



# MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**

**Spécialité : Ingénierie Mécanique**

**Sujet :**

***ELABORATION D'UN PLAN DE CONTINGENCE POUR LES  
EQUIPEMENTS NEVRALGIQUES***

*Présenté par :*

**Badiâ AIT EL HAJ**

*Encadré par:*

**Mr. SEDDOUKI Abbass, (F.S.T.F)**

**Mr. KRAMCHI Redouan, (LAFARGE-Meknès)**

**Soutenu le 23 juin 2010**

**Le jury :**

- **Mr. Redouan KRAMCHI, (LAFARGE-Meknès)**
- **Mr. Abbass SEDDOUKI , (F.S.T.F)**
- **Mr. Ahmed EL KHALFI, (F.S.T.F)**
- **Mr. Bilal Harras, (F.S.T.F)**

**Année Universitaire : 2009-2010**

**Stage effectué à :**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: AIT EL HAJ Badiâ**

**Année Universitaire : 2009/2010**

**Titre: Elaboration d'un plan de contingence pour les équipements névralgiques.**

**Résumé :**

De nos jours, la maintenance joue un rôle primordial dans l'amélioration de la disponibilité des équipements, et l'accroissement de leur productivité.

Dans ce sens, il m'a été proposé d'élaborer un plan de contingence pour l'ensemble des équipements critiques de **LAFARGE-ciments** Usine de Meknès, et d'instaurer une nouvelle politique, visant la maîtrise du savoir faire de la société, la diminution du temps d'arrêt des équipements à maintenir et l'amélioration de leurs rendements.

Ces objectifs ont été atteints à travers plusieurs étapes :

- ✓ La première consiste à identifier et analyser les modes de défaillance des ateliers : carrière, broyage cru, cuisson. Après, l'analyse Pareto m'a permis d'identifier les sous-systèmes pouvant être responsables d'un arrêt majeur.
- ✓ Enfin, j'ai mis en place des plans d'actions pour ces équipements.

**Mots clés:**

Maintenance, Plan de contingence, Nœud Papillon, équipements critiques, arbre des défaillances.

# DEDICACE

Je dédie ce travail à mes chers parents qui ont été toujours prêt pour me soutenir, me présenter tant de tendresse, et tant de sacrifices, et qui ont pu créer le climat idéal à la poursuite de mes études.

J'espère qu'ils seront fiers de moi et qu'ils trouveront ici tout mon respect, ma gratitude et mon profond sentiment. Et que toute ma famille trouve ici l'expression de mes sentiments, de respect et de reconnaissance pour l'encouragement et le soutien que n'ont jamais cessé de m'apporter.

Je profite également de cette occasion pour exprimer ma fidélité et amitié infinie à tous mes amis qui ont été toujours à mes côtés pour éclaircir mon cheminement et spécialement ma chère amie Badra OUADGHIRI.

# REMERCIEMENT

Au terme de mon stage effectué à **LAFARGE-ciment** usine de Meknès, j'aimerais remercier vivement la société qui m'a accueilli, ainsi que Mr.kramchi mon encadrant, pour son aide précieuse, pour les informations et notices techniques que m'a fourni.

J'adresse pareillement mes remerciements à mon encadrant à la **FSTF**, Mr.Seddouki qui m'a fait profiter de son aide et de sa collaboration.

Je tiens avant tout à remercier les personnes suivantes pour tout ce qu'elles ont pu m'apporter au cours de ce stage : Mr.AGOUMI, Mr.ABOUTAIB, Mr.FATIMI, Mr.TENANI, Mr.EL AMRANI, Mr.ECHETHYTEH, Mr.nabil, Mr chakib, Mr.NAJI, Mr.EL MEDAGHERI ..., et tous les stagiaires pour leur bonne humeur communicative, ainsi que l'ensemble du personnel de **LAFARGE-ciment** de Meknès, pour avoir su rendre cette expérience aussi enrichissante qu'agréable à vivre.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants de la **FSTF** qui ont contribué à ma formation pendant ces six années, spécialement Mr. ABOUCHITA qui m'a apporté tant de soutien le long de ce stage. Ils s'adressent aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail.

Par la même occasion, je remercie tous ceux qui ont contribué à faciliter la tâche de mon travail, en prodiguant généralement leur aide accompagnée de sympathies et d'encouragements, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

### Chapitre I : Présentation de l'entreprise.

<b>I. Présentation de l'entreprise :</b>	<b>11</b>
1. Le groupe LAFARGE :	11
2. L'usine de Meknès :	11
<b>II. Processus de fabrication du ciment :</b>	<b>12</b>
1. Organigramme du procédé :	12
2. Etapes de fabrication du ciment :	13

### Chapitre II : Etude préliminaire du projet.

<b>I. Acteurs du projet :</b>	<b>21</b>
<b>II. Objectif et mission:</b>	<b>21</b>
<b>III. L'analyse du besoin :</b>	<b>21</b>
1. La bête à cornes :	22
2. Diagramme de pieuvre :	22
3. Recherche de solutions:	24
4. Planification de la période de stage :	24

### Chapitre III : Méthodes et démarche de travail.

<b>I. Détermination des équipements névralgiques :</b>	<b>27</b>
1. Décomposition matérielle de l'équipement :	27
2. Analyse des défaillances:	27
3. Evaluation de la criticité :	29
4. Analyse de Pareto :	30
<b>II. Elaboration de plan d'action :</b>	<b>31</b>
1. Nœud papillon :	31
2. Principe du Nœud Papillon :	32

## Chapitre IV : Etude de l'atelier du broyage cru.

<b>I. Etude de l'atelier du broyage cru :</b>	<b>38</b>
1. Présentation générale du broyeur à galets :	38
2. Présentation de l'installation étudiée :	39
<b>II. Présentation de l'analyse fonctionnelle :</b>	<b>39</b>
1. Analyse fonctionnelle externe :	40
2. Analyse fonctionnelle interne :	40
<b>III. Détermination des équipements névralgiques :</b>	<b>41</b>
1. Décomposition matérielle de l'équipement :	41
2. Analyse des modes de défaillance :	41
3. Evaluation de la criticité :	46
4. Analyse de Pareto :	48
<b>IV. Elaboration du plan d'action :</b>	<b>50</b>
1. Estimation des conséquences pour les événements de classe A :	51
2. Application de la méthode nœud papillon :	52

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## BIBLIOGRAPHIE

# Liste des figures

<b>Figure I.1: Flux de matière à LAFARGE .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure I.2: Abattage .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I.3 : Transport .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure I.4 : Concassage et transport.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure I.5 : Pré-homogénéisation.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure I.6 : Broyage cru.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure I.7 : Préchauffage et cuisson .....</b>	<b>17</b>
<b>Figure I.8 : Broyage ciment.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure I.9 : Ensachage et expédition.....</b>	<b>19</b>
<b>Figure II.1 : Enoncé du besoin .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure II.2 : Détermination des fonctions .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure II.3 : Plan de recherche associé aux fonctions à traiter.....</b>	<b>24</b>
<b>Figure II.4 : Planning (Gantt) du projet .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure III.1: Schéma de décomposition selon des niveaux.....</b>	<b>27</b>
<b>Figure III.2 : Représentation graphique d'un arbre des défaillances.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure III.3 : Principe du Nœud Papillon .....</b>	<b>31</b>
<b>Figure IV.1 : Aperçu sur l'installation du broyeur cru .....</b>	<b>39</b>
<b>Figure IV.2 : Analyse fonctionnelle externe du BC.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure IV.3 : Analyse fonctionnelle interne du BC .....</b>	<b>41</b>
<b>Figure IV.4 : Arbre des défaillances des équipements de l'alimentation du BC.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure IV.5 : Arbre des défaillances des équipements de broyage cru.....</b>	<b>44</b>
<b>Figure IV.6 : Arbre des défaillances des équipements du transport de la farine.....</b>	<b>45</b>
<b>Figure IV.7: Courbe ABC de l'atelier broyage cru.....</b>	<b>49</b>
<b>Figure IV.8 : Nœud papillon du réducteur de commande.....</b>	<b>53</b>
<b>Figure IV.9 : Nœud papillon de la détérioration des équipements internes.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.10 : Nœud papillon de l'élévateur de farine.....</b>	<b>57</b>

# Liste des tableaux

<b>Tableau III.1 : Grille de cotation niveau de production.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau III.2 : Grille de cotation maintenabilité .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau III.3 : Grille de cotation durée d'intervention.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau III.4 : Grille de cotation détectabilité .....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau IV.1 : Calcul de criticité.....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau IV.2 : Cumul du pourcentage de la criticité.....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau IV.3 : Estimation des conséquences .....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau IV.4 : plan d'action à appliquer au réducteur de commande .....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau IV.5 : Plan d'action à appliquer aux équipements internes du BC .....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau IV.6 : plan d'action à appliquer à l'élévateur de farine .....</b>	<b>59</b>

# Glossaire

- FST** : Faculté de Science et Technique ;
- PFE** : Projet de Fin d'Etude ;
- CaCO<sub>3</sub>** : Calcaire ;
- SiO<sub>2</sub>** : La silice ;
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Alumine ;
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Oxyde de fer ;
- C<sub>2</sub>S** : Belite { = (CaO)<sub>2</sub>(SiO<sub>2</sub>) } ;
- C<sub>3</sub>S** : Le silicate tricalcique ;
- CPJ 35** : Ciment Porland avec ajout ;
- CPJ45** : Ciment Porland avec ajout ;
- BC** : Broyeur Cru ;
- BK** : Broyeur Ciment / Broyeur Clinker ;
- ENS** : Evénement Non Souhaité ;
- Pb** : Problème ;
- RDC** : Réducteur de commande ;
- F.D.C** : Fin De Course ;
- GV** : Grande Vitesse ;
- PV** : Petite Vitesse ;
- HP** : Haute Pression ;
- BP** : Basse Pression ;
- H.S** : Hors Service ;
- Cellule MT** : Cellule Moyen Tension ;
- CR** : Contrôle de Rotation ;
- ICV** : Interrupteur Coupure Visible ;
- EVS** : Echangeur à voie sèche ;
- MP** : Matière Première ;
- APR** : Analyse Préliminaire des Risques.



# INTRODUCTION

La recherche des performances des systèmes de production devenus complexes mène la fonction maintenance à être responsable de la garantie de la disponibilité de tels systèmes. En effet, la concurrence est devenue de plus en plus rude voir farouche, toutes les entreprises sont tenues à appliquer la maintenance grâce aux objectifs qu'elle présente:

- Contribuer à assurer la production prévue ;
- Contribuer à maintenir le niveau de qualité du produit fabriqué ;
- Contribuer au respect des délais ;
- Respecter les objectifs humains : conditions de travail et de sécurité ;
- Préserver l'environnement.

Dans ce contexte, la notion de plan de contingence s'impose pour atteindre les objectifs prescrits avec des risques minimaux. En effet, un plan de contingence vise à anticiper, identifier et maîtriser les risques pour déceler les vulnérabilités du processus de production, puis à évaluer l'impact de chaque incident et sa probabilité de survenance. Ce plan consiste soit à réduire la probabilité que l'incident survienne, soit à réduire les conséquences de l'incident.

Avec une consommation constante du ciment pendant ces dernières années, et l'apparition de nouvelles cimenteries. **LAFARGE-ciment** usine de Meknès doit maîtriser son processus de fabrication du ciment pour pouvoir résister à la concurrence en perpétuelle augmentation.

A la fin de l'année 2009, **LAFARGE-ciment** usine de Meknès a réalisé un grand progrès sur le plan management et performance, alors qu'il reste beaucoup de choses à faire pour consolider les acquis.



Dans cette optique d'amélioration, **LAFARGE** s'élanche dans le développement du rendement de ses équipements. Le service maintenance de **LAFARGE** a pour principale mission d'assurer la disponibilité permanente des équipements.

Pour réussir cette mission, **LAFARGE** a planifié des objectifs pour l'année 2010 dans lesquelles s'inscrit mon projet de fin d'étude intitulé : « **Elaboration d'un plan de contenance pour les équipements névralgiques** ».

Le rapport de ce projet de fin d'études est scindé en quatre chapitres. Après une description de l'organisme d'accueil, du processus de fabrication dans le premier chapitre, le déroulement sera comme suit :

Dans le deuxième chapitre on présente les objectifs et mission du projet, on traite la démarche à suivre pour la réalisation du projet.

Le troisième chapitre traite la démarche à suivre pour arriver aux objectifs de notre projet. Aussi, contient les méthodes nécessaires pour l'établissement de la démarche de travail, à savoir : L'arbre des défaillances, la méthode ABC, la méthode nœud papillon.

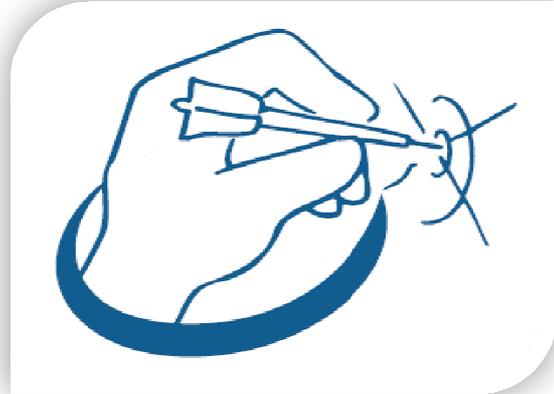
Le quatrième chapitre, présente en détail l'application de la démarche citée auparavant au broyeur cru.

En conclusion, on rappellera les principaux résultats obtenus dans cette étude et les replacera dans le contexte où j'ai travaillé.

A ce document sont associé trois annexes :

- **L'annexe A** concernant la décomposition des différents équipements de l'atelier de broyage cru.
- **L'annexe B** relative à l'étude des équipements de l'atelier de la cuisson.
- **L'annexe C** qui donne l'étude associée à l'atelier de la carrière.

# 1<sup>er</sup> Chapitre



## Présentation de l'entreprise

Ce chapitre dresse une présentation générale de LAFARGE en tant qu'organisme d'accueil où j'ai réalisé mon stage.

## Présentation de l'entreprise :

### 1. Le groupe LAFARGE :

Le groupe **LAFARGE** a été créé en 1833 en France. C'est une multinationale présente dans 70 pays, rassemblant 71000 collaborateurs et réalisant 17 milliards d'euros de chiffre d'affaires.

Le groupe occupe des positions de premier plan dans chacune de ses activités: n°1 mondial du Ciment, n° 1 des Granulats, n°3 du Béton et n°3 du Plâtre. Le groupe a développé et mis en œuvre à travers le monde, un savoir-faire d'efficacité industrielle, d'économie de ressources et de respect des hommes et de l'environnement.

Les unités de productions du groupe **LAFARGE** au Maroc sont : usine de Meknès, Tanger, Casablanca et Tétouan.

### 2. L'usine de Meknès :

Meknès est l'une des 4 villes du Maroc où est implantée l'entreprise LAFARGE, il réalise des ventes représentant environ 30% des ventes de Lafarge Maroc et 11.78 % du marché national.

#### Fiche technique

**Dénomination** : LAFARGE

**Forme juridique** : Société anonyme.

**Siege social** : Km 8, route de Fès  
BP : 33 Meknès

**Objet social** : Fabrication du Ciment portland avec ajouts

**Tel** : Standard : 0535 52- 26- 44/45/46  
Fax : direction usine : 0535 54-92-94.  
Service technique : 0535 54-93-07  
Service commercial : 0535 54-93-05

## Processus de fabrication du ciment :

### 1. Organigramme du procédé :

On va décrire Le procédé de fabrication en voie sèche du ciment utilisé dans l'usine de Meknès, en détaillant chacune de ses étapes.

L'organigramme ci-dessous résume les différentes étapes de transformations physiques et chimiques que subissent les matières premières, de l'extraction jusqu'à l'expédition, pour les deux lignes de production à l'usine Meknès.

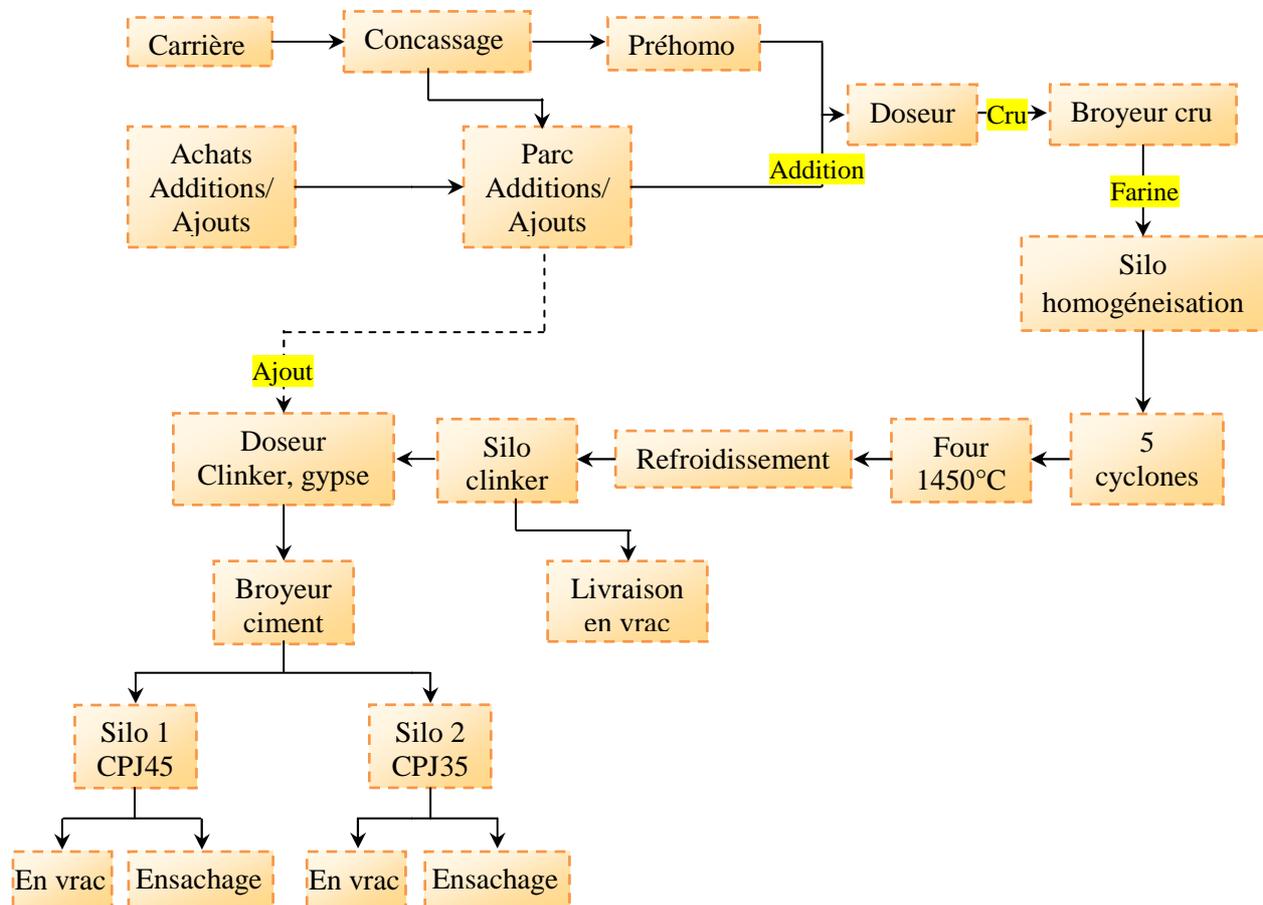


Figure I.1: Flux de matière à LAFARGE

## 2. Etapes de fabrication du ciment :

### Exploitation de la carrière :

**LAFARGE-ciments** de Meknès dispose de carrières fournissant deux matières premières : le Calcaire riche en  $\text{CaCO}_3$  et le Schiste qui donne  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

L'extraction de ces roches se fait dans ces carrières par abattage à l'explosif qui consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosifs, en procédant par :

- ☞ Le forage qui est la préparation des trous de mines destinés à recevoir l'explosif.
- ☞ La mise en place de l'explosif dans les trous. On procède par chargement de plusieurs trous à la fois selon un plan de tir de façon à provoquer l'arrachement d'un pan de rocher.
- ☞ Le sautage, opération qui constitue à faire exploser simultanément toutes les charges explosives, de façon à obtenir l'arrachement de la pierre.

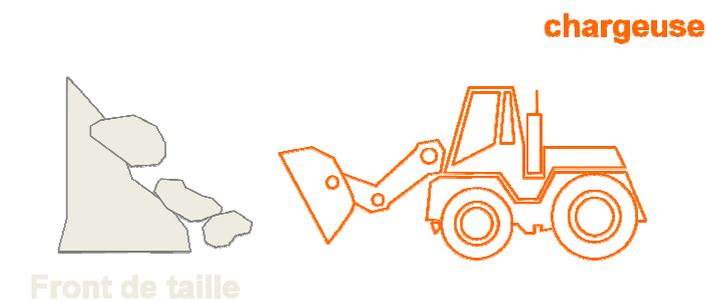


Figure I.2: Abattage

Les matières premières ainsi extraites en carrière sont transportées jusqu'à l'usine pour y subir leur première transformation qui est le concassage. Le transport est assuré par des camions équipés de bennes basculantes pour un déchargement rapide.

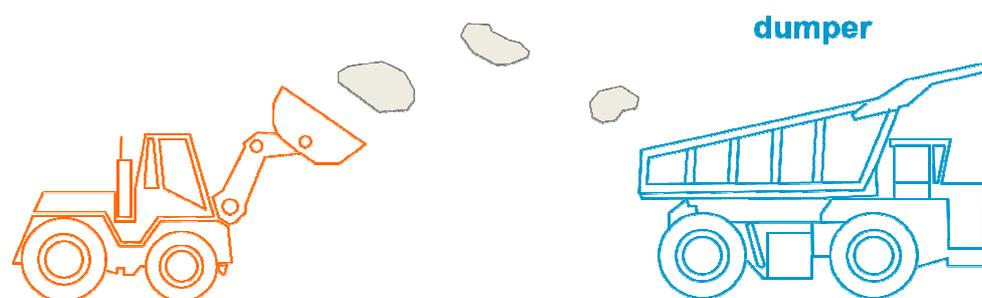


Figure I.3 : Transport

### Concassage :

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm).

Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière et contenant de fortes proportions des éléments suivants :  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  et des traces d'autres éléments.

En effet, le calcaire et le schiste transportés par les camions sont déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation. La matière passe par deux étages de concassage, dont le premier est un concasseur à deux mâchoires, l'une fixe et l'autre mobile montée sur un support articulé et mis en mouvement par un mécanisme de bielle et de double volet. Et le deuxième un concasseur à marteaux. Les deux concasseurs traitent jusqu'à 1100 t/h.

Les matières concassées sont ensuite stockées par qualités dans le hall de stockage de l'usine.

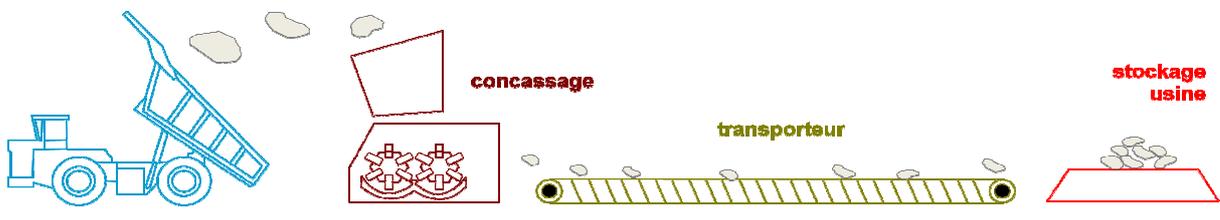


Figure I.4 : Concassage et transport

### Echantillonnage :

C'est une étape essentielle entre le concassage et l'opération de broyage. Elle a pour but de déterminer et de réaliser un pré dosage des quatre constituants de base de cru : chaux, silice, alumine et fer, qui assurera la composition correcte et donc la qualité du produit fini.

A partir d'analyses de routine effectuées sur des échantillons prélevés périodiquement sur le circuit de matière provenant des concasseurs, le laboratoire de l'usine précise les quantités de chaque composant et définit ainsi la constitution du de pré-homogénéisation.

### Pré-homogénéisation :

Après concassage, la matière crue présente toujours des fluctuations importantes dans sa composition, c'est pourquoi elle est introduite dans une tour d'échantillonnage puis stockée dans l'installation de pré homogénéisation.

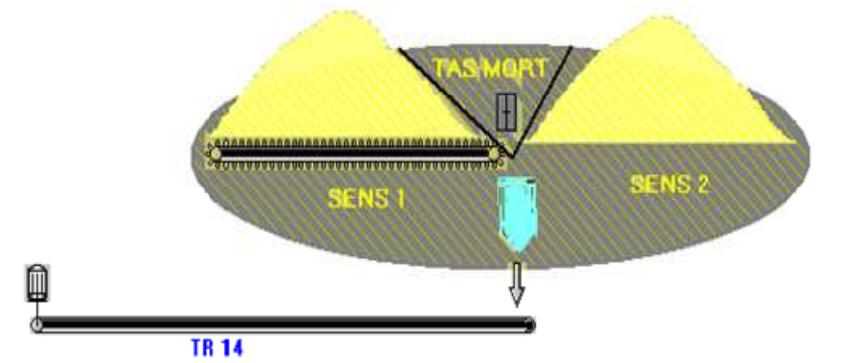


Figure I.5 : Pré-homogénéisation

En effet, il existe deux types de pré homogénéisation chez Lafarge - ciments :

#### ■ Le pré homogénéisation à cordons :

Ce type est consacré pour la ligne 1 qui se fait d'une manière circulaire et discontinue, telle que dans une enceinte en forme de dôme (semi sphérique), on construit des tas curvilignes, chaque tas s'arc-boute sur des tas morts.

#### ■ Le pré homogénéisation à chevrons :

Ce type est utilisé en ligne 2, il permet une bonne répartition des couches qui en résultent une distribution moyenne de la composition chimique. Le jeteur de type Stocker déverse la matière sur la ligne génératrice supérieure du tas et effectue des allers et retours successifs. Par la suite, les couches du tas ont la forme d'une surface de prisme et s'encastrent les unes sur les autres.

### Broyage cru :

Les matières premières pré homogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactives au cours de leur cuisson dans le four, elles passent donc dans des

doseurs alimentant un broyeur sécheur (il ne doit pas pratiquement subsister de particule de dimensions supérieures à 0.2 mm).

La fonction du séchage est nécessaire car le broyage ne peut s'effectuer que dans la mesure où la matière ne s'agglomère pas sous l'effet conjugué de son humidité et du compactage produit par les outils de broyage.

En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure un mélange intime entre les différents minerais apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions.

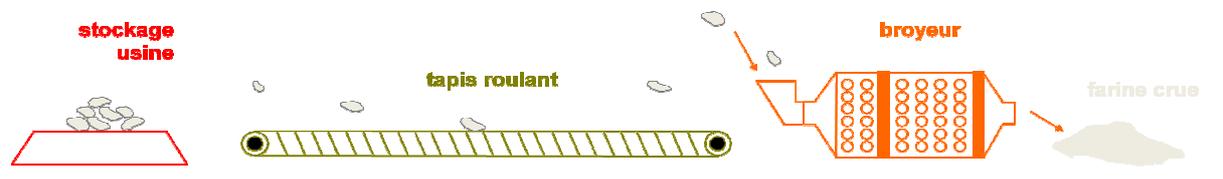


Figure I.6 : Broyage cru

Le broyage est une opération essentielle pour la cimenterie puisqu'il consomme de 20 à 30% de l'énergie électrique totale nécessaire au fonctionnement de l'usine.

A la fin du broyage, la matière est dirigée vers un séparateur qui sélectionne les particules selon leur grosseur.

#### Homogénéisation :

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ». Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées.

Dans ces silos, l'homogénéisation est assurée par un double brassage :

- ∅ Brassage mécanique par une herse tournante.
- ∅ Brassage par remontée de bulles d'air comprimé soufflé à la base.

L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré-homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante.

La préparation de la matière première est maintenant achevée.

### Cuisson :

On entend par cuisson le processus de transformations de la matière crue en clinker par un apport thermique suffisant pour obtenir des réactions chimiques complètes conduisant à l'élimination presque totale de chaux non combinée.

La cuisson a pour but de transformer le cru en clinker.

Ainsi au fur et à mesure de son avancement dans le four, la matière passe par plusieurs stades de transformation :

Elle subit d'abord un séchage, puis un réchauffage entre 400 et 500° C; Elle entre vers 900 à 1100° C dans une zone de décarbonatation et de calcination pour aboutir vers 1450°C à la clinkérisation (transformation de  $C_2S$  en  $C_3S$  en présence d'alumine et d'oxyde de fer qui ont subits une fusion), c'est-à-dire à un ramollissement et à une fusion partielle.

La matière sortant du four est le clinker. Elle se présente sous forme de grains gris foncés, arrondis, à surface irrégulière et dont le diamètre peut aller jusqu'à 3 cm. La cuisson s'opère dans des fours rotatifs. Ce sont de longs cylindres, inclinés sur l'horizontale. Ces cylindres sont garnis intérieurement par un revêtement réfractaire.

La matière est introduite à l'extrémité la plus haute du four, et avance lentement par l'effet de rotation et l'inclinaison du four (durée de la traversée : 2 heures environ). A l'autre extrémité, se trouve la flamme résultant de la combustion.

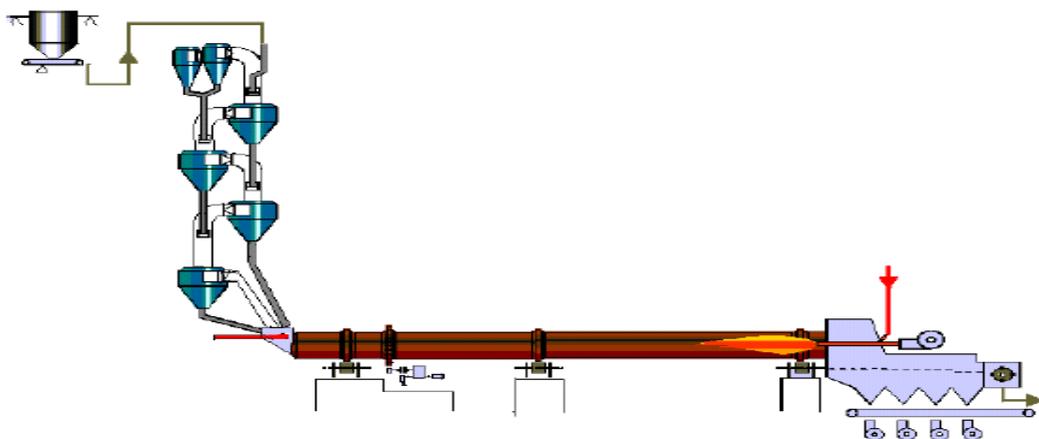


Figure I.7 : Préchauffage et cuisson

### Refroidisseur :

A l'extrémité inférieure, outre les dispositifs d'injection des combustibles, nous trouvons le refroidisseur. Ce refroidisseur permet de récupérer la plus grande partie de la chaleur contenue dans le clinker à sa sortie du four dans le but d'économie.

D'autre part, en refroidissant rapidement le clinker, il a une action non négligeable sur la qualité de celui-ci.

En fait, le refroidisseur a un triple rôle :

- Refroidir le clinker qui sort du four
- Récupérer le maximum de chaleur contenu dans le clinker
- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement énergétique et rapide.

### Broyage ciment:

Après refroidissement, les granules de clinker sont par suite broyés avec addition du gypse (3 à 5%) pour retarder le temps de prise du ciment et éventuellement du calcaire et de cendres volantes, qui conféreront au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ 35 ou CPJ 45).

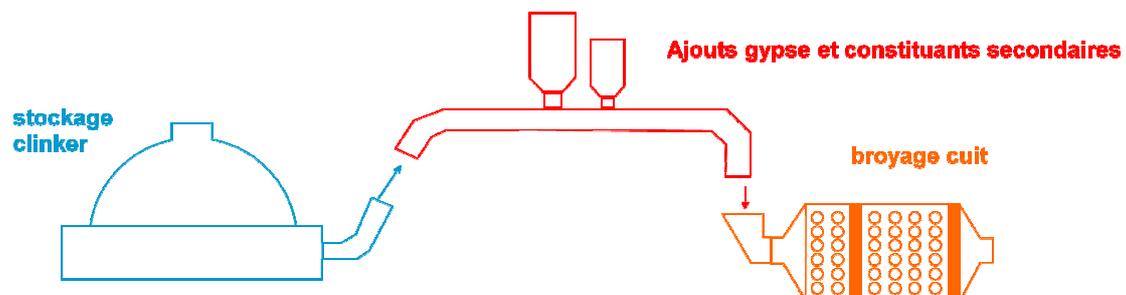


Figure I.8 : Broyage ciment

Le type de broyeur utilisé est un broyeur à boulets.

Le ciment fini est orienté vers les silos de stockage et de livraison. Le transport s'effectue pneumatiquement dans des tuyauteries grâce à des pompes spéciales.

Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage à partir desquels il est expédié soit en sacs, soit en vrac, par camions ou par voie ferrée.

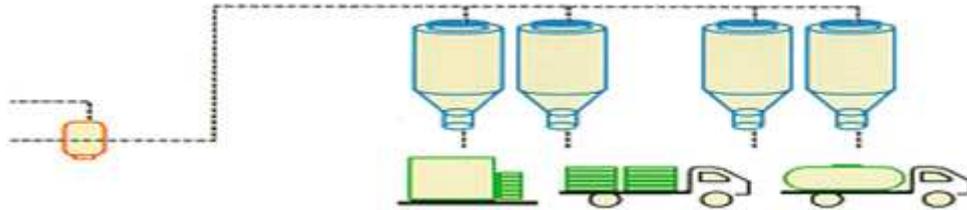
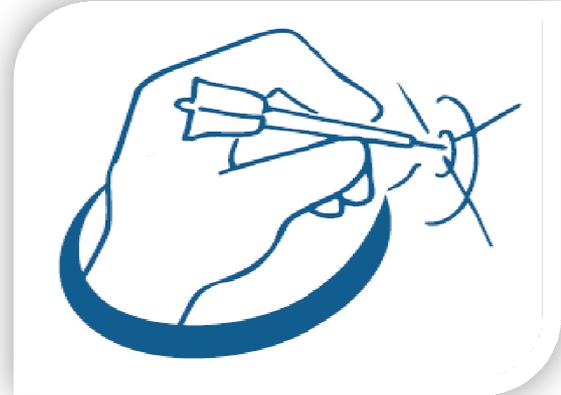


Figure I.9 : Ensachage et expédition

## 2<sup>ème</sup> Chapitre



# Etude préliminaire du projet

Dans ce chapitre, on va présenter la démarche suivie pour traiter le sujet de projet de fin d'étude, et on va citer l'objectif de ce projet et les différentes contraintes qu'on doit prendre en considération durant cette étude d'une part.

D'autre part on va mettre en place un plan d'action qui est présenté sous forme de solutions techniques.

## I. Acteurs du projet :

### a. Maitre d'ouvrage:

Le maitre d'ouvrage est **LAFARGE-ciment** usine de Meknès, représenté par Mr.kramchi responsable du service maintenance.

### b. Maitre d'œuvre:

Le maitre d'œuvre est Mlle.AIT EL HAJ Badiâ Etudiante de la filière Master Ingénierie Mécanique à la FST de Fès.

## II. Objectif et mission:

La gestion du risque permet à l'entreprise de s'assurer qu'elle connaît et comprend les risques auxquels elle s'expose. Il amène également l'entreprise à dresser et à mettre en œuvre un plan destiné à prévenir les sinistres ou à en réduire l'incidence.

Dans cette optique, l'objectif de ce projet est de réaliser un plan de contingence qui vise à élaborer une analyse des risques relatifs au dysfonctionnement des équipements de l'usine. Il s'agit de définir de façon objective des scénarios de menaces pouvant mener à un arrêt ou à un mal fonctionnement des équipements, d'élaborer des recommandations de mesures à prendre pour diminuer ces risques, et ainsi contribuer à l'amélioration de la disponibilité machines et la diminution des impacts de ces risques.

## L'analyse du besoin :

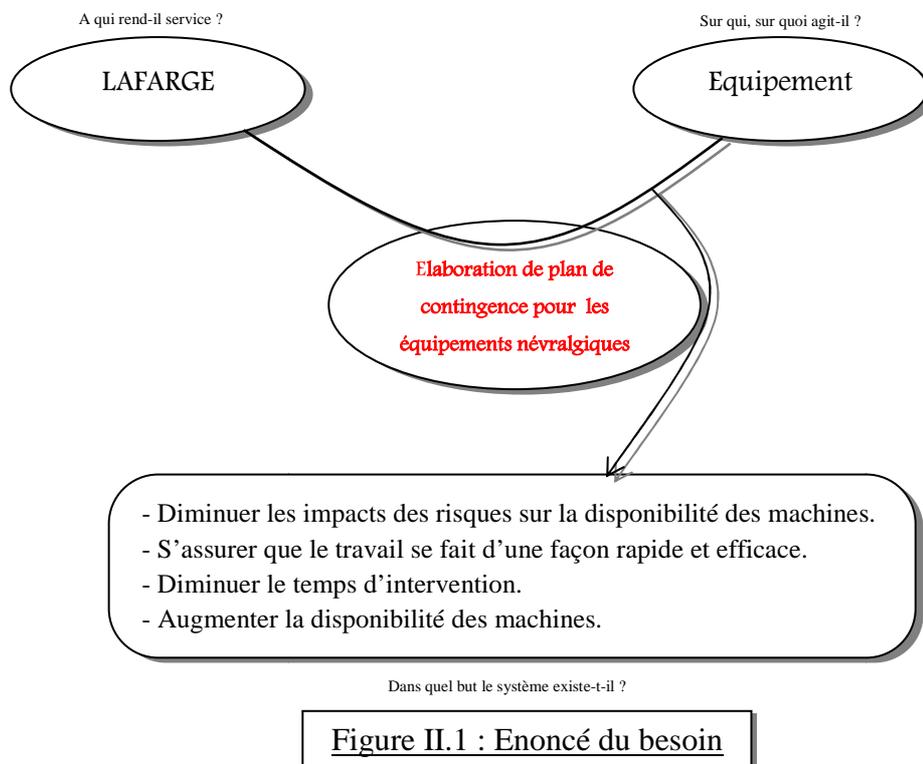
L'analyse du besoin est une des méthodes permettant d'aider un concepteur à analyser le besoin à satisfaire en le séparant des diverses solutions susceptibles d'y répondre pour tendre à l'optimisation du couple besoin-solution.

Donc, avant de se lancer dans la proposition de solution pouvant mener à **“l'élaboration de plan de contingence pour les équipements névralgiques”** au sein de **LAFARGE-ciment** usine de Meknès, il convient donc d'exprimer l'exigence fondamentale qui justifie la réalisation du projet.

## 1. La bête à cornes :

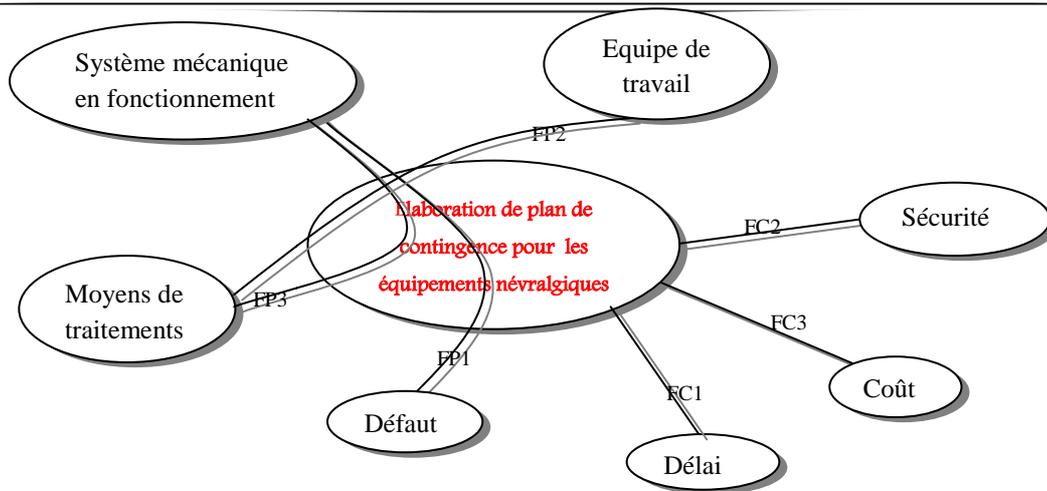
La bête à cornes est un outil de représentation qui permet de répondre aux trois questions fondamentales suivantes :

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



## 2. Diagramme de pieuvre :

Les outils d'analyse fonctionnelle permettent de synthétiser le besoin auquel on veut répondre. En premier lieu définissant les principaux éléments de l'environnement en interaction avec une démarche de suivi de comportement à développer.



**Figure II.2 : Détermination des fonctions**

Les différentes fonctions de service associées à la recherche de solutions menant à définir une démarche pour traiter le sujet de PFE seront décrites dans la suite :

**FP1** : Identifier les défauts à surveiller sur le système en fonctionnement normale.

**FP2** : Définir les moyens de traitements nécessaires et suffisants au diagnostic.

**FP3** : Permettre à l'équipe de surveillance de suivre facilement l'évolution de l'état du système.

**FC1** : Diminuer le temps d'arrêt et d'intervention.

**FC2** : Sécuriser les équipements et personnes travaillant sur ces derniers.

**FC3** : Permettre de diminuer le coût de l'arrêt.

### 3. Recherche de solutions:

Le plan de recherche qu'on a suivi vise à déterminer les éléments nécessaires pour la réalisation de mon projet de fin d'étude. Pour cela, des solutions répondant aux fonctions énoncées ont été proposées. La recherche de satisfaction des fonctions identifiées précédemment ne pouvant être réalisée simultanément, il convient d'organiser la nature et la chronologie des travaux.

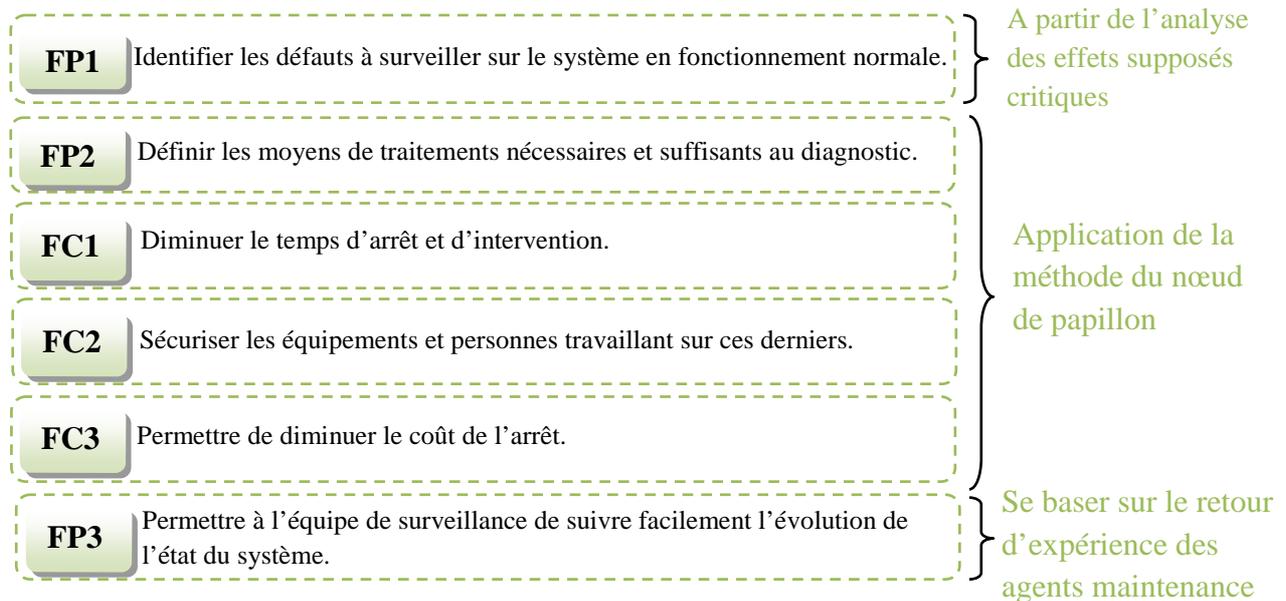


Figure II.3 : Plan de recherche associé aux fonctions à traiter.

### 4. Planification de la période de stage :

A noter que la durée de ce stage située entre le 8/02/2010 et 31/05/2010, a été adaptée au sein de l'entreprise pour réaliser les différents travaux selon le planning suivant :

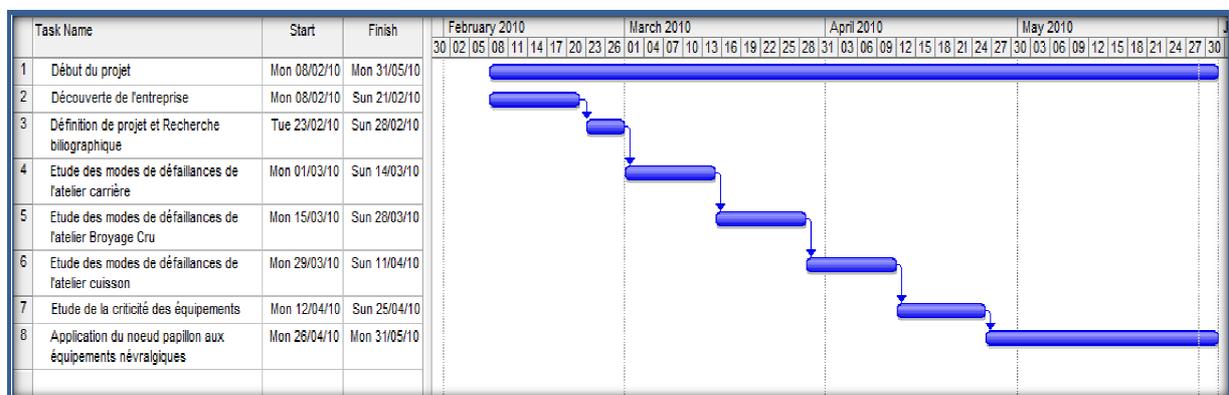


Figure II.4 : Planning (Gantt) du projet

Le travail effectué a suivi la démarche décrite précédemment et le document synthétique présenté ici est articulé en quatre axes:

**1. Définition du système, de ses fonctions et de ses composants :**

L'analyse fonctionnelle de l'installation a été réalisée à partir du découpage en sous-systèmes.

**2. Recensement des modes de défaillances et détermination de leurs causes pour chacun des composants du système :**

Dans cette étape, on propose donc une méthode de prédiction des modes de défaillances et des modes de défauts qui est l'arbre de défaillance.

**3. Evaluation de la criticité :**

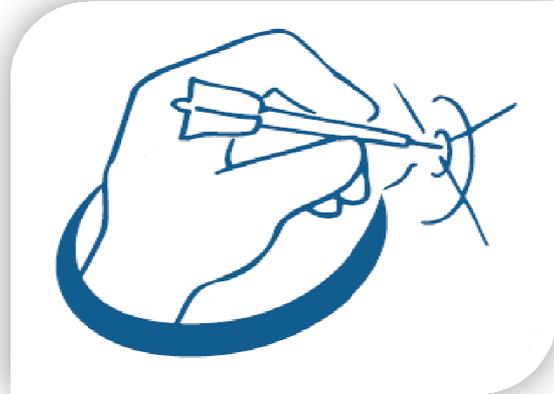
A cette étape on calcule les criticités pour ainsi hiérarchiser les modes de défaillance de l'ensemble des équipements et ressortir les plus critiques.

**4. Elaboration de plan d'action :**

Pour déterminer les points du système à surveiller pour limiter les risques, voire les éliminer, nous proposons de créer une nouvelle étude qui se base sur la méthode du nœud du papillon.

La mise en place de moyens de préventions et de protections peut alors être décidée pour diminuer la criticité des points faibles de l'installation.

## 3<sup>ème</sup> Chapitre



# Méthodes et démarche de travail

Dans ce chapitre, on traitera la démarche suivie pour arriver à résoudre la problématique de ce projet.

On va présenter en détail les méthodes que nous avons proposées comme solutions techniques au chapitre 2.

## I. Détermination des équipements névralgiques :

La démarche à appliquer au départ consiste à décomposer l'usine en différents sites de production, suivie d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des équipements. L'analyse est limitée à la détermination de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque mode de défaillance d'un équipement sur des critères choisies.

### 1. Décomposition matérielle de l'équipement :

C'est une étape indispensable car, il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle facilite l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle peut être menée de manière plus ou moins détaillée selon les besoins.

Un équipement de production peut être considéré comme un ensemble déterminé d'éléments discrets (ou composants) interconnectés ou en interaction dont le but est de réaliser la production.

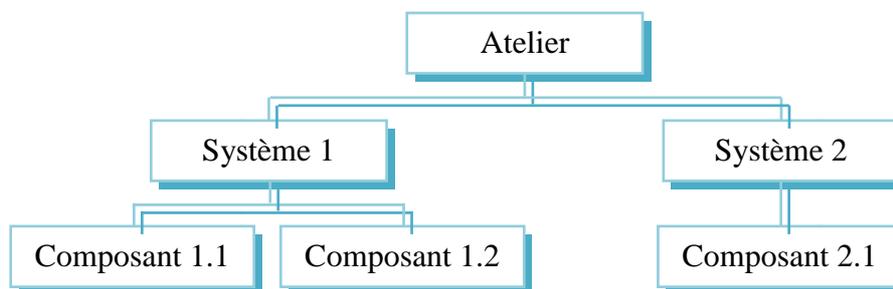


Figure III.1: Schéma de décomposition selon des niveaux

### 2. Analyse des défaillances:

#### a. Principe :

L'analyse a commencé par la définition précise des différents éléments de l'équipement et l'identification de tous les modes de défaillances qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction.

L'élaboration de la liste des modes de défaillance est réalisée par un arbre des défaillances.

b. L'arbre des défaillances :

L'arbre des défaillances est une méthode qui part d'un événement final (ENS) pour remonter vers les causes et conditions dont les combinaisons peuvent le provoquer. Il vise à représenter l'ensemble des combinaisons qui peuvent induire l'événement étudié d'où sa représentation schématique. On construit et on utilise un arbre de défaillance dans le cadre d'une étude à priori d'un système. Ayant pour point de départ un ENS (dysfonctionnement ou accident), la démarche consiste à s'appuyer sur la connaissance des éléments constitutifs du système étudié pour identifier tous les scénarios conduisant à cet ENS. Graphiquement (Figure III.2), un arbre de défaillance se représente en deux dimensions matérialisant les enchainements qui peuvent conduire à l'ENS.

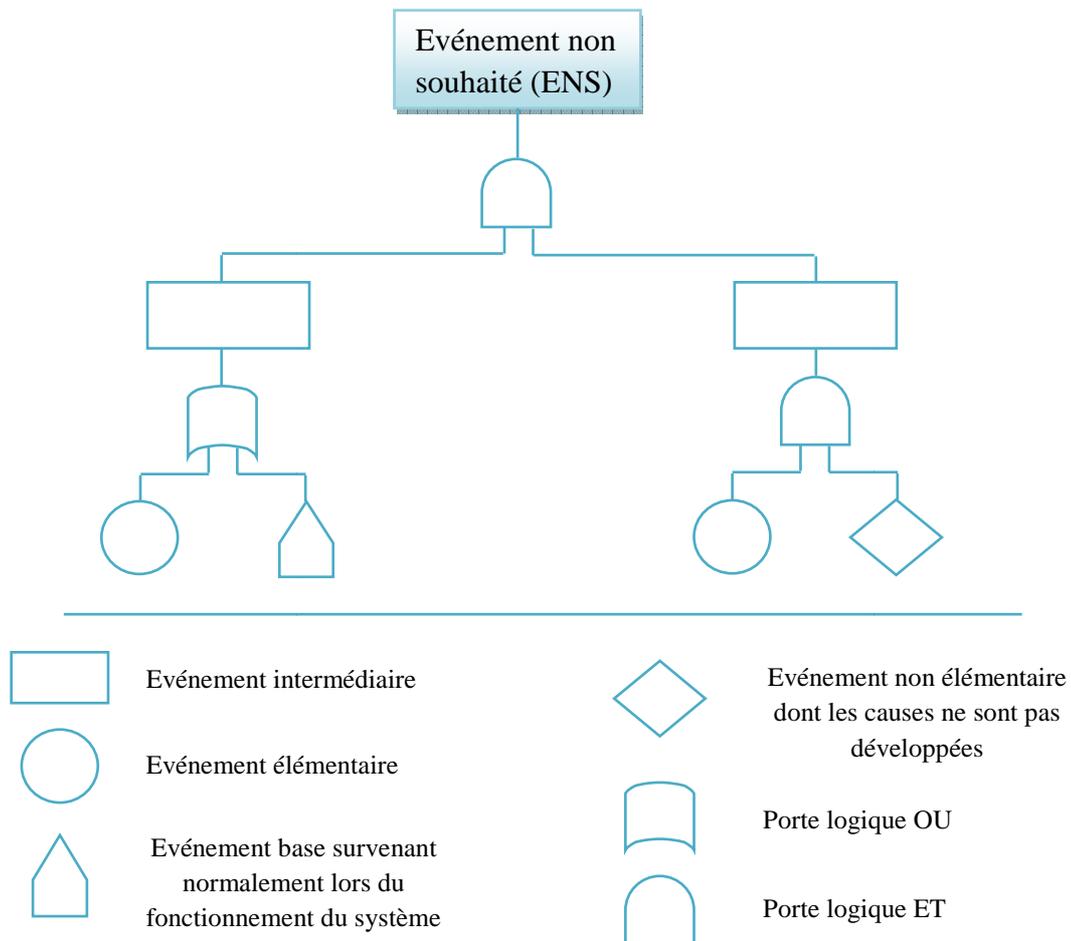


Figure III.2 : Représentation graphique d'un arbre des défaillances

Les combinaisons d'événements sont habituellement représentées par des portes logiques "ET", "OU", "ET" avec conditions, "OU" avec conditions, "SI" et des portes du type "ET m/n" (porte franchissable si m événements parmi n sont réalisés)...etc

### 3. Evaluation de la criticité :

Convergent, les événements redoutés sont classifiés par ordre de criticité. Les indices de criticité sont établis en concertation avec les responsables du service maintenance, ainsi, on a affecté un coefficient de pondération à chacun de ces indices pour rendre compte de l'importance relative de l'un par rapport à l'autre. Quatre indices sont ainsi définis :

- **L'indice niveau de production "P"** : représente l'influence de la défaillance sur le niveau de production de l'équipement.

INDICE niveau de production	CRITERE P
1	Pas d'impact sur la production
2	Réduction de la production < 1/3
3	Réduction de la production < 2/3
4	Arrêt de production(Sec)

Tableau III.1 : Grille de cotation niveau de production

- **L'indice maintenabilité "M"** : représente les agents chargé de la remise en service de l'équipement.

INDICE maintenabilité	CRITERE M
1	Agent de maintenance interne (LAFARGE-MEKNES)
2	Agent de maintenance interne (LAFARGE-MAROC)
3	Soustraitance externe (National)
4	Soustraitance externe (International)

Tableau III.2 : Grille de cotation maintenabilité

- **L'indice durée d'intervention "I"** : représente la durée d'intervention suffisante pour que l'opérateur puisse remettre l'équipement en service.

INDICE durée d'intervention	CRITERE I
1	Inférieure à deux jours
2	Inférieure à quatre jours
3	Inférieure à six jours
4	supérieure à une semaine

Tableau III.3 : Grille de cotation durée d'intervention

- **L'indice de détectabilité "D"** : 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.

INDICE détectabilité	CRITERE D
1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance.
2	Il y a risque que la détection ne soit pas efficace
3	Le moyen de détection n'est pas fiable
4	Il n'y a aucun moyen de détection

Tableau III.4 : Grille de cotation détectabilité

Ces quatre indicateurs sont ensuite synthétisés par un indicateur appelé criticité, défini comme le produit des quatre critères précédents et a pour but de hiérarchiser les événements redoutés:  $C = M * P * I * D$

#### 4. Analyse de Pareto :

La particularité de la méthode appliquée pour relever les équipements névralgiques est de pouvoir quantifier l'importance du risque lié à chaque effet.

Nous nous contenterons des criticités calculé à partir des indicateurs définis précédemment pour illustrer une application de l'analyse de Pareto.

Enfin, on va classer par ordre décroissant les criticités et on divise donc les événements en trois groupes :

- Le **groupe A** est composé des événements constituant 80% des arrêts (représentant généralement 20% des événements),
- Le **groupe B** est composé des événements constituant 15% des arrêts (représentant généralement 30% des événements),
- et le **groupe C** est composé des événements constituant 5% des arrêts (représentant généralement 50% des événements).

On se base sur l'idée communément admise qu'environ 20% des événements représentent 80% des arrêts! Donc lors de cette analyse on s'est attaqué en priorité à ces événements (le groupe A).

## II. Elaboration de plan d'action :

Ayant déterminé les événements les plus redoutés, l'application de la méthode du nœud du papillon est nécessaire afin de mettre en place un plan d'action.

### 1. Nœud papillon :

#### a. OBJECTIF :

Cette méthode permet de visualiser concrètement des scénarios de pannes ou d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées.

#### b. DEMARCHE NŒUD PAPILLON :

Le nœud papillon est un concept développé pour représenter les différentes étapes de la gestion des risques dans une installation. Il peut être représenté sous la forme suivante :

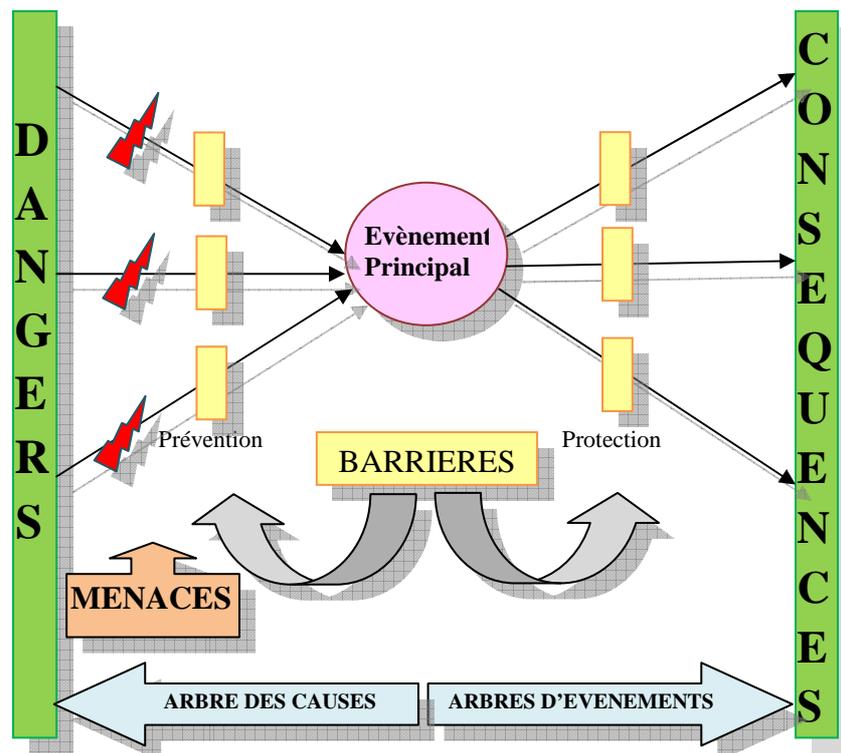


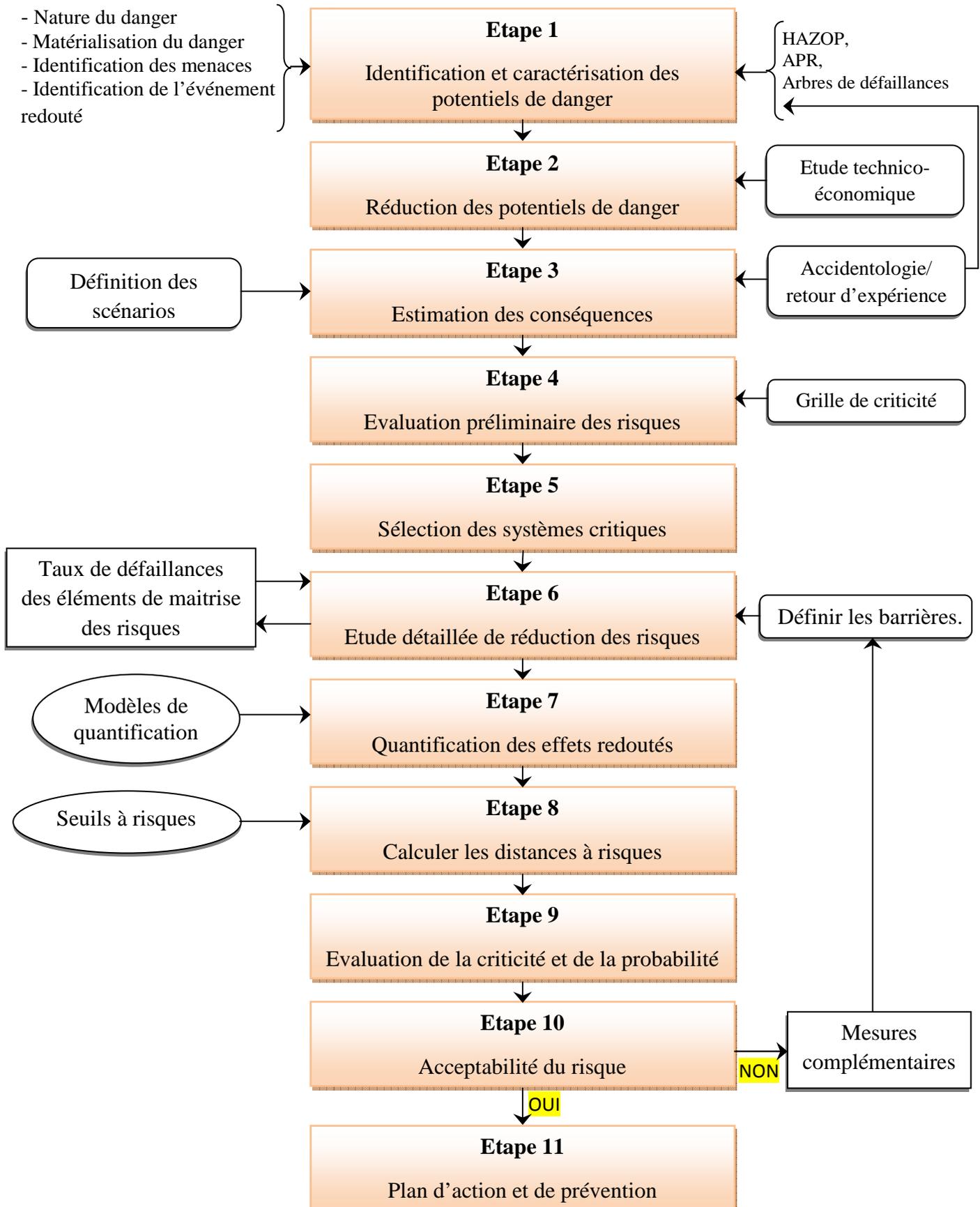
Figure III.3 : Principe du Nœud Papillon



## 2. Principe du Noeud Papillon :

Il part de l'identification des pannes/dangers, décrit les différentes menaces ainsi que les barrières et causes d'escalation pour aboutir à l'événement principal. De là, un certain nombre de mesures de prévention et de protection permettent d'atténuer les conséquences qui seront enfin traitées.

L'analyse des risques est réalisée au travers de onze étapes matérialisées dans le logigramme ci-dessous :



### Etape 1 : Identification et caractérisation des potentiels de danger

L'identification des dangers est le processus permettant de trouver, lister et caractériser les situations, conditions ou pratiques qui comportent en elles-mêmes un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement. Ces situations, conditions ou pratiques sont des dangers.

Cette étape permettra :

- ☞ D'identifier la nature des dangers,
- ☞ De définir la matérialisation de ces dangers,
- ☞ D'identifier les différentes circonstances ou menaces susceptibles de faire se matérialiser le danger,
- ☞ D'identifier les évènements redoutés,
- ☞ D'identifier les conséquences possibles suite à la survenance de ces évènements redoutés.

### Etape 2 : Réduction des potentiels de danger

Pour les risques identifiés comme présentant un fort potentiel de danger, cette étape consiste à tenter de :

- ☞ Supprimer ou substituer aux procédés et aux produits dangereux, à l'origine de ces dangers potentiels, des procédés ou produits présentant des risques moindres,
- ☞ Réduire autant qu'il est possible les quantités de matières dangereuses en cause,

### Etape 3 : Estimation des conséquences potentielles

Cette étape consiste à faire une évaluation des conséquences potentielles de la libération de la totalité du danger présent dans le système étudié. Seuls les scénarios physiquement vraisemblables sont retenus.

Les conséquences sont évaluées en termes de gravité et classées selon leurs effets. Cette évaluation des conséquences sera faite sur les personnes, les biens et l'environnement.

### Etape 4 : Evaluation préliminaire des risques

Cette étape va consister à comparer le risque potentiel à des critères de risques définis. Pour cela, on a recours à une matrice de criticité adaptée à l'étude. Pour chacune des

conséquences du scénario étudié, la gravité et la probabilité seront évalués de façon croissante.

Le niveau de risque potentiel sera évalué et positionnée dans la grille. On peut distinguer trois zones :

- ☞ Une première zone (**zone verte**) correspond à un risque faible jugé acceptable,
- ☞ Une deuxième zone (**zone orange**) correspond à un risque moyen pour lequel il serait nécessaire d'intervenir afin de ramener le risque à un niveau négligeable,
- ☞ Une dernière zone (**zone rouge**) correspond à un risque intolérable qui va nécessiter une étude détaillée de chacun des scénarios présents dans cette zone avec pour objectif de rendre ce risque acceptable.

#### Etape 5 : Sélection des systèmes critiques

A ce stade de l'étude, comme nous venons de le voir dans l'étape précédente chacune des conséquences est positionnée dans la grille de criticité.

Tous les scénarios dont les conséquences sont situées dans la zone rouge seront considérés comme critiques et seront soumis aux étapes suivantes.

Tous ces scénarios identifiés comme critiques seront répertoriés dans un registre des incidents majeurs et feront l'objet de la suite de l'étude.

#### Etape 6 : Etude détaillée de réduction des risques

A partir des scénarios critiques identifiés, dans l'étape précédente, une étude détaillée de réduction des risques est conduite, elle porte sur toutes les conditions d'exploitations des installations.

Pour chaque menace, il faut identifier toutes les barrières déjà en place capables de s'opposer à l'apparition de l'évènement redouté ou de ces conséquences. Une barrière est constituée de tout dispositif instrumental, mécanique ou procédural permettant de prévenir ou de réduire la probabilité d'occurrence (barrières de prévention) ou de limiter les conséquences d'un évènement susceptible d'aboutir à un accident (barrières de protection).

### Etape 7 et 8 : Quantification des effets redoutés et calcul des distances à risques

Pour chacun des scénarios identifiés, les effets redoutés sont quantifiés selon la démarche suivante :

- ☞ les phénomènes physiques rencontrés sont identifiés,
- ☞ les seuils des effets rencontrés sont quantifiés,
- ☞ les distances à risques sont calculées.

### Etape 9 : Evaluation du niveau de risque Gravité/Probabilité

Le calcul de la gravité porte sur les conséquences potentielles des effets sur les personnes, les biens et l'environnement.

Le calcul de la probabilité est réalisé selon la méthode de l'arbre des défaillantes pour la partie prévention jusqu'à l'évènement redouté et d'un arbre des évènements pour chacune des conséquences.

### Etape 10 : Acceptabilité du risque

A partir de l'estimation des conséquences en termes de gravité et de probabilité, le niveau de risque est positionné dans une grille où l'acceptabilité du risque est définie. La grille de risque est divisée en trois parties : zone de risque jugé tolérable, zone intermédiaire ou l'on doit montrer que le risque est à niveau acceptable et zone de risque jugé intolérable.

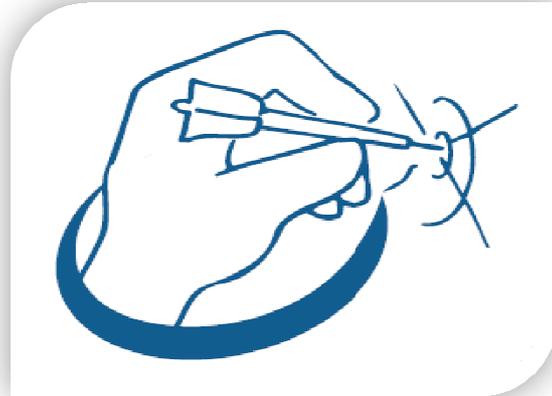
### Etape 11 : Etablissement des plans de prévention

A partir des éléments définis ci dessus trois plans de prévention peuvent être réalisés :

- ☞ **POI**: Plan d'Opération Interne réalisé par l'industriel ;
- ☞ **PPI**: Plan Particulier d'Intervention réalisé par le Préfet ;
- ☞ **PPRT**: Plan de Prévention des Risques Technologiques élaboré par le Préfet en concertation avec les collectivités territoriales et l'exploitant.

Si les conséquences des accidents identifiés ont des effets à l'extérieur du système, on devra évaluer également les dommages matériels potentiels aux tiers.

## 4<sup>ème</sup> Chapitre



# *Etude de l'atelier du broyage cru*

Le but de ce chapitre est de présenter l'étude réalisée sur le broyeur cru.

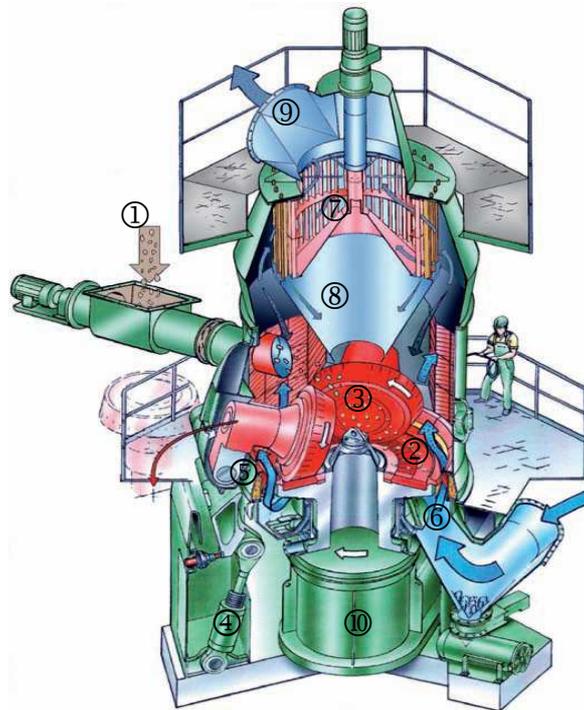
Pour ce faire, on va commencer par la description du mode de fonctionnement de ce dernier pour mieux comprendre son rôle dans le processus de fabrication ciment.

A la base de cette description on va recourir à une analyse fonctionnelle qui montre les interactions entre les différents équipements.

Enfin, on va mettre en évidence les défaillances critiques en vue de trouver les actions de maintenance à engager, afin d'atténuer les effets de ces défaillances.

## I. Etude de l'atelier du broyage cru :

### 1. Présentation générale du broyeur à galets :



La matière à broyer est chargée sur le plateau -2- en rotation, soit par le côté-1-, soit par le haut. Elle passe sous les meules -3- en rotation et est écrasée sous l'action des forces produites par les suspensions hydropneumatiques -4- des meules. Lorsque les meules sont soulevées par la matière à broyer se trouvant sur la piste de broyage, les bras balanciers et les tiges ressorts déplacent les pistons des vérins hydrauliques et l'huile contenue dans les chambres supérieures des vérins est refoulée dans des accumulateurs sous pression gaz.

Sous l'effet de la rotation du plateau, la matière broyée se déplace vers l'extérieur. Dans la zone de la couronne à aubes -5- entourant le plateau, la matière est saisie par le flux de gaz chaud -6- et est transportée vers le haut, dans le séparateur-7-. Le contact intense entre la matière broyée et le gaz chaud fait évaporer l'eau contenue dans la matière broyée.

En fonction du réglage du sélecteur, les particules de taille trop importante sont séparées du flux gazeux et retournent par le circuit intérieur -8- sur le plateau horizontal pour être broyées une nouvelle fois. Les particules fines sont entraînées par le flux gazeux -9- et quittent l'enceinte du broyeur.

Le broyeur est entraîné par un moteur standardisé moyennant un carter à engrenages vertical -10- .

## 2. Présentation de l'installation étudiée :

On présente ici Trois photos de l'équipement. Sur la première on aperçoit le moteur, sur la deuxième on voit l'accouplement avec le réducteur. La troisième, donne une idée de la taille du broyeur.

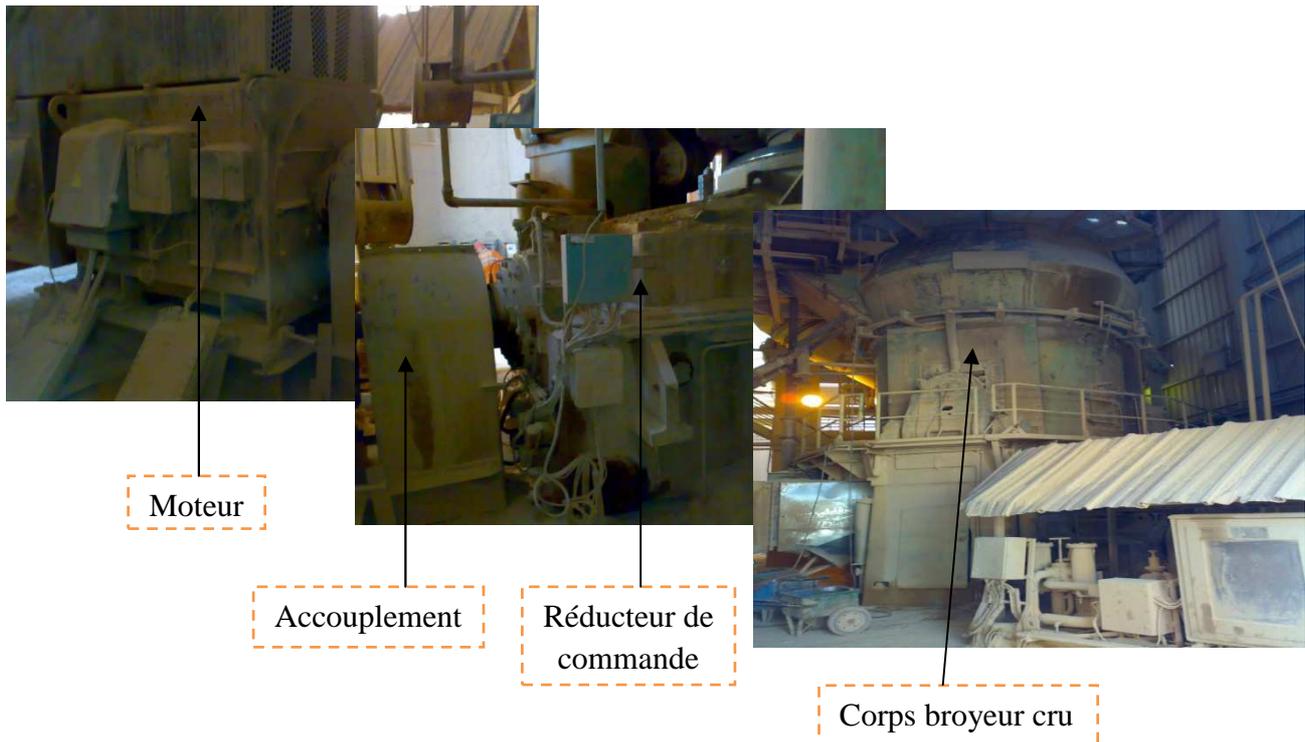


Figure IV.1 : Aperçu sur l'installation du broyeur cru

## II. Présentation de l'analyse fonctionnelle :

Pour analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire tout d'abord de bien identifier à quoi sert ce système, c'est-à-dire déterminer d'une façon rigoureuse les fonctions que ce système doit remplir durant son utilisation.

Pour ce faire, il existe deux étapes essentielles :

- L'analyse fonctionnelle externe.
- L'analyse fonctionnelle interne.

## 1. Analyse fonctionnelle externe :

Lors de ce stade, il est essentiel de considérer le système à étudier comme une boîte noire dont la composition nous est totalement inconnue. Donc seule la détermination de la fonction principale ainsi que les fonctions contraintes pourraient permettre la connaissance du système.

On les représente, ici, par le diagramme en pieuvre :

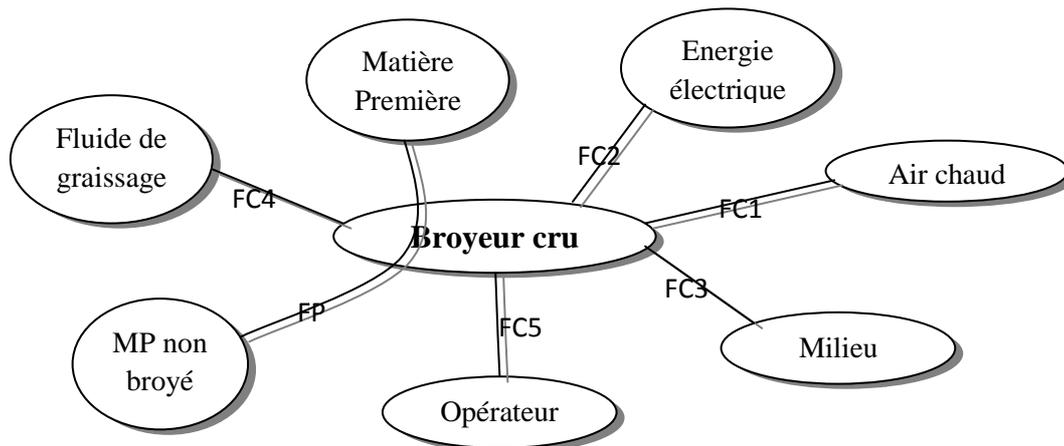


Figure IV.2 : Analyse fonctionnelle externe du BC

Les différentes fonctions sont :

- ✗ **FP** : Broyer la matière première (argile, gypse...);
- ✗ **FC1** : Apport de l'air chaud ;
- ✗ **FC2** : Mise en œuvre de l'énergie électrique ;
- ✗ **FC3** : Supporter le milieu ambiant ;
- ✗ **FC4** : Apport du graissage au galet et réducteur;
- ✗ **FC5** : Utilisation des paramètres de fonctionnement.

## 2. Analyse fonctionnelle interne :

A ce stade de l'étude, on entrera dans la constitution du système que se soit des éléments composés ou des éléments simples. Ceci dépend avant tout du niveau de décomposition du système.

L'analyse interne va nous permettre de déterminer les éléments internes à prendre en compte pour l'étude.

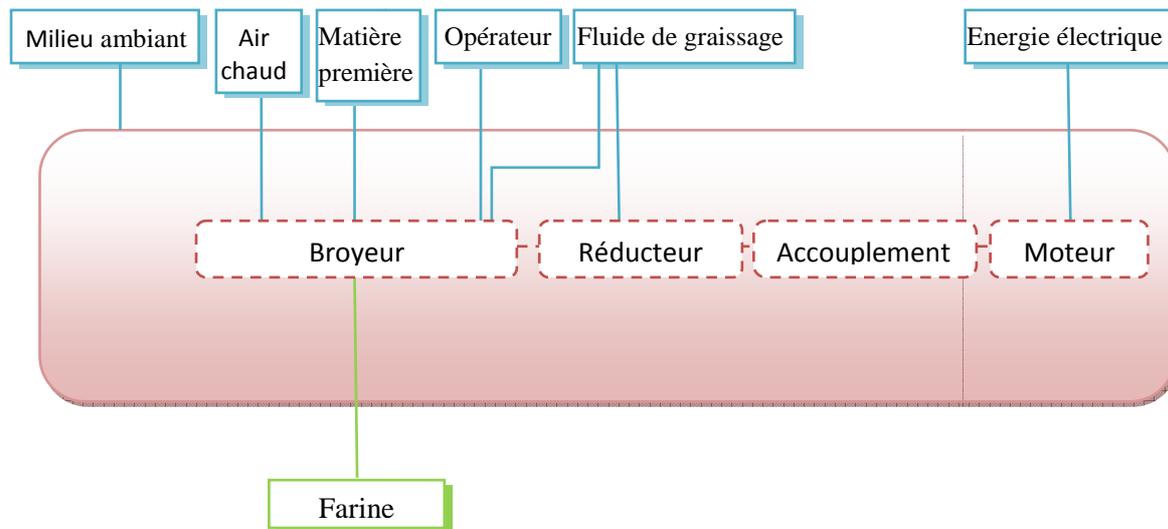


Figure IV.3 : Analyse fonctionnelle interne du BC

### III. Détermination des équipements névralgiques :

#### 1. Décomposition matérielle de l'équipement :

Cette étape s'appuie sur une logique de décomposition d'un système en sous-ensembles successifs pour parvenir au niveau des composants élémentaires.

La décomposition des équipements de l'atelier de broyage cru en composants élémentaires vise à identifier clairement les éléments à étudier et à analyser les modes de défaillance. (Voir l'annexe A)

#### 2. Analyse des modes de défaillances :

On propose dans cette étape une méthode pour prédire les défaillances et les défauts éventuels en temps réel.

On a réalisé l'arbre de défaillances pour lister les défaillances critiques qui entravent le bon fonctionnement des équipements du broyeur cru. Pour réaliser ces arbres on s'est basé sur l'expérience des agents de maintenance.

Dans ce qui suit on représentera les arbres de défaillances du broyeur cru, des équipements du transport du produit fini farine, et de l'alimentation du BC.

### 3. Evaluation de la criticité :

Après l'établissement des arbres de défaillances dans l'axe précédent et la mise en place des scénarios vraisemblables d'y arriver sur l'un des équipements de l'atelier de broyage cru. Dans cet axe nous allons commencer par une classification des événements établis, cette classification s'effectuera suivant le degré de criticité de chaque événement.

Le degré de criticité est calculé en fonction des indices de la maintenabilité du bien, la détectabilité des défaillances, de la durée de remise des biens en service et de la durée de perte de production causée par l'événement redouté.

Tableau de calcul de la criticité des équipements suivant la notation des quatre critères choisis :

Indice de Événement redoutée		Détectabilité	Durée d'intervention	Niveau de production	Maintenabilité	Criticité
<b>Broyeur LM</b>						
<b>Détérioration des équipements internes</b>	Détachement blindage périphérique	4	1	4	1	<b>16</b>
	Fissure de la jupe des galets	1	2	2	1	<b>4</b>
	Grippage des roulements	1	2	2	1	<b>4</b>
	Détérioration de la piste	4	4	4	1	<b>64</b>
<b>Centrale hydraulique</b>	Cisaillement de la tige de vérin	1	1	2	1	<b>2</b>
	Usure piston vérin	1	1	2	1	<b>2</b>
	Dysfonctionnement de la pompe	1	1	4	1	<b>4</b>
	Distributeur H.S	2	2	4	1	<b>16</b>
	Accumulateur	1	1	1	1	<b>1</b>
<b>Groupe de commande</b>	Grippage des roulements du réducteur de commande	4	4	4	1	<b>64</b>
	Casse des engrenages du RDC	4	4	4	4	<b>256</b>
	Cisaillement des axes du RDC	1	4	4	4	<b>64</b>
	Grippage des roulements du moteur	1	2	4	1	<b>8</b>
	Cisaillement des axes du moteur	1	1	4	1	<b>4</b>
<b>Séparateur</b>	Usure caising	4	1	1	1	<b>4</b>
	Usure cônes	4	1	1	1	<b>4</b>

	intérieures					
	Cisaillement de l'arbre	1	1	4	1	4
	Usure des pales	4	1	2	1	8
<b>Gratteur</b>						
<b>Groupe de transmission</b>	Défaillance d'accouplement	1	1	1	1	1
	Réducteur H.S	4	2	1	1	8
<b>Moteur H.S</b>	Usure/Cassure palier roulement	1	1	1	1	1
	Défaillance de la cage	1	1	1	1	1
<b>Problème dans la chaîne</b>	Usure/cassure de la roue dentée	4	2	1	1	8
	Cassure/Usure maillon	1	1	1	1	1
<b>Herses</b>	Déformation charpente	1	2	1	1	2
	Rupture câble	1	1	1	1	1
	Défaillance du réducteur de commande	4	1	1	1	4
<b>Transporteur</b>						
<b>Arrêt moteur</b>		2	1	1	1	2
<b>Groupe de transmission</b>		1	1	1	1	1
<b>Bande</b>	Usure/Cassure tambour	1	1	1	1	1
	Usure/Cassure roulement	4	1	1	1	4
	Déchirure/Décollage bande	1	1	1	1	1
	Usure/Cassure rouleau	1	1	1	1	1
<b>Transport du produit fini</b>						
<b>Aéroglossière H.S</b>	Usure de la toile	1	1	3	1	3
<b>Ventilateur H.S</b>	Vibration	1	1	2	2	4
	Cramage moteur	3	1	4	1	12
<b>Problème dans la pompe IBAU</b>	Usure coquille	4	1	1	1	4
	Usure de la vis	4	1	2	1	8
	Vibration de la vis	1	1	2	2	4
	Grippage roulement boîte à palier	1	1	4	1	4
	Usure de clapet sortie pompe	4	1	4	1	16
<b>Elévateur</b>	Pb de réducteur	4	1	4	1	16
	Roulement du tambour grippé	4	1	4	1	16
	Déformation godet	4	1	2	1	8

	Rupture de la bande	4	4	4	2	<b>128</b>
<b>Compresseur H.S</b>	Grippage roulement	1	1	4	1	<b>4</b>
	Usure et blocage vis	4	1	4	3	<b>48</b>
	Pb de pignon multiplicateur	4	1	4	3	<b>48</b>
	Pb de graissage	1	1	4	1	<b>4</b>

Tableau IV.1 : Calcul de criticité

La criticité est calculée par une multiplication des niveaux des indices. Ces derniers sont estimés par les préparateurs, chef entretien mécanique et le chef de la maintenance mécanique, tout en se basant sur leur retour d'expérience de chacun, et sur des estimations des durées des interventions.

Nous utilisons la méthode ABC pour classifier et repartitionner les événements en trois zones. Cette hiérarchisation des événements, nous permettra de ne traiter que les plus prioritaires et les critiques des critiques, qui sont dans la zone verte.

#### 4. Analyse de Pareto :

La criticité obtenue à l'aide de la grille établie, sera prise comme le critère de classification de la méthode ABC, selon les trois zones.

Le tableau ci-dessous montre les éléments avec leurs valeurs de criticité, leurs pourcentages et leurs cumuls de pourcentages:

N°	Evénements redoutés	Criticité	Pourcentage (%)	Cumul %
1	Groupe de commande(Broyeur)	256	44,21	44,21
2	Elévateur (Transport du produit fini)	128	22,11	66,32
3	Equipements internes (Broyeur)	64	11,05	77,37
4	Compresseur (Transport du produit fini)	48	8,29	85,66
5	Centrale hydraulique(Broyeur)	16	2,76	88,43
6	Pompe IBAU (Transport du produit fini)	16	2,76	91,19
7	Ventilateur (Transport du produit fini)	12	2,07	93,26
8	Séparateur(Broyeur)	8	1,38	94,65
9	Groupe de transmission(Gratteur)	8	1,38	96,03
10	la chaine(Gratteur)	8	1,38	97,41
11	Herses(Gratteur)	4	0,69	98,10
12	Bande (transporteur)	4	0,69	98,79
13	Aéroglossière (Transport du produit fini)	3	0,52	99,31
14	Moteur (transporteur)	2	0,35	99,65
15	Moteur(Gratteur)	1	0,17	99,83
16	Groupe de transmission (transporteur)	1	0,17	100,00
<b>Somme criticité</b>		<b>579</b>		

Tableau IV.2 : Cumul du pourcentage de la criticité

Ci-dessous on représentera la courbe ABC associés au calcul de la criticité :

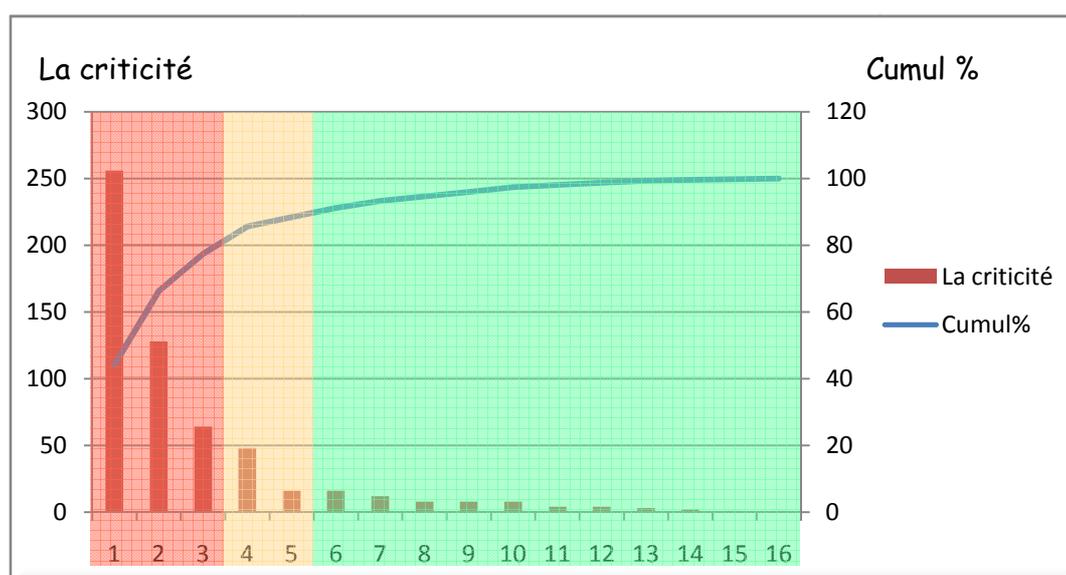


Figure IV.7: Courbe ABC de l'atelier broyage cru

A partir du tableau, et courbe dans la page précédente on peut tirer les équipements qui sont aptes à être soumis à l'analyse, ceux sont :

- ↪ Réducteur de commande(Broyeur).
- ↪ Elévateur (Transport du produit fini).
- ↪ Equipements internes (Broyeur).

La même étude a été effectuée pour l'atelier de la cuisson, et pour la carrière (Voir ANNEXE -B- et -C-). Cette étude mené m'a permet d'identifier les équipements névralgiques de ces derniers.

➤ Pour l'atelier cuisson :

- ↪ Défaillance réducteur de la commande du four ;
- ↪ Défaillance de la couronne Harnais ;
- ↪ Défaillance pignon ;
- ↪ Défaillance concassage (équipements internes).

➤ Pour l'atelier carrière :

- ↪ Couronne manège ;
- ↪ Réducteur FCB ;
- ↪ Rupture de la bande CURVODUC.
- ↪ Cassure axe rotor HAZEMAG

#### IV. Elaboration du plan d'action :

Cœur de tout travail de contingence, les événements redoutés sont hiérarchisés de plus pour descendre jusqu'aux événements initiateurs, en cherchant les causes qui peuvent conduire aux événements redoutés, ainsi d'établir et lister les conséquences qui peuvent être engendrés par l'événement redouté, si jamais il arrive. La méthode utilisé pour la structuration des événements est appelé nœud de papillon.

Cette méthode, nous a permet de mettre en place des barrières de prévention, pour éviter l'arrivé de l'incident et des barrières de protection pour réduire les effets et les conséquences engendrés. Ces barrières sont misent sous forme de procédure de contrôle, de suivi ou des

changements des conditions d'exploitation tout en gardons le niveau de production plus ou moins constant.

L'étude porte essentiellement sur les équipements critiques tirés à partir de l'étude effectuée auparavant en vue d'élaborer un plan d'action. On va mettre en place ce plan à l'aide de la méthode nœud papillon.

### 1. Estimation des conséquences pour les événements de classe A :

Dans ce paragraphe, nous essayons de caractériser les conséquences quantitatives et qualitatives des événements classés comme critique et prioritaires d'être étudié en premier lieu, vu leurs criticité et leurs vraisemblance d'y arriver, ses conséquences sont listés sur le tableau suivants :

Événement redouté	Conséquences quantitatives	Conséquences qualitatives
Mobles du réducteur de commande	<p><b>Cout unitaire:</b> 1 300 000 DH</p> <p><b>Durée d'arrêt:</b> 4mois</p> <p><b>Perte de production:</b> 180 t/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt broyeur cru.</li> </ul>
Bande élévateur	<p><b>Cout unitaire:</b> 600 000 DH</p> <p><b>Durée d'arrêt:</b> 3j</p> <p><b>Perte de production:</b> 180 t/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non alimentation des silos d'homogénéisation.</li> <li>• Arrêt broyeur cru.</li> </ul>
Moteur élévateur	<p><b>Cout unitaire:</b> 30 000 DH</p> <p><b>Durée d'arrêt:</b> 2 mois</p> <p><b>Perte de production:</b> 180 t/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non alimentation des silos d'homogénéisation.</li> <li>• Arrêt broyeur cru.</li> </ul>
Réducteur de commande élévateur	<p><b>Cout unitaire:</b> 30 000 DH</p> <p><b>Durée d'arrêt:</b> 2 mois</p> <p><b>Perte de production:</b> 180 t/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non alimentation des silos d'homogénéisation.</li> <li>• Arrêt broyeur cru.</li> </ul>
galet	<p><b>Cout unitaire:</b> 600 000 DH</p> <p><b>Durée d'arrêt:</b> 10 mois</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution de la production de la farine.</li> </ul>

	<b>Perte de production: 60 t/h</b>	
Piste	<b>Coût unitaire: 200 000 DH</b> <b>Durée d'arrêt: 2 mois</b> <b>Perte de production: 180 t/h</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt broyeur cru.</li> </ul>

Tableau IV.3 : Estimation des conséquences

En fait, on a pu mettre la main sur des conséquences qui sont touchables, alors qu'il semble évident que suite à la survenance de ces événements l'entreprise subira :

- ▶ Perte dans son chiffre d'affaire ;
- ▶ Perte de son image dans le marché ;
- ▶ Perte clients ;
- ▶ Augmentation du coût de la maintenance ;
- ▶ Diminution de sa marge bénéficiaire ;
- ▶ Démotivation du personnel ;
- ▶ ...

Ces conséquences peuvent être plus graves qu'un simple arrêt d'un équipement.

## 2. Application de la méthode nœud papillon :

A travers l'étude de la criticité des événements redoutés, nous avons listé les équipements critiques de la classe A auxquels il faut s'intéresser en priorité. En effet, nous allons élaborer un plan de maintenance pour ces équipements, en se basant sur le modèle du nœud papillon.

### a. Réducteur de commande :



Ainsi, pour diminuer le niveau de criticité de chaque combinaison cause / mode / effet, j'ai proposé des actions de prévention et de protection dans le but de dresser un plan d'actions pour les défaillances les plus critiques, afin de développer la maintenance. Ces actions sont présentées dans le tableau suivant :

Barrières		Procédures
Barrières de prévention	F1	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle du serrage des boulons de fixation du réducteur.</li> <li>✦ Contrôle des soudures du carter.</li> </ul>
	F2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle du niveau d'huile du réducteur.</li> <li>✦ Contrôle des organes de surveillance.</li> </ul>
	F3	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle des fuites d'huile au niveau des arrêts d'huile, plans de joints carter, raccords conduite graissage.</li> </ul>
	F4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Suivi et interprétation de l'analyse d'huile (physico-chimique)</li> </ul>
	F5	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler la pression pompe HP et BP</li> </ul>
	F6	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle du bruit des paliers du réducteur.</li> <li>✦ Suivi des vibrations des paliers du réducteur.</li> </ul>
	F7	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle visuel de l'arbre GV (couple conique)</li> <li>✦ Mise en place d'une sonde de température pour chaque palier.</li> <li>✦ Mise en place d'un capteur de vibration pour chaque palier.</li> <li>✦ Contrôle endoscopique.</li> </ul>
	F8	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle de la température des paliers.</li> </ul>
Barrières de protection	F10	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Remise en état des équipements de transport pneumatique du produit fini (Compresseur + pompe IBAU).</li> <li>✦ Préserver et emmagasiner les mobiles des réducteurs de commande qui seront démontés dans des opérations de maintenance préventive.</li> <li>✦ Changement du réducteur de commande du BC1 par celui du BC2.</li> <li>✦ Ne pas délesseter le broyeur BC2 pendant l'arrêt du BC1.</li> </ul>
	F11	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Assurer un stock max de farine permanent.</li> <li>✦ Alimentation du silo farine n°1 à partir du silo farine n°2.</li> </ul>
	F12	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Approvisionnement clinker à partir des autres sites de LAFARGE-MAROC.</li> </ul>

Tableau IV.4 : Plan d'action à appliquer au réducteur de commande

**b. Les équipements internes :**

Les équipements internes qu'on va étudier sont : la piste, les galets, et blindages

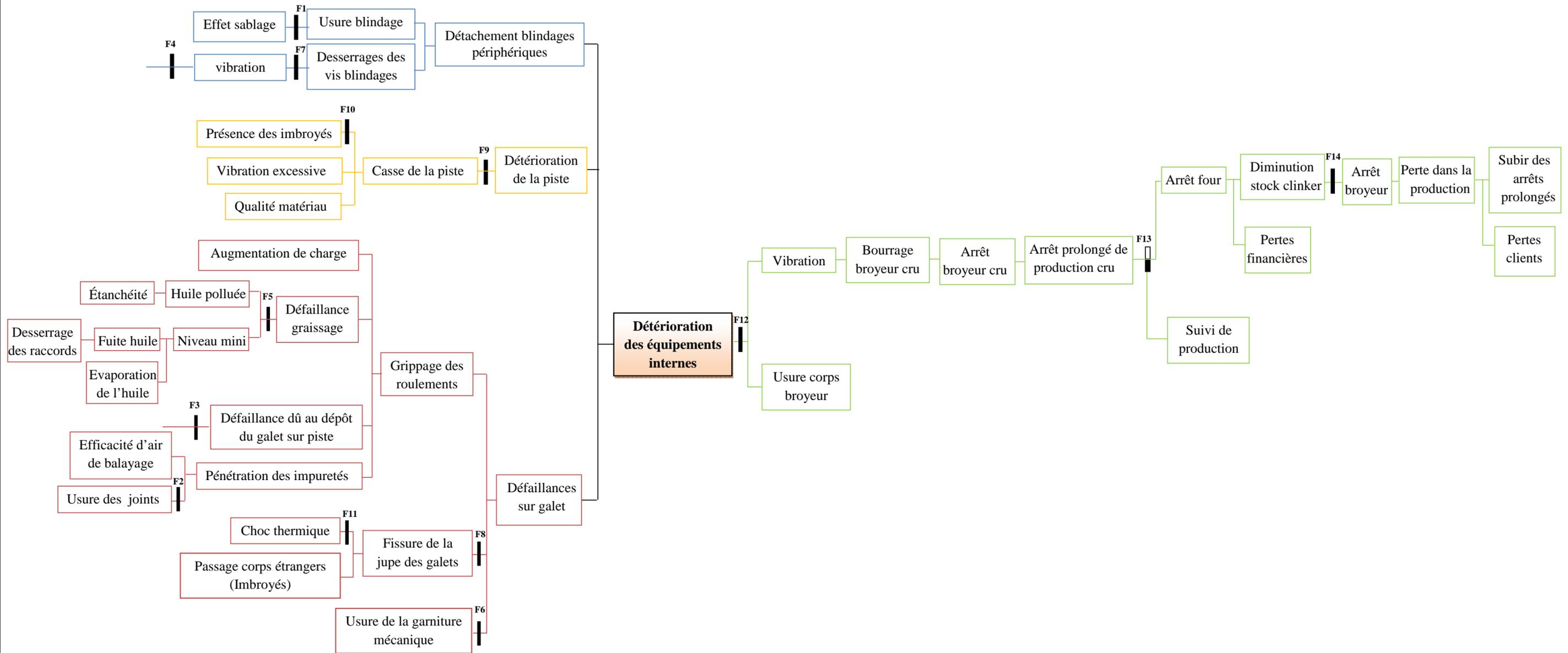


Figure IV.9 : Nœud papillon de la détérioration des équipements internes



Barrières		Procédures
Barrières de prévention	F1	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler l'étanchéité et fixation de la porte visite.</li> <li>✦ Suivi des épaisseurs des blindages</li> </ul>
	F2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler fuite sur les joints.</li> </ul>
	F3	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler état et fixation des fins de courses positions galets.</li> <li>✦ Contrôler état chappe.</li> </ul>
	F4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler les paramètres de marche (température, débit, corps étranger).</li> </ul>
	F5	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler le retour et état d'huile de graissage sur voyant de l'armoire.</li> <li>✦ Contrôler la pression d'huile de graissage galet.</li> <li>✦ Contrôler état et fixation des conduites de graissage.</li> <li>✦ Contrôler alimentation de la pompe du retour.</li> <li>✦ Contrôler le débordement d'huile par le reniflard ou sur l'arbre du galet.</li> </ul>
	F6	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler fuite internes d'huile.</li> </ul>
	F7	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler la fixation extérieure des blindages (desserrage boulons).</li> </ul>
	F8	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Relever l'usure des jupes.</li> </ul>
	F9	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Relever l'usure de la piste.</li> </ul>
	F10	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôle systématique du déferrailleur et du détecteur de métaux.</li> <li>✦ Asservissement du BC suite à un mal fonctionnement du déferrailleur ou du détecteur de métaux.</li> </ul>
	F11	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Ne pas ouvrir la porte visite du BC juste après arrêt.</li> </ul>
Barrières de prévention	F12	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Prévoir 2 galets de rechange pour les deux broyeurs à galets (galets de rechanges complets).</li> <li>✦ Diminuer le débit du broyeur et isoler le galet défaillant de la fonction broyage toute en effectuant le revêtement du balancier avec une tôle soudé sur ce dernier.</li> </ul>
	F13	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Assurer un stock max de farine permanent.</li> <li>✦ Alimentation du silo farine n°1 à partir du silo farine n°2.</li> </ul>
	F14	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Approvisionnement clinker à partir des autres sites de LAFARGE-MAROC.</li> </ul>

Tableau IV.5 : Plan d'action à appliquer aux équipements internes du BC

c. L'élévateur :

L'élévateur est un dispositif de transport du produit fini (farine) vers le silo d'homogénéisation

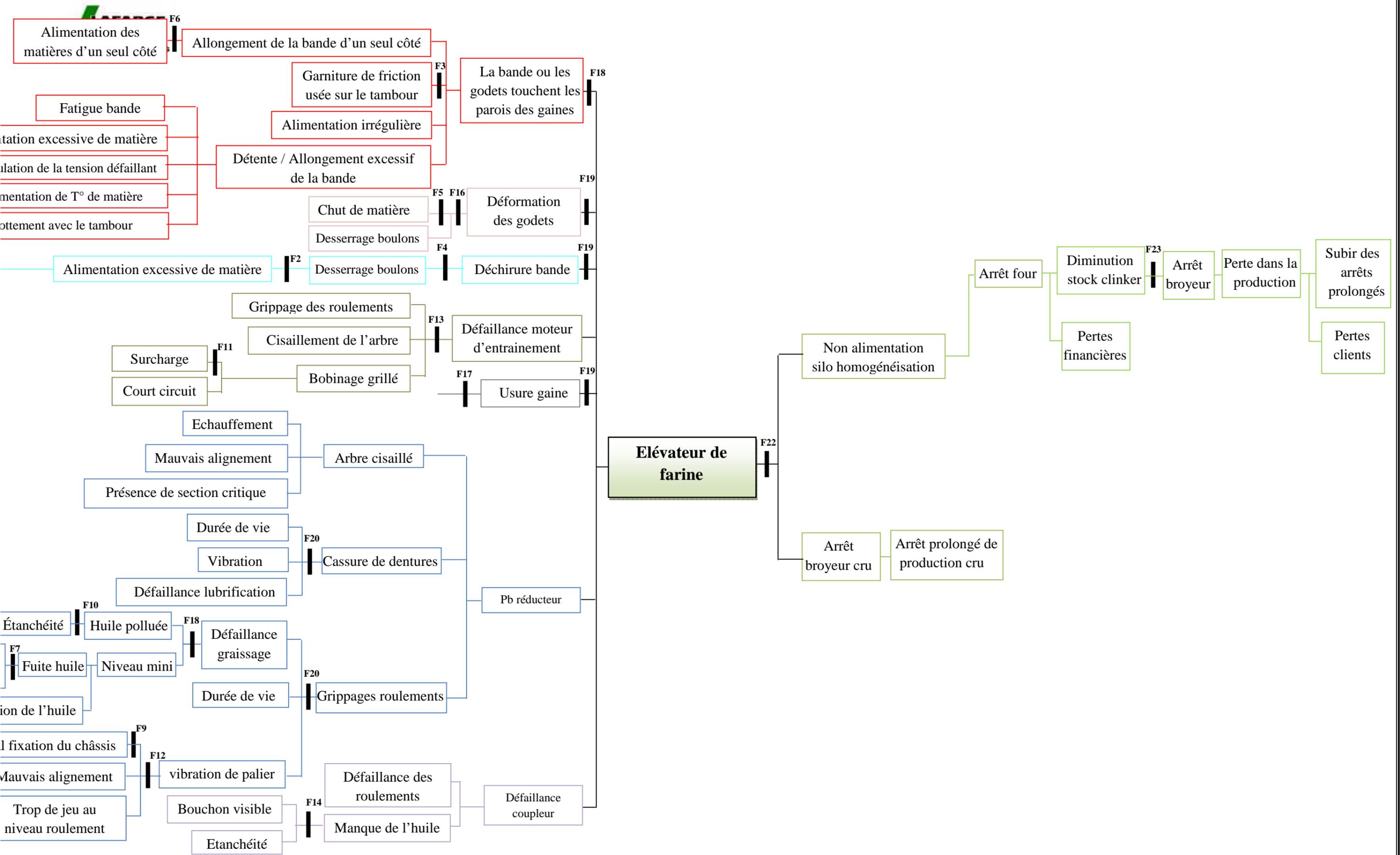


Figure IV.10: Nœud papillon de l'élévateur de farine

Barrières		Procédures
<b>Barrière de prévention</b>	<b>F1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Corriger l'alimentation des matières.</li> <li>✦ Contrôler, si la densité apparente des matières à transporter correspond aux bases de conception.</li> <li>✦ Suivi débit broyeur (respecter la charge élévateur)</li> <li>✦ Tarage du doseur cru dosé.</li> </ul>
	<b>F2</b>	✦ Contrôler les boulons de fixation godet: état complet, serrage.
	<b>F3</b>	✦ Contrôler l'usure de la garniture de friction.
	<b>F4</b>	✦ Contrôler l'endommagement de la bande. (dureté de la bande)
	<b>F5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler l'endommagement des godets.</li> <li>✦ Contrôler la jetée de l'élévateur.</li> </ul>
	<b>F6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Augmenter la tension de la courroie sur le côté où la courroie descend du tambour.</li> <li>✦ Installer un déflecteur au niveau de l'aéroglossière pour centrer la matière.</li> </ul>
	<b>F7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler le niveau d'huile du réducteur.</li> <li>✦ Remplacer l'arrêt d'huile.</li> </ul>
	<b>F8</b>	✦ Contrôler les fuites d'huile au niveau des arrêts d'huile, plans des joints carter.
	<b>F9</b>	✦ Contrôler le serrage des boulons de fixation du réducteur.
	<b>F10</b>	✦ Vidanger l'huile suite à l'analyse d'huile.
	<b>F11</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Suivi du débit broyeur.</li> <li>✦ Contrôle de la cinématique de l'élévateur (roulement du réducteur, et du tambour de commande et de queue)</li> </ul>
	<b>F12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler le bruit des paliers du réducteur (état de roulement).</li> <li>✦ Suivi des vibrations des paliers du réducteur.</li> </ul>
	<b>F13</b>	✦ Suivi température, vibration et bruit anormal sur moteur.
	<b>F14</b>	✦ Contrôler fuite d'huile sur le coupleur.
	<b>F15</b>	✦ Contrôler fonctionnement normal du système de tension.

	<b>F16</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler bruit anormal provenant des godets à l'intérieur de la gaine</li> </ul>
	<b>F17</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler fuite matière par la gaine et les porte de visite.</li> </ul>
	<b>F18</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Centrer la courroie dans le pied de l'élévateur à godet.</li> <li>✦ Disposer la courroie axialement vers le carter de tête.</li> </ul>
	<b>F19</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler les éléments internes à travers les portes de visite permettant l'inspection de l'intérieur et des pièces qui s'y retrouvent.</li> </ul>
	<b>F20</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Contrôler la vibration du réducteur de commande.</li> <li>✦ Contrôler le niveau d'huile.</li> </ul>
<b>Barrière de prévention</b>	<b>F21</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Assurer un stock max de farine permanent.</li> <li>✦ Alimenter le silo farine n°1 à partir du silo farine n°2.</li> </ul>
	<b>F22</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Remise en état des équipements de transport pneumatique du produit (Compresseur + pompe IBAU)</li> </ul>
	<b>F23</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Approvisionnement clinker des autres sites de LAFARGE-MAROC.</li> </ul>

Tableau IV.6 : Plan d'action à appliquer à l'élévateur de farine

Cette étape conduit à déterminer les tâches de maintenance préventive. Il est à noter que le choix de la périodicité à ce niveau se fait de manière empirique (la plupart du temps aucune valeur de référence précise n'est connue). Néanmoins, pour la sélection des tâches, trois critères sont pris en compte : le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité.

Pour chaque tâche, il est primordial d'indiquer la périodicité, la personne responsable, et une fiche de rapport d'intervention. Chose qui n'a pas été fait dans se projet vu la contrainte du temps.

Suite à notre travail, on a proposé d'établir des fiches de gammes qui vont rendre l'application et le suivi de nos propositions systématique.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'amélioration du rendement des équipements est devenue une nécessité dans la politique maintenance de LAFARGE-ciments Usine de Meknès, sachant que les problèmes d'indisponibilité des équipements engendrent d'énormes pertes dues aux arrêts de production.

Ce document s'attache à apporter des éléments de réflexion, à évoluer en fonction du retour d'expérience afin de mener une étude de danger, qui doit servir de base à l'évaluation des risques associés aux équipements. Et donc proposer des actions de préventions et de protections pouvant atténuer la gravité des événements. Il se peut que ces événements on eu lieu dans le passé ou peuvent se produire dans l'avenir.

L'acquisition des données et informations contenues dans ce rapport s'appuie sur des réflexions de groupe, l'exploitation de la période en entreprise donc, se construit essentiellement autour du développement du savoir-faire communicationnel.

Comme on est contraint par la période de stage, on a limité notre étude aux équipements des ateliers carrière, broyage cru, et cuisson. Certes, la présente étude peut s'appliquer aux autres équipements de l'usine en suivant la même démarche.

Donc, au terme de mon projet de fin d'étude dont l'intitulé est : « **L'élaboration de plan de contingence pour les équipements névralgiques** », on a mené une étude pour détecter les équipements névralgiques afin de mettre en place des actions de préventions et de protections.

Pour ce faire ce présent rapport a suivi la démarche suivante :

- L'étude des équipements de la cimenterie (fonction des machines, leurs fonctionnements, ...)
- L'analyse matérielle des organes mécaniques.
- L'analyse des modes de défaillance des équipements pour évaluer les facteurs de pannes.



- L'évaluation de la criticité des équipements.
- L'élaboration d'un plan d'action basé sur l'étude des causes de survenance des événements redoutés et des conséquences qui peuvent engendrer si jamais ils arrivent.

Certes, ce présent projet a présenté un certain nombre de résultats parmi eux on peut citer :

- La maîtrise du savoir faire de la société;
- La réduction des risques en évitant les improvisations;
- La diminution du temps d'arrêts des équipements à maintenir;
- L'amélioration du rendement des équipements;
- La maîtrise des coûts des travaux de maintenance.

En perspectives, nous projetons dans le cadre de l'amélioration continue de la maintenance: La mise à jour de la présente étude, la généralisation de cette dernière aux autres équipements (autres ateliers) pour contribuer à établir une politique globale de maintenance efficace et rentable, ainsi que la réalisation des gammes opératoires.

# BIBLIOGRAPHIE

• Documents entreprise :

- Documentation technique des machines.
- Historique machines.

• Webographie :

- <http://www.supplychainserver.com/>
- <http://www.techniques-ingenieur.fr/>
- <http://www.craim.ca/>
- <http://www.previnfo.net/>