norme NF X 60-010, c'est « un document énonçant les modes opératoires, les ressources et la séquence des activités liées à la maintenance d'un bien ».

Ce document est établi dans une phase d'analyse et de conception de la maintenance à effectuer sur un matériel. Il rentre totalement dans une démarche de préparation et constitue souvent le cœur du dossier de préparation.

Le plan de maintenance d'un bien doit permettre l'organisation de la maintenance du bien et concourir à sa réalisation.

### 2- Objectifs

L'établissement du plan de maintenance permet d'atteindre les objectifs suivants :

- ✚ Garantir une continuité de service
- ✚ Garantir un niveau de disponibilité connu à un coût global maîtrisé
- ✚ Maintenir une qualité de service contractuelle
- ✚ Prévenir les risques.

### 3- Conditions d'établissements

Afin d'assurer une bonne maîtrise dans le temps de la maintenance d'un bien, le plan de maintenance doit contenir toutes les informations nécessaires. Le contexte dans lequel ce plan a été établi doit être

précisé. En effet, tout ou partie des dispositions décrites dans le plan de maintenance sont dépendantes du contexte qui prend en compte :

- ✚ Le taux d'engagement du bien
- ✚ Les objectifs assignés de production
- ✚ Les produits fabriqués
- ✚ Le taux de défaillance constaté
- ✚ Etc.

Si le contexte évolue, le plan de maintenance doit être réexaminé. Les modes de fonctionnement du service maintenance doivent donc intégrer cet examen automatique de la validité du plan de maintenance.

Pièce maîtresse du plan, l'inventaire des interventions, listant l'ensemble des interventions à réaliser sur le matériel, comportant éventuellement la périodicité préconisée et les commentaires nécessaires, doit mentionner :

- ✚ Les modes opératoires associés
- ✚ L'état du bien requis pour effectuer l'intervention
- ✚ Les ressources
- ✚ Etc.

La phase suivante est l'établissement du planning des interventions qui permet de représenter de manière globale et synthétique l'activité de maintenance sur le bien.

#### **4- Principales actions intégrées au plan de maintenance**

Le plan de maintenance définira de façon précise les actions suivantes : inspections, contrôles, visites, réparations.

### **III- Plan de maintenance préventive de la chaîne de broyage**

#### **1- Plan de maintenance préventive du broyeur**

<b>PLAN DE MAINTENANCE – Inventaire des interventions</b>
---

<b>INSTALLATION : Broyeur</b>	N° :	Code document :
		Page 1/1
<b>Désignation</b>	<b>Périodicité</b>	<b>Remarques</b>
Contrôle de la température du broyeur	Tous les jours	
Contrôle de la pression du broyeur	//	
Contrôle de vibration du broyeur	//	
Contrôle de la température du réducteur	//	
Contrôle des fuites d'aire primaire	//	
Contrôle de chemin de roulement	3 mois	Check-list 01
Contrôle de la couronne de prolongement de cuve	//	//
Contrôle des déflecteurs tournants	//	//
Contrôle des déflecteurs fixes du corps de séparateur	//	//
Contrôle des galets	//	//
Contrôle de la tête de pendulaire	//	//
Contrôle des joints de pendulaire	//	//
Contrôle du protecteur	//	//
Contrôle de la protectrice tige de vérin	//	//
Contrôle du flexible d'huile du pendulaire	//	//
Contrôle de la chambre de broyage	//	//
Contrôle du blindage	//	//
Contrôle du blindage de séparateur	//	//
Contrôle du cône intérieur et extérieur du séparateur	//	//
Contrôle des volets de séparateur	//	//
Contrôle des racloirs	//	//
Contrôle des supports des racloirs	//	//
Contrôle d'étanchéité des circuits de graissage	//	//
Contrôle d'étanchéité du circuit hydraulique de pression des pendulaires	//	//
Contrôle des joints de la boite à air au dessus du réducteur	//	//
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air des vérins de pression des pendulaires	//	//
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air des pivots de pendulaire	//	//
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air de la boite à air	//	//
Contrôle d'étanchéité du circuit d'eau de refroidissement	//	//
Contrôle du réducteur	//	//
Contrôle intensité moteur (Max, Min)	//	//
Date		
Nom		
Signature		

### 1.1- Check-list 01 pour l'inspection du broyeur

<b>PLAN DE MAINTENANCE – Check-list 01</b>		
INSTALLATION : <i>Broyeur</i>	N° :	Code document :

Désignation	Bon	Fait	A Faire	Remarques
Contrôle de chemin de roulement				
Contrôle de la couronne de prolongement de cuve				
Contrôle des déflecteurs tournants				
Contrôle des déflecteurs fixes du corps de séparateur				
Contrôle des galets				
Contrôle de la tête de pendulaire				
Contrôle des joints de pendulaire				
Contrôle du protecteur				
Contrôle de la protectrice tige de vérin				
Contrôle du flexible d'huile du pendulaire				
Contrôle de la chambre de broyage				
Contrôle du blindage				
Contrôle du blindage de séparateur				
Contrôle du cône intérieur et extérieur du séparateur				
Contrôle des volets de séparateur				
Contrôle des racloirs				
Contrôle des supports des racloirs				
Contrôle d'étanchéité des circuits de graissage				
Contrôle d'étanchéité du circuit hydraulique de pression des pendulaires				
Contrôle des joints de la boîte à air au dessus du réducteur				
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air des vérins de pression des pendulaires				
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air des pivots de pendulaire				
Contrôle d'étanchéité du circuit d'air de la boîte à air				
Contrôle d'étanchéité du circuit d'eau de refroidissement				
Contrôle du réducteur				
Contrôle intensité moteur (Max, Min)				

Date			
Nom			
Signature			

### 1.2- Fiches de maintenance pour le changement du galet d'un pendulaire

PLAN DE MAINTENANCE		
INSTALLATION : <b>Broyeur</b>	N°	Code document :

**Changement des galets**

Page : 1/2

**Objectif de rédaction du plan de maintenance :**

Le contenu de cette fiche doit être mis en œuvre à chaque intervention de changement du galet d'un pendulaire.

**Précaution à prendre et sécurité :**

L'opérateur doit s'assurer de l'arrêt complet de la chaîne de broyage et de l'évacuation du charbon pulvérisé.

**Préparation du chantier :**

- L'installation doit être disponible pendant la durée totale de l'intervention
- S'assurer de la disponibilité des moyens (outillages, personnels, pièces de rechanges)
- Aménager à proximité de l'installation un espace où on pourra installer le vérin de basculement

**Ressources nécessaires :**

<i>Outillages</i>		<i>Pièces de rechange</i>
2 Anneaux de manutention	Les clés mixtes : 17, 19, 24, 30, 32, 41	Galet
2 Marteaux	Les clés à molette	Roulements
Les clés à frappe	Les clés à pipes	Les arrêts d'huile
Les clés à griffe	Les élingues	Joint toriques

**Mode opératoire : « les références sont présentées en annexe 4 »**

➤ **Démontage du galet :**

Opération	Temps (h)	Effectif
1- Ouvrir les portes de visite		
2- Installer le montage de basculement		
3- Démontez le vérin du pendulaire		
4- Basculez le pendulaire		
5- Démontez le pendulaire		
6- Déplacer l'ensemble vers l'atelier		
7- Mettre l'axe de pendulaire en position verticale		
8- Vider l'huile		
9- Caler au sol sous la tête de pendulaire		
10- Dessouder les freins de vis (réf B1-163)		
11- Retirer les vis de fixation (réf B.1-196/V)		
12- Déposer la bride de fixation du galet (réf B1.196)		

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

Page : 2/2

13- Fixer les anneaux de manutention		
14- Retirer le bouchon du manchon inférieur (réf B.1-192/02)		
15- Raccorder l'orifice à la pompe à main (réf BV.4/1)		
16- Equiper le flexible avec le coupleur et le réducteur		
17- Placer deux madriers en bois sur le sol		
18-Suspendre le pendulaire de façon qu'il ne touche pas les madriers (laisser un jeu de 5 mm)		
19- Monter en pression à l'aide de la pompe à main		
20-S'aider si nécessaire d'un gros marteau de cuivre ou de plombe pour le décoller (ne pas utiliser un lourd marteau d'acier, il risquerait de marquer le noyau du galet)		
21- Extraire le galet		
22- Retirer la pompe		
23- Remettre en place le bouchon du manchon inférieur		

➤ **Remontage d'un nouveau galet :**

Opération	Temps (h)	Effectif
1- Nettoyer la partie conique du nouveau galet et du manchon inférieur		
2- Dégraisser la partie conique du nouveau galet et du manchon inférieur		
3- Mettre l'axe de pendulaire en position verticale		
4- Fixer les anneaux de manutention sur le nouveau galet		
5- Suspendre le galet		
6- Abaisser le galet neuf dans le pendulaire préalablement placé sur deux madriers en bois		
7- Remettre en place la bride de fixation du galet (réf B1.196)		
8- Fixer la bride à l'aide de ses vis de fixation (réf B1.196/V)		
9- Souder les freins de vis (réf B1-163)		
10- Déplacer l'ensemble vers le chantier		
11- Monter le pendulaire		
12- Basculer le pendulaire		
13- Désinstaller le montage de basculement		
14- Fermer les portes de visite		

**Attention : les opérations de montage et de démontage des galets s'effectuent à l'atelier.**

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

**1.3- Fiches de maintenance pour le changement des joints de vérin**

**PLAN DE MAINTENANCE**
**INSTALLATION : Broyeur**
**N°**
**Code document :**
**Changement des joints de vérin**
**Page : 1/2**
***Objectif de rédaction du plan de maintenance :***

Le contenu de cette fiche doit être mis en œuvre à chaque intervention pour le changement des joints des vérins de pression des pendulaires.

***Précaution à prendre et sécurité :***

- Si une montée en pression apparaît sur un vérin, vérifier qu'une imputée n'ait pas obturé le gicleur. Pour cela démonter le bouchon et le gicleur. Nettoyer les pièces et remonter en entourant les filetages de bonde téflon.
- En cas de coups ou rayures sur la tige procéder au remplacement de la tige et des joints.
- En cas de fuite sur la tige procéder au remplacement des joints comme décrit ci-dessous.

***Préparation du chantier :***

- L'installation doit être disponible pendant la durée totale de l'intervention
- S'assurer de la disponibilité des moyens (outillages, personnels, pièces de rechanges)

***Matériels nécessaires :***

<i>Outillages</i>	<i>Pièces de rechange</i>
<i>Les clés à pipes : 8, 10, 17</i>	<i>12 joints</i>
<i>Les clés à griffe</i>	
<i>Les clés mixtes : 17, 13</i>	

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

**PLAN DE MAINTENANCE**
**INSTALLATION : Broyeur**
**N°**
**Code document :**

**Changement des joints de vérin**

Page : 2/2

**Mode opératoire :**

Opération	Temps	Effectifs
1- Vidanger le vérin		
2- Déposer le vérin verticalement (tige en haut) en veillant à ne pas endommager la prise de pression		
3- Enlever l'embout de la tige		
4- Dévisser les vis de fixation de la tête avant		
5- Visser un anneau de levage dans le nez de la tige		
6- Extraire à l'aide d'un palan l'ensemble tige piston-tête avant du corps		
7- Déposer l'ensemble verticalement dans un endroit propre		
8- Sortir la tête avant de la tige		
9- Enlever les joints et les guidages		
10- Nettoyer les pièces		
11- Huiler les joints neufs		
12- Remonter les joints neufs en respectant leur sens de montage		
13- Huiler les pièces		
14- Remonter l'ensemble en sens inverse du montage		
15- Mettre les deux bagues d'étanchéité		
16- Orienter la tête avant de manière à faire correspondre le trou de lubrification des guidages sur la tête avant avec celui du corps		
17- Revisser les vis après avoir déposé une goutte de LOCTITE sur leur filetage		
18- Procéder aux essais de pression		

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

## 2- Plan de maintenance préventive du circuit hydraulique pour la commande et la lubrification des pendulaires

**PLAN DE MAINTENANCE – Inventaire des interventions**
**INSTALLATION : Circuit hydraulique de commande et de lubrification des pendulaires**
**N° :**
**Code document :**

Page 1/1

Désignation	Périodicité	Ressources - Renvois
Contrôle du fluide	Tous les jours	Voir notice ci-dessous
Contrôle du niveau d'huile	//	//
Contrôle de la pression d'huile	//	//
Contrôle de la température d'huile (33°C<T<55°C)	//	//
Contrôle d'encrassement des filtres	//	//
Contrôle des fuites	//	//
Contrôle visuel de l'intégrité et de la propreté des capteurs	//	//
Lecture du débit de circulation du fluide	//	//
Vérifier le fonctionnement des pompes	//	
Contrôle des organes de sécurité électriques	1/semaine	//
Vérification de la fixation des capteurs	//	//
Contrôle du bon serrage et fixation des appareils	1/mois	//
Faire un prélèvement d'huile pour l'analyse	Toutes les 2000h	//
Contrôle et réglage des limiteurs de débit	3 mois	//
Contrôle et réglage des limiteurs de pression	//	//
Contrôle intensité moteur (Max, Min)	//	//
Réglage des appareils	1 an	//
Contrôle et réglage de la vanne thermostatique	//	//
Contrôle et réglage de la vanne MASONI-LAN *	//	//
Remplacement des appareils défectueux	//	//
Vidange et nettoyage du bac	//	//
Refaire le plein du bac	//	//
Changement des joints des trappes de visites	//	//

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

**2.1- Notice pour l'inspection des circuits hydraulique**
**PLAN DE MAINTENANCE – Notice 01**
**INSTALLATION : Circuit hydraulique de commande et**
**N° :**
**Code document :**

## de lubrification des pendulaires

Page : 1/2

**✚ Vérifications journalières****➤ Aspect du fluide**

Un fluide trouble en surface indique la présence d'aspiration d'air ;

Un fluide trouble en profondeur indique la présence d'eau ;

Un fluide en bon état est limpide.

**➤ Niveau d'huile :**

Le niveau d'huile doit atteindre le trait noir du niveau visuel.

Au cas où celui-ci serait trop bas, il est tout d'abord nécessaire de le compléter avec le groupe de remplissage, ensuite il faut rechercher la cause de cette chute de niveau.

Il faut donc détecter l'origine des fuites au niveau des tuyauteries et raccords mais aussi au niveau des appareils et les supprimer.

**➤ Température du fluide**

Elle doit rester inférieure à 55°C, voir télé-thermomètre.

L'accroissement de la température du fluide peut provenir d'un dérèglement de la vanne thermostatique (refaire le réglage), d'un mauvais fonctionnement de cette vanne (dans ce cas procéder à son remplacement), d'une mauvaise alimentation en eau de l'échangeur huile/eau, où d'un encrassement du faisceau de l'échangeur.

**➤ Encrassement des filtres**

Le pressostat différentiel donne une alarme en cas d'encrassement.

Un filtre encrassé est repérable également par index rouge de colmatage à la partie supérieur du corps du filtre.

Pour changer un élément filtrant, dévisser le corps du filtre à changer et replacer un élément filtrant neuf.

**✚ Vérifications mensuelles**

En plus des contrôles journalières, il faut procéder à a vérification du bon serrage et de la bonne fixation des appareils constituant l'installation.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

**PLAN DE MAINTENANCE –Notice 01**

<b>INSTALLATION : Circuit de commande des pendulaires</b>	<b>N° :</b>	<b>Code document :</b>
---	-------------	------------------------

### ✚ Vérifications toutes les 2000 heures

Faire un prélèvement d'huile dans chaque réservoir pour l'analyse à l'aide de la vanne de vidange.

Les analyses vous indiqueront s'il y a lieu ou pas de vidanger les réservoirs.

### ✚ Vérifications annuelles

Procéder au remplacement et au réglage des appareils défectueux, mais avant il faut s'assurer qu'aucun élément du circuit ne soit sous pression, pour cela ouvrir la vanne de by-pass des accumulateurs et la refermer après la décompression du circuit afin de ne pas vider l'huile des tuyauteries (les manomètres doivent indiquer 0 bar).

Refaire le plein du bac, mais avant la mise en route définitive, il est nécessaire de faire :

- Une circulation à vide du circuit, pour cela il faut by-passer les vérins en reliant le flexible d'entrée du vérin au flexible de sortie de façon à ne pas polluer ces vérins. Il est également prévu de monter un filtre sur la tuyauterie de retour des vérins au bac.
- Laisser tourner le groupe environ 10 heures et changer l'élément filtrant des filtres.
- Rebrancher les flexibles sur les vérins et retirer le filtre sur la tuyauterie de retour des vérins.
- Pendant les premières heures de fonctionnement, un rodage s'effectue, pour cette raison nous vous recommandons fortement de faire la première vidange après 50 heures de service, ainsi qu'un remplacement des éléments filtrants des filtres.
- Après les 500 heures de fonctionnement vidanger à nouveau le bac et changer les éléments filtrants des filtres.

### Attention :

**Avant toutes interventions sur les circuits hydraulique, vérifier à l'aide des manomètres que le circuit est décomprimé (0 bar).**

**Si le circuit est resté en pression, manœuvrer la vanne by-pass et la refermer après la décompression du circuit**

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

### 3- Plan de maintenance préventive de l'alimentateur

PLAN DE MAINTENANCE – Inventaire des interventions		
INSTALLATION : Broyeur	N° :	Code document :
		Page 1/1

Désignation	Périodicité	Remarques
Contrôle de l'alignement longitudinal de l'alimentateur	<b>Tous les jours</b>	
Contrôle de l'alignement transversal de l'alimentateur	//	
Graissage des maillons de la chaîne de raclage	//	
Graissage des roulements	//	
Contrôle du colmatage de l'alimentateur	//	
Contrôle du niveau d'huile du réducteur	//	
Contrôle du niveau d'huile pour la lubrification des roulements	//	
Contrôle du niveau d'huile pour le graissage du moteur	//	
Contrôle de la température du réducteur	//	
Nettoyage de tête et queue de l'alimentateur	//	
Nettoyage des bouches de chargement et déchargement	//	
Contrôle du nettoye-fentes (changement en cas de forte usure)	//	
Contrôle de l'état des flancs des dents de la roue (changement de la roue lorsque l'usure des dents est supérieure à 3 mm)	<b>1/mois</b>	
Contrôle de la tension de la chaîne de raclage (racleurs, maillon)	//	
Contrôle de l'état de la chaîne	//	
Contrôle de l'état du blindage	//	
Contrôle de l'état d'usure des trous (changement de la chaîne de raclage lorsque l'usure des trous dépasse le 1% du diamètre)	//	
Contrôle de l'état des roues motrices et entraînées	//	
Contrôle intensité moteur (Max, Min)	<b>3 mois</b>	
Analyse vibratoire	//	

Date			
Nom			
Signature			

### 3.1- Fiches de maintenance pour le changement de la chaîne de raclage

PLAN DE MAINTENANCE		
INSTALLATION : Alimentateur	N°	Code document :
Changement de la chaîne de raclage		Page : 1/2

**Objectif de rédaction du plan de maintenance :**

Le contenu de cette fiche doit être mis en œuvre à chaque intervention pour le changement de la chaîne de raclage.

**Précaution à prendre et sécurité :**

- L'opérateur doit s'assurer de la fermeture complète des trappes de la trémie.
- L'opérateur doit s'assurer de l'arrêt complet de l'alimentateur et de l'évacuation du charbon brute.

**Préparation du chantier :**

- L'installation doit être disponible pendant la durée totale de l'intervention.
- S'assurer de la disponibilité des moyens (outillages, personnels, pièces de rechanges).
- Aménager à proximité de l'installation un espace où on pourra déposer la chaîne de raclage.

**Matériels nécessaires :**

<i>Outillages</i>	<i>Pièces de rechange</i>
<i>Chalumeau coupant</i>	<i>Racleurs</i>
<i>Marteau</i>	<i>Maillons</i>
<i>Tir fort</i>	<i>Goupilles</i>
<i>Palan</i>	<i>Rondelles</i>

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

**PLAN DE MAINTENANCE****INSTALLATION : Alimentateur**

N°

Code document :

Changement de la chaîne de raclage

Page : 2/2

**Mode opératoire :**

Opération	Temps	Effectifs
1- Fermer les trappes de la trémie		
2- Ouvrir les portes de vidange		
3- Vider l'alimentateur		
4- Ouvrir les portes visite		
5- Détendre la chaîne à l'aide du détendeur		
6- Couper la chaîne à l'aide du chalumeau coupant		
7- Enlever l'ancienne chaîne de raclage		
8- Monter la nouvelle chaîne de raclage		
9- Répéter les opérations 7 et 8 jusqu'au changement complet de la chaîne de raclage		
10- Augmenter la tension de la chaîne à l'aide du détendeur		
11- Fermer les portes visite		
12- Fermer les trappes de vidange		
13- S'assurer du bon fonctionnement de l'alimentateur (essai à vde)		
14- Ouvrir les trappes de la trémie		

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Date			
Nom			
Signature			

#### IV- Conclusion

L'application régulière de ces fiches permet d'augmenter la MTBF de la chaîne de broyage, ainsi de diminuer la MTTR et par la suite on aura une augmentation de la disponibilité de la chaîne.

## Chapitre 6

### AMELIORATION DES CIRCUITS HYDRAULIQUES

#### I- Introduction

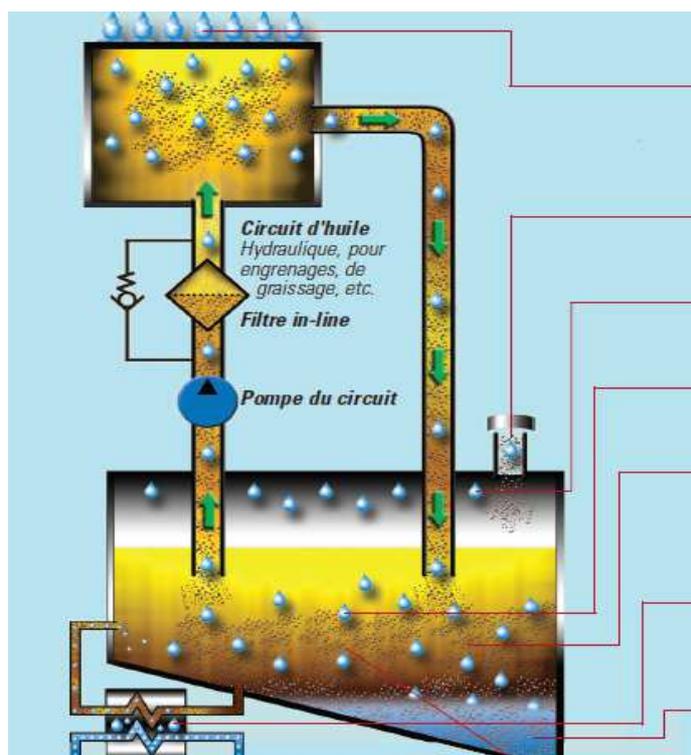
Dans ce chapitre, nous allons exposer une solution technique qui consiste à améliorer le système de filtration des circuits hydrauliques en utilisant un système de filtration continue. Ensuite nous terminerons par une étude économique de la solution proposée.

## II- Solutions techniques pour les circuits hydrauliques

A mesure que les équipements à énergie hydraulique deviennent plus sophistiqués, il devient nécessaire de mieux comprendre leur fonctionnement et leurs besoins d'entretien. Les systèmes hydrauliques peuvent être simples ou complexes. Ils peuvent fonctionner à des températures élevées, sous des pressions élevées, et être soumis à des cycles à répétition rapide. Nous traiterons dans cette partie des divers sujets d'intérêt concernant l'amélioration des systèmes hydrauliques.

La contamination des particules et de l'eau d'un circuit d'huile entraîne de nombreux problèmes susceptibles de provoquer des pannes de machines, des réparations fréquentes et une durée de vie de l'huile réduite. Ceci a pour conséquence une production inefficace, des dépenses excessives dans les réparations et des vidanges fréquentes.

L'installation actuelle des circuits hydrauliques pour la commande et la lubrification des pendulaires peut être schématisée comme suit :



**Environnement externe :** pénétration de l'eau provenant de l'environnement externe dans le circuit par le biais des éléments, d'un décapage par eau sous pression, d'un lavage...

**Event :** pénétration des particules et de l'eau par le biais de l'événement.

**Environnement interne :** condensation de l'eau dans le réservoir d'huile.

**Eau produite par oxydation :** Température élevée + huile usagée = acide, eau et résine.

**Formation de rouille/Corrosion :** l'eau provoque la formation de particules de rouille. Les autres pollutions adhèrent à la rouille et s'accumulent ainsi sur les parois et dans le réservoir.

**Refroidisseur d'eau :** un refroidisseur à eau permet à l'humidité de s'introduire dans le réservoir d'huile.

L'eau se regroupe dans la partie inférieure du réservoir d'huile.

Figure 5.1 : Schéma expliquant le principe de la filtration actuelle

⚡ Les problèmes causés par la contamination d'huile sont:



**Huile contaminé par l'eau**



**Abrasion**



**Corrosion/formation de rouille**



**Résine/Vernis**

✚ Les types les plus courants d'usure causée par la contamination sont :

**Sablage:** Lorsque des particules soumises à une vitesse d'écoulement élevée sont catapultées contre des pièces métalliques, elles détruisent les surfaces de ces dernières et produisent de nouvelles particules.



**Cavitation:** La cavitation se produit dans des zones où l'eau est présente et où l'huile est comprimée ; l'eau se condense, provoquant un craquelage des surfaces métalliques et la libération d'une plus grande quantité de particules.



**Erosion:** Lorsque des particules solides sont piégées entre des pièces métalliques mobiles, la dégradation lente est provoquée par l'usure des surfaces. Les composants sont beaucoup plus souvent détruits par l'endommagement de leur surface que par la dislocation de leur volume.



## 1- Filtre séparateur CJC™

### 1.1- Caractéristiques techniques du filtre séparateur CJC™

Pour remédier aux problèmes de contamination d'huile nous avons proposé d'ajouter au réservoir un système de filtration continue.

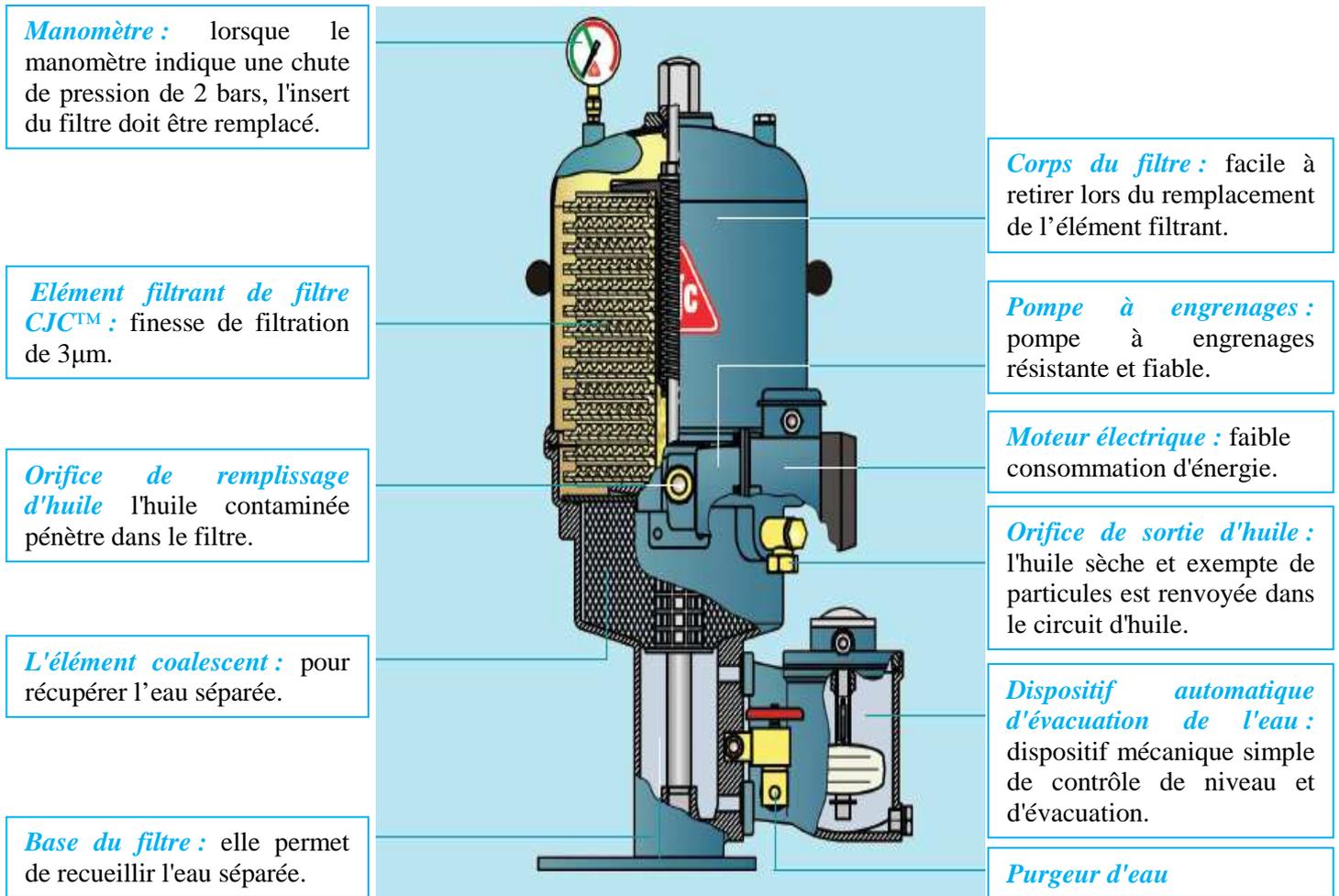
Nous avons consulté différents fournisseurs et nous avons choisi :

Un **filtre séparateur CJC™** dont ses caractéristiques techniques les suivantes :

Caractéristiques techniques	
Débit de la pompe (litre/heure)	30-120 l/h
Type de la pompe	Pompe à engrenages
Pression maximale d'admission (bar)	0.5 bar
Consommation électrique (KW)	0.18 KW
Chute de pression maximale (bar)	1.8 bar
Température maximale de fonctionnement (°C)	80 °C
Capacité absorbante d'eau (litre)	0.75 l
Poids sec (Kg)	22 Kg

**Tableau 5.1:** Caractéristiques techniques du filtre séparateur CJC™

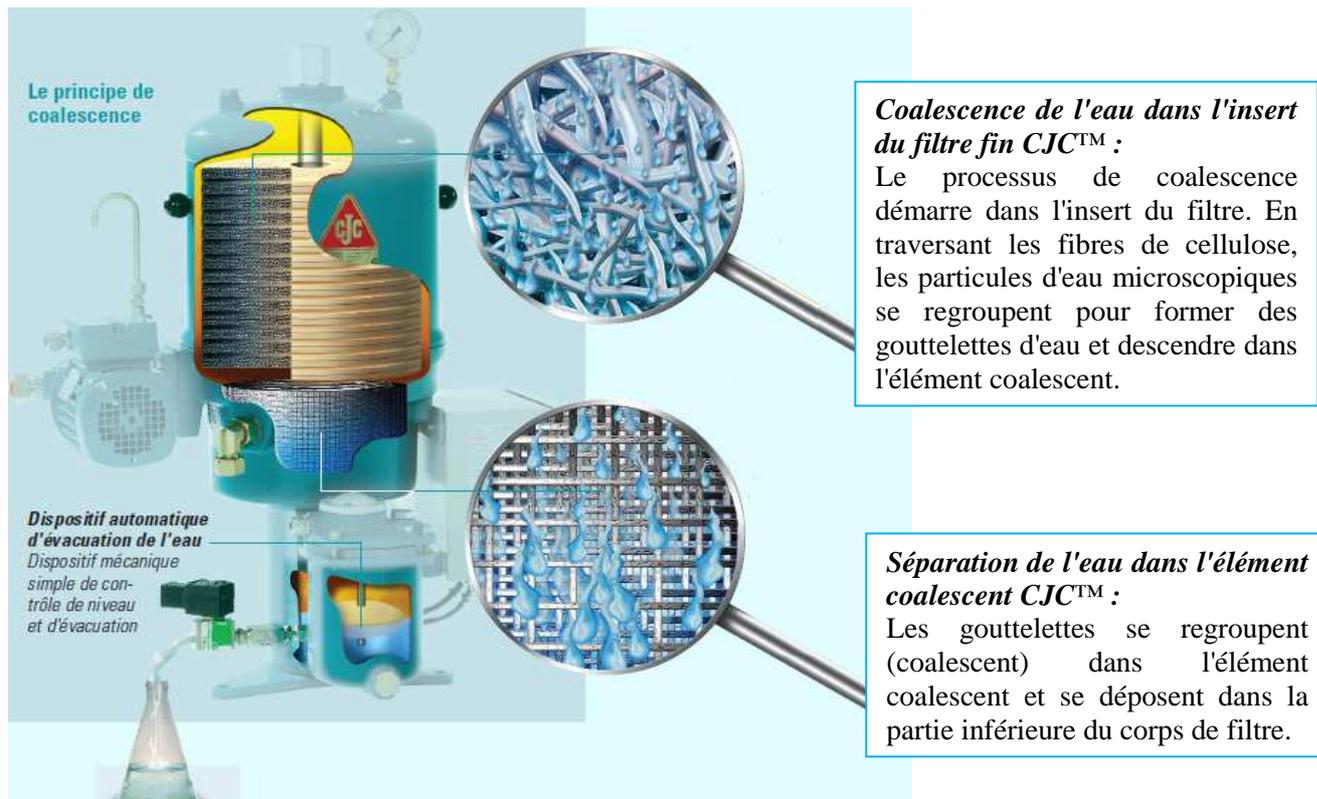
### 1.2- Les principaux composants du filtre séparateur CJC™


**Figure 5.2:** Principaux composants du filtre séparateur CJC™

### 1.3- Principe de filtration

Les **filtres séparateurs CJC™** combinent un procédé de filtration en profondeur avec un procédé de séparation de l'eau.

Cette filtration se base sur le principe d'absorption avec coalescence.



**Figure 5.3:** Principe de coalescence dans le filtre séparateur CJC™



**Figure 5.4:** Principe de filtration des particules dans le filtre séparateur CJC™

#### 1.4- Bénéfices et avantages des filtres séparateurs CJC™

Les avantages obtenus lors de l'utilisation d'un **filtre séparateur CJC™** auront un effet positif sur le budget de maintenance, améliorent également la productivité tout en réduisant la consommation d'énergie.

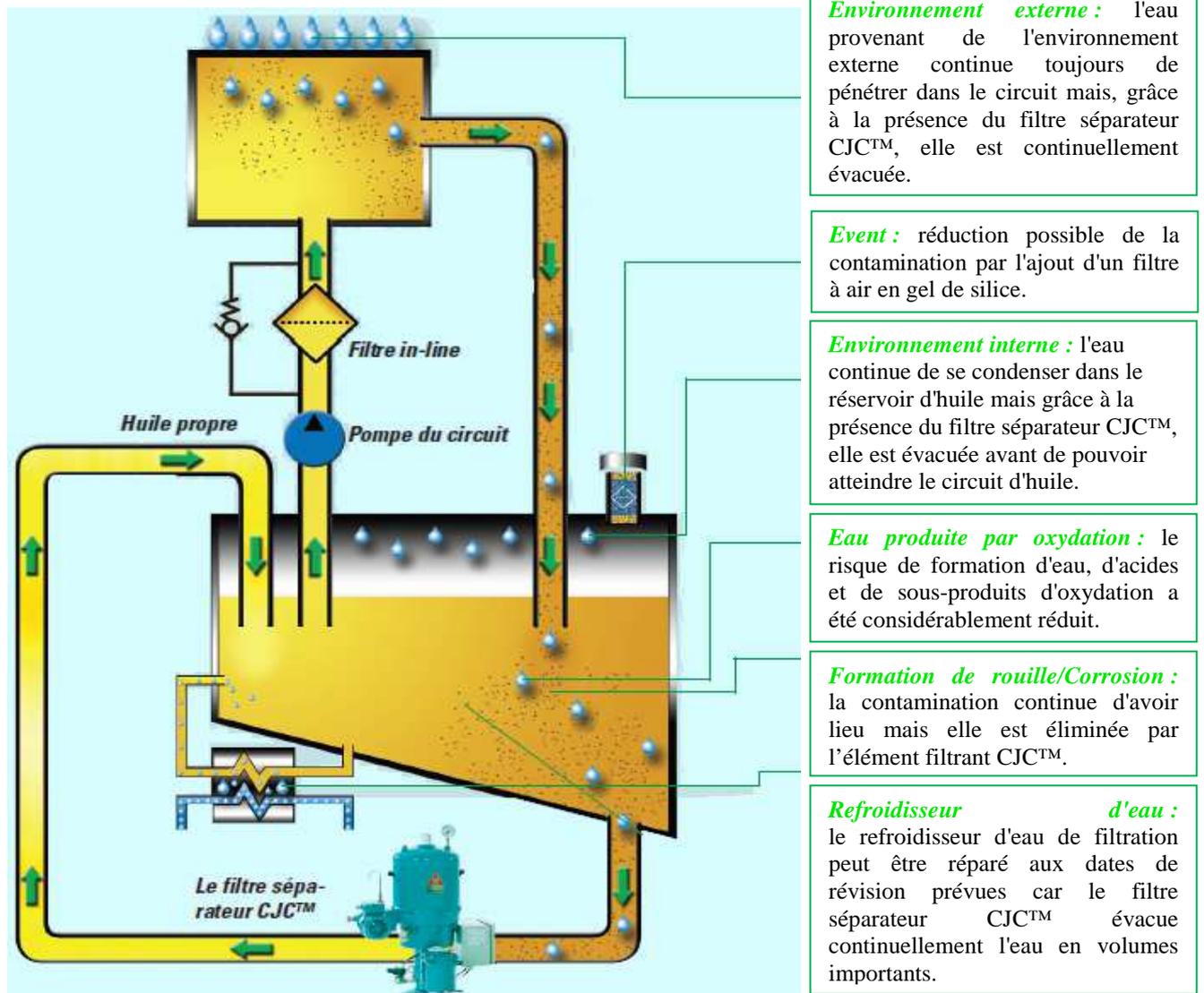


Figure 5.5 : Schéma expliquant le principe de la filtration off-line

#### ✚ Maintenance réduite :

- Diminution de l'usure et amélioration de la durée de vie des composants, de l'huile et des éléments filtrants ;
- Intervalles de temps plus longs entre les interventions de maintenance ;
- Amélioration de la précision du fonctionnement ;

#### ✚ Productivité améliorée :

- Moins de pannes et d'arrêts de production imprévus ;
- Les refroidisseurs peuvent être réparés aux dates de révision prévues ;

#### ✚ Réduction de la consommation d'énergie :

- Le pouvoir lubrifiant demeure intact et les frottements internes sont réduits ;
- Réduction des chutes de pression sur les filtres in-line ;
- L'indice de viscosité est maintenu stable et l'efficacité maintenue ;

## 2- Calcul économique

## 2.1- Coût de maintenance actuel

### 2.1.1- Circuits hydrauliques de commande et lubrification des pendulaires

Le coût de maintenance est une caractéristique de l'équipement, il correspond aux dépenses directement imputables à la maintenance à savoir le coût de sous-traitance et le coût de la main d'œuvre. Afin d'évaluer les coûts de maintenance annuels, nous avons utilisé l'historique des circuits hydrauliques de commande et de lubrification des pendulaires de la chaîne de broyage.

Sous-ensembles	Unités maintenables	Nbr de pannes/an	Prix Unitaire (Dhs)	Main d'œuvre (Dhs)	Total (Dhs)
Circuit hydraulique de lubrification des pendulaires	Filtres (2)	4	560,00	5184,00	9664,00
	Pompe à engrenages	2	6860,00	2592,00	20580,00
	Clapet anti-retour	1	140,00	1296,00	1436,00
	Soupape de protection	2	1200,00	2592,00	4992,00
	Reniflard	2	860,00	1296,00	3016,00
Circuit hydraulique de commande des pendulaires	Pompe à palettes	2	11200,00	2592,00	24992,00
	Filtres (2)	4	1500,00	5184,00	17184,00
	Limiteur de pression	1	1200,00	1296,00	2496,00
	Accumulateur	1	14150,00	1296,00	15446,00
	Echangeur de température	1	9800,00	1296,00	11096,00
	Reniflard	1	860,00	648	1508,00

**Tableau 5.2 : Calcul du coût de la maintenance annuelle des circuits hydrauliques**

A l'issue de ce calcul, nous remarquons que la société JLEC dépense annuellement **112410 Dhs** pour la maintenance des circuits hydrauliques pour la commande et la lubrification des pendulaires.

## 2.2- Life Cycle Cost

Plusieurs paramètres sont à prendre en considération quand on exploite une machine. Mis à part l'investissement initial de l'achat de la machine et de son installation, d'autres paramètres sont à prendre en considération durant toute la période d'exploitation. Ces paramètres sont définis par l'équation ci-dessous :

$$LCC = C_i + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

-   $C_i$  : Coûts d'investissement ;
-   $C_e$  : Coûts énergétiques ;
-   $C_o$  : Coûts d'exploitation ;
-   $C_m$  : Coûts de maintenance ;
-   $C_s$  : Coûts d'arrêt de la machine et perte de productivité ;
-   $C_{env}$  : Coûts environnementaux ;
-   $C_d$  : Coût d'arrêt.

## Life Cycle Cost

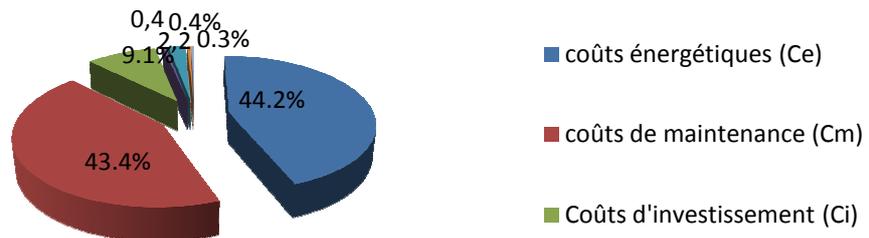


Figure 5.6 : Life Cycle Cost

Le graphique ci-dessus présente donc une vision du rapport des paramètres et des coûts d'exploitation durant toute la vie d'exploitation de la chaîne de broyage. Nous remarquons que les coûts énergétiques et maintenances correspondent à la majeure partie des dépenses, du coup on prendra en considération pour le calcul du LCC seulement le coût énergétique, le coût de maintenance et le coût d'investissement.

Afin de valider économiquement la solution proposée nous avons fait appel à l'analyse des coûts. En fait, les coûts d'investissement, d'énergie et de maintenance constituent des indicateurs d'efficacité de la solution et participent à l'évaluation de sa rentabilité.

Le tableau ci-dessous récapitule le calcul économique de l'état actuel des circuits hydrauliques et la solution mentionnée auparavant.

	<i>Solution actuelle</i>		<i>Solution technique</i>		
	<i>Moteur L</i>	<i>Moteur C</i>	<i>Moteur L</i>	<i>Moteur C</i>	<i>Moteur F</i>
<b>Puissance électrique (KW)</b>	<i>1.2</i>	<i>8</i>	<i>0.75</i>	<i>7.5</i>	<i>0.18</i>
<b>Coût d'énergie (Dh/an)</b>	<i>201 480</i>		<i>184 617.5</i>		
<b>Coût de maintenance (Dh/an)</b>	<i>562 050</i>		<i>40 000</i>		
<b>Coût d'investissement (Dh)</b>	<i>-----</i>		<i>231 520</i>		
<b>LCC (Dh/an)</b>	<i>-----</i>		<i>456 137.5</i>		
<b>Gain d'énergie (Dh/an)</b>			<i>16 862.5</i>		
<b>Gain de maintenance (Dh/an)</b>			<i>522 050</i>		
<b>Gain total (Dh/an)</b>			<i>538 912.5</i>		
<b>Retour d'investissement</b>			<i>6 mois</i>		

Tableau 5.3 : Synthèse des coûts pour la solution actuelle et la solution proposée

### III- Conclusion :

D'après les résultats de l'étude technico-économique faite ci-dessus on remarque les avantages de la solution proposée au niveau de la réduction des coûts de la maintenance, de la consommation énergétique et l'amélioration de la productivité, ainsi que les bénéfices financières.

### Conclusion générale

Le travail qui nous a été proposé visait à améliorer la maintenance des installations névralgiques de la chaîne de broyage. Il a été mené sur cinq volets :

- L'étude statistique des arrêts des installations névralgiques en se basant sur un historique d'une durée de six ans ;
- L'analyse des modes de défaillances, leurs effets et leurs criticités (AMDEC), qui nous a permis de déterminer les unités maintenables les plus critiques et de proposer des actions primaires de maintenance ;
- La recherche des causes racines provoquant ces défaillances grâce à une étude RCA ;
- L'élaboration d'un plan de maintenance préventive de la chaîne de broyage. Ainsi que des fiches de maintenance permettant de diminuer les durées d'intervention et surtout les durées de préparation des outils, sans oublier l'aspect sécuritaire ;
- La proposition d'une solution pour améliorer le système de filtration des circuits hydrauliques, suivie d'une étude LCC (Life Cycle Cost).

Ainsi, après avoir fait une description des installations névralgiques, nous avons effectué une analyse fonctionnelle suivie d'une décomposition fonctionnelle.

Nous avons aussi étudié l'historique de leurs pannes pour faire apparaître les composantes les plus sensibles selon le critère de la fiabilité que nous avons suivie d'une analyse AMDEC, afin de dégager les unités maintenables les plus critiques.

Tout cela pour établir un plan de maintenance préventive qui s'est étalé sur trois champs : maintenance systématique, maintenance conditionnelle et les fiches de maintenance.

Les résultats d'un programme de maintenance ne sont pas faciles à chiffrer, le succès va se traduire par le temps accru de disponibilité des équipements et par la diminution des frais de maintenance.

Par la proposition d'une solution pour améliorer le système de filtration des circuits hydrauliques, nous arrivons au terme de notre travail, nous avons ainsi répondu aux closes du cahier des charges.

D'autres améliorations pourront lui être apportées dans le futur. Et à titre de la recommandation, une continuité de ce travail peut être orientée vers les points suivants :

- Etude statistique et dynamique des composantes de l'alimentateur et du broyeur pour vérifier leurs résistances aux différents modes de charges ;
- Etude économique de la maintenance par implantation d'un système d'indicateurs de performances.

Enfin, nous remarquons l'apport important que représente notre travail pour l'amélioration de la maintenance au sein de la société Jorf Lasfer Energy Company (JLEC).