

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

La mise en place d'un Tableau de bord pour  
le suivi des performances du broyeur cru et  
ciment

**Lieu : LafargeHolcim Fès.**

**Référence : 16/16GI**

**Préparé par :**

- IFRI Chaymae
- FEKKALI Merouane

**Soutenu le Juin 2016 devant le jury composé de :**

- Pr A. Chafi (Encadrant FST)
- Pr H. Bine el Ouidane (Examineur)
- Pr A. Chamat (Examineur)
- Mr N. Lambaraa (Encadrant Société)

*À nos mères,*

*À nos pères,*

*À toute la famille,*

*À tous les amis,*

*On dédie ce travail...*

## Remerciement

Avant tout développement de notre projet de fin d'étude, nous tiendrons à remercier dans un premier temps toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, ainsi que tous les professeurs responsable de notre formation et on remercie particulièrement notre encadrant **Pr CHAFI Anas** pour son orientation tout au long de notre stage.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre encadrant de la société **Mr LAMBARAA Nawfal** à Holcim qui nous a apporté tout au long du stage une grande aide, support et coopération .Aussi nous voulons le remercier pour les enseignements qu'il nous a promulgués.

Nous saluons également tous ceux qui ont accepté de répondre à nos questions et curiosité y compris Mr. FEKKALI Ali et Mr. MIMOUNI de la manière la plus efficace possible ainsi à l'ensemble des employés ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Remerciement</i> -----   |           |
| <i>Liste des figures</i> -----  |           |
| <i>Liste des tableaux</i> -----   |           |
| <i>Liste des formules</i> -----   |           |
| <i>Les abréviations</i> -----   |           |
| <i>Les acronymes</i> -----  |           |
| <i>Introduction générale</i> -----  | <b>1</b>  |
| <i>Chapitre I : Présentation générale de l'entreprise &amp; processus de fabrication du ciment</i> -----            |           |
| <b>I. Présentation générale</b> -----   | <b>2</b>  |
| 1. Groupe international :-----  | 2         |
| 2. Holcim Maroc : -----   | 2         |
| 3. Holcim Ras-El-Ma -----   | 4         |
| <b>II. Le Processus de fabrication du ciment</b> -----  | <b>8</b>  |
| 1. Définition du ciment :-----  | 8         |
| 2. Matières premiers du ciment : -----  | 8         |
| 3. La chaîne de fabrication de ciment :-----  | 8         |
| <i>Chapitre II : Contexte général du projet</i> -----   |           |
| <b>I. Problématique :</b> -----   | <b>13</b> |
| <b>II. Cahier des charges :</b> -----   | <b>13</b> |
| <b>III. Démarche et outils de pilotage du projet :</b> -----  | <b>13</b> |
| 1. Démarche :-----  | 13        |
| 2. Les outils de pilotage :-----  | 14        |
| <i>Chapitre III :Réalisation et mise en place d'un flash process pour le broyeur cru et le broyeur ciment</i> ----- |           |
| <b>I. Introduction</b> -----  | <b>19</b> |
| <b>II. Etude du broyeur ciment et broyeur cru :</b> -----   | <b>19</b> |
| 1. Rôle de broyeur :-----   | 19        |
| 2. Intérieur d'un broyeur vertical :-----   | 20        |
| 3. Principe de fonctionnement : -----   | 20        |
| 4. Les principaux éléments du broyeur :-----  | 22        |
| <b>III. Recensement des indicateurs:</b> -----  | <b>26</b> |
| 1. Indicateurs qualité :-----   | 26        |
| 2. Indicateurs maintenance : -----  | 28        |
| 3. Paramètres Process : -----   | 29        |
| <b>IV. Recommandation :</b> -----   | <b>31</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>V. Présentation des indicateurs :</b> | <b>32</b> |
| 1. Broyeur cru :                         | 33        |
| 2. Broyeur Ciment :                      | 37        |
| <b>Conclusion</b>                        | <b>40</b> |
| <b>Bibliographie :</b>                   |           |
| <b>Annexes</b>                           |           |

## Liste des figures

|                  |  |                |
|------------------|--|----------------|
| <b>Figure 1</b>  | <b>Organigramme de la société Holcim Ras-El-Ma</b>   | <b>Page 5</b>  |
| <b>Figure 2</b>  | <b>Processus de fabrication du ciment</b>  | <b>Page 12</b> |
| <b>Figure 3</b>  | <b>Exemple d'un tableau de bord</b>  | <b>Page 17</b> |
| <b>Figure 4</b>  | <b>Atelier de broyage</b>  | <b>Page 19</b> |
| <b>Figure 5</b>  | <b>Composantes intérieures du broyeur</b>  | <b>Page 20</b> |
| <b>Figure 6</b>  | <b>Les galets du broyeur</b>   | <b>Page 23</b> |
| <b>Figure 7</b>  | <b>La différence entre les galets des broyeurs cru et ciment</b>   | <b>Page 23</b> |
| <b>Figure 8</b>  | <b>La table du broyeur</b>   | <b>Page 24</b> |
| <b>Figure 9</b>  | <b>Le séparateur du broyeur</b>  | <b>Page 24</b> |
| <b>Figure 10</b> | <b>Equipement d'injection d'eau dans le broyeur</b>  | <b>Page 25</b> |
| <b>Figure 11</b> | <b>Le suivi hebdomadaire des indicateurs du broyeur cru</b>  | <b>Page 33</b> |
| <b>Figure 12</b> | <b>Le suivi hebdomadaire du LSF</b>  | <b>Page 34</b> |
| <b>Figure 13</b> | <b>Le suivi hebdomadaire de la farine</b>  | <b>Page 34</b> |
| <b>Figure 14</b> | <b>Le suivi hebdomadaire du MS</b>   | <b>Page 34</b> |
| <b>Figure 15</b> | <b>Le suivi hebdomadaire du MAF</b>  | <b>Page 35</b> |
| <b>Figure 16</b> | <b>L'influence du débit du broyeur sur la puissance du moteur, du ventilateur et le débit du ventilateur</b> | <b>Page 36</b> |
| <b>Figure 17</b> | <b>L'influence de la vitesse du séparateur sur la finesse</b>  | <b>Page 36</b> |
| <b>Figure 18</b> | <b>La relation entre la pression et la contre pression</b>   | <b>Page 37</b> |
| <b>Figure 19</b> | <b>Le suivi hebdomadaire de la CES du broyeur cru</b>  | <b>Page 37</b> |
| <b>Figure 20</b> | <b>Le suivi hebdomadaire des indicateurs maintenance du broyeur ciment</b>                                   | <b>Page 38</b> |
| <b>Figure 21</b> | <b>Influence de la finesse du ciment sur la résistance du ciment</b>   | <b>Page 38</b> |
| <b>Figure 22</b> | <b>Le suivi hebdomadaire du ventilateur final</b>  | <b>Page 39</b> |

## Liste des tableaux

|                   |  |                |
|-------------------|--|----------------|
| <b>Tableau 1</b>  | <b>Part du marché des opérateurs cimentiers</b>  | <b>Page 2</b>  |
| <b>Tableau 2</b>  | <b>Fiche signalétique de Holcim Maroc</b>        | <b>Page 4</b>  |
| <b>Tableau 3</b>  | <b>Calcul du débit broyeur cru</b>               | <b>Page 32</b> |
| <b>Tableau 4</b>  | <b>Indicateurs maintenance du broyeur cru</b>    | <b>Page 33</b> |
| <b>Tableau 5</b>  | <b>Indicateurs qualité du broyeur cru</b>        | <b>Page 33</b> |
| <b>Tableau 6</b>  | <b>Indicateurs process 1 du broyeur cru</b>      | <b>Page 35</b> |
| <b>Tableau 7</b>  | <b>Indicateurs process 2 du broyeur cru</b>      | <b>Page 36</b> |
| <b>Tableau 8</b>  | <b>Indicateurs maintenance du broyeur ciment</b> | <b>Page 37</b> |
| <b>Tableau 9</b>  | <b>Indicateurs qualité du broyeur ciment</b>     | <b>Page 38</b> |
| <b>Tableau 10</b> | <b>Indicateurs process du broyeur ciment</b>     | <b>Page 39</b> |

## Liste des formules

|                   |  |                |
|-------------------|--|----------------|
| <b>Formule 1</b>  | <b>Taux de refus</b>                       | <b>Page 26</b> |
| <b>Formule 2</b>  | <b>Facteur de saturation en chaux</b>      | <b>Page 27</b> |
| <b>Formule 3</b>  | <b>Module silicique</b>                    | <b>Page 27</b> |
| <b>Formule 4</b>  | <b>Module aluminoferrique</b>              | <b>Page 28</b> |
| <b>Formule 5</b>  | <b>MTBF</b>                                | <b>Page 28</b> |
| <b>Formule 6</b>  | <b>MTTR</b>                                | <b>Page 28</b> |
| <b>Formule 7</b>  | <b>Disponibilité</b>                       | <b>Page 28</b> |
| <b>Formule 8</b>  | <b>Consommation électrique spécifique</b>  | <b>Page 30</b> |
| <b>Formule 9</b>  | <b>Consommation calorifique spécifique</b> | <b>Page 31</b> |
| <b>Formule 10</b> | <b>Variation de silo farine</b>            | <b>Page 32</b> |
| <b>Formule 11</b> | <b>Débit broyeur cru</b>                   | <b>Page 32</b> |

## Les abréviations

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| <b>CaO</b>                         | <b>Chaux</b>              |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | <b>Silice</b>             |
| <b>AlO<sub>3</sub></b>             | <b>Alumine</b>            |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>Oxyde ferrique</b>     |
| <b>SO<sub>3</sub></b>              | <b>Trioxyle de Soufre</b> |

## Les acronymes

|             |  |
|-------------|--|
| <b>CIMA</b> | <b>Cimenterie Maghrébine</b>                           |
| <b>ODI</b>  | <b>Office pour le Développement Industriel</b>         |
| <b>SNMC</b> | <b>Société Nationale des Matériaux de Construction</b> |
| <b>CIOR</b> | <b>Cimenterie de l'Oriental</b>                        |
| <b>BPE</b>  | <b>Béton Prêt à l'Emploi</b>                           |
| <b>ISO</b>  | <b>Organisation International de normalisation</b>     |
| <b>CPJ</b>  | <b>Ciment Portland avec Ajouts</b>                     |
| <b>REM</b>  | <b>Ras El Ma</b>                                       |
| <b>CCS</b>  | <b>Consommation Calorifique Spécifique</b>             |
| <b>CES</b>  | <b>Consommation Electrique Spécifique</b>              |
| <b>PCI</b>  | <b>Pouvoir Calorifique Inferieur</b>                   |



## Introduction générale

Le secteur cimentier au Maroc comporte les 5 grandes sociétés suivantes : Lafarge Maroc, Holcim Maroc, Ciment du Maroc, Asment et Asmar. Dans un contexte économique en pleine mutation, le principe défi de ces entreprises reste l'amélioration de leurs compétitivités à l'échelle régionale et internationale. Dans cette optique ces entreprises se sont focalisées essentiellement sur les critères de la performance à savoir le coût, la qualité et le service pour répondre aux exigences du client final.

Afin de relever le défi de toute concurrence, et soutenir sa stratégie, Holcim est tenue à réaliser un produit en qualité bien déterminé, adopter les nouvelles technologies, et chercher à définir des mesures qui contribuent à l'atteinte de ses objectifs, de ce fait, un tableau de bord de pilotage bien conçu et composé d'indicateurs judicieusement choisis est incontournable pour garantir une réelle rentabilité des capitaux investis.

Dans le cadre de ce travail, nous apportons notre réflexion à la problématique de conception d'un outil de pilotage de la performance pour les deux broyeurs (cru et ciment) par le concept du tableau de bord, cette contribution se matérialise en combinant l'ensemble des éléments indispensables à l'établissement d'un tableau de bord et d'un système d'indicateurs de performance pertinents .

Le travail de notre projet d'étude est scindé en trois chapitres :

Le premier est réservé à la présentation du groupe Holcim et la description de la chaîne de production du ciment, le deuxième chapitre évoquera le contexte général de notre projet, le troisième chapitre a pour vocation l'analyse du fonctionnement des deux broyeur afin de recenser les indicateurs de performance et énoncé les conclusions de notre projet.

## Chapitre I :

*Présentation générale de l'entreprise*  
&  
*Processus de fabrication du ciment*

## I. Présentation générale

### 1. Groupe international :

D'origine suisse fondée en 1912, le groupe Holcim est un acteur majeur au niveau mondial dans la production du ciment granulats et bétons, le groupe est aujourd'hui présent sur les 5 continents dans près de 70 pays à travers le monde et emploie près de 80.000 personnes.

Holcim a développé donc un savoir-faire unique au niveau mondial dans ces métiers pour devenir un acteur incontournable dans la production de matériaux de construction.

Le groupe Holcim offre la plus grande diversité géographique du marché. Présent aussi bien en Europe que dans les pays émergents, sa diversification géographique assure la solidité de son économie.

### 2. Holcim Maroc :

#### 2.1. Généralités :

Aujourd'hui Holcim est présente dans différentes régions du Maroc et dispose d'une capacité annuelle de production de 4.4 millions de tonnes, elle exploite trois cimenteries à Oujda, Fès et Settat, un centre de broyage, d'ensachage et de distribution à Nador, ainsi qu'un centre de distribution à Casablanca.

#### 2.2. Situation dans le marché Marocaine :

Le Tableau -1- représente les principaux opérateurs cimentiers au Maroc ainsi que leurs parts du marché en 2013 :

| <b>Opérateurs cimentiers</b> | <b>Part du marché</b> |
|------------------------------|-----------------------|
| <b>Holcim Maroc</b>          | 21%                   |
| <b>Lafarge Maroc</b>         | 41%                   |
| <b>CIMAR</b>                 | 18%                   |
| <b>Asmar</b>                 | 13%                   |
| <b>Asment</b>                | 7%                    |

*Tableau 1 : Parts du marché des opérateurs cimentiers*

### **2.3. Historique :**

En **1972** les gouvernements marocain et algérien décident de construire une cimenterie à Oujda, sous le nom de la Cimenterie Maghrébine (CIMA). Son capital social est de 75 millions de dirhams, réparti à égalité entre l'Office pour le Développement Industriel (ODI) et la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC), organismes représentant respectivement le Maroc et l'Algérie. Le projet CIMA fut mis en veilleuse et placé sous administration provisoire à cause du retrait algérien de l'opération en 1975.

**1976** : L'ODI crée une société nouvelle dénommée Cimenterie de l'Oriental (CIOR) qui reprend les actifs de la CIMA avec pour objet la réalisation d'une cimenterie dans la région d'Oujda.

**1980** : Installation à Fès d'un centre d'ensachage d'une capacité de 500 000 tonnes par an.

**1985** : Création de Ciments Blanc du Maroc à Casablanca.

**1989** : Installation d'un centre de broyage à Fès d'une capacité de 350 000 tonnes par an.

**1990** : Début des travaux pour la réalisation d'une ligne complète de production de clinker à Fès.

**1993** : Démarrage de l'unité de Fès.

**2001** : Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie de Fès.

**2002** : Changement de l'identité visuelle: CIOR devient Holcim Maroc. Démarrage de la nouvelle activité granulats (Benslimane). Début des investissements relatifs à la rationalisation du dispositif industriel de Fès.

Certification ISO 9 001 et ISO 14 001 de la cimenterie d'Oujda.

**2004** : Extension de la cimenterie de Fès.

**2007** : Démarrage de la cimenterie de Settat et de la plateforme de prétraitement de déchets Ecoval.

**2008** : Lancement du projet de doublement de capacité de production de l'usine de Fès.

**2010** : Lancement du projet de doublement de la capacité de production clinker de la cimenterie de Fès.

**2012** : Doublement de la capacité de production clinker de l'usine de Fès.

**2014** : Holcim annonce la fusion entre cette dernière et Lafarge Maroc.

### **2.4. Fiche signalétique :**

La fiche signalétique du groupe Holcim est présentée dans le Tableau -2- :

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Raison social</b>                 | Holcim (Maroc) S.A.   |
| <b>Siège social</b>                  | Lotiss. la Colline II (Sidi Maarouf), lot. 37-38, rés. du Jardin, imm.A, 3&4° étg. - 20190 Casablanca |
| <b>Forme juridique</b>               | Société Anonyme à Directoire et Conseil de Surveillance   |
| <b>Numéro du registre</b>            | Holcim (Maroc) est immatriculée au greffe du tribunal de Commerce de Rabat sous le numéro 24713       |
| <b>Date de création</b>              | 1976 pour une durée de 99 ans   |
| <b>Date d'introduction en bourse</b> | 21 décembre 1993  |
| <b>Activité</b>                      | Production et Commercialisation du ciment et matériaux de construction                                |
| <b>Capital social</b>                | 91.000.000 DHS  |
| <b>Capacité de Production</b>        | 4.4 MT/ an.   |

*Tableau 2: Fiche signalétique de Holcim Maroc*

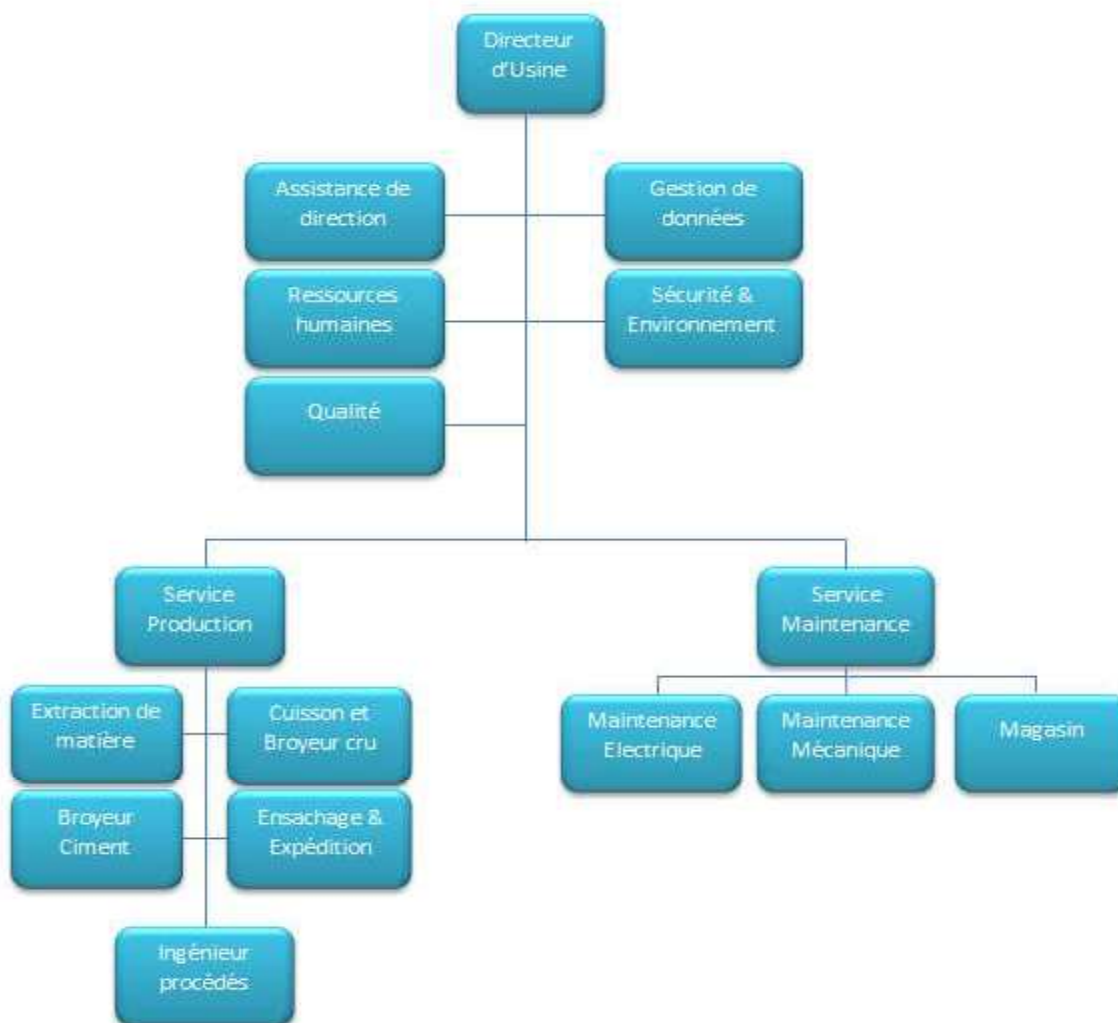
### 3. Holcim Ras-El-Ma

#### 3.1. Généralités

Située à 25 Km au sud de Fès, l'usine de Fès utilise le procédé de fabrication à voie sèche intégrale avec une capacité annuelle de 1.2 million de tonnes, il comporte des ateliers de : concassage, broyage, stockage de la farine, cuisson, stockage du clinker, broyage des combustibles, broyage du ciment, ensachage et expédition du ciment. La cimenterie de Fès est certifiées **ISO 9001** version 2008 et **ISO 14001** version 2004.

#### 3.2. Organigramme :

L'organigramme de la société Holcim Ras-El-Ma est représenté dans la Figure -1- :



*Figure 1 : organigramme de la société*

### **3.3. Les différents services :**

Direction de l'usine :

Elle se trouve au sommet de l'organisation dans la mesure où elle s'occupe des missions suivantes :

- ✓ Fixation des objectifs.
- ✓ Contrôle des résultats.
- ✓ Encouragement et motivation du personnel.

#### Service production :

Le service production occupe une place importante au sein de Holcim, il est considéré comme le moteur de l'usine, l'organisation de ce service est assuré par :

- ✓ Le laboratoire de contrôle qualité.
- ✓ La salle de contrôle.
- ✓ Le bureau de gestion.

Toutes ces données et autres lui permettant de dresser un rapport journalier qui fera la base des réunions journalières des responsables des services concernés avec la direction afin d'étudier l'évolution de ces données et prendre les décisions correctives tout en assurant un suivi permanent de la production.

#### Service expédition :

Le responsable expédition s'occupe de la réception, le stockage, la préparation et la distribution des produits aux clients en vue de garantir la qualité et les délais de livraison.

#### Service administration des ventes :

L'administration des ventes désigne l'ensemble des tâches administratives relatives à la conclusion d'une vente, ce métier contribue à fournir des informations clés aux métiers du marketing et aux métiers techniques sur les comportements des clients.

#### Service maintenance :

Le service maintenance occupe une grande place au sein de Holcim, dans la mesure où il assure la disponibilité des machines en bon état pour une production dans des bonnes conditions. Ce service comprend la maintenance électrique, la maintenance mécanique, le bureau des méthodes et enfin le magasin qui alimente le service en pièces.

#### Service commercial :

Le service commercial et marketing constitue un des piliers les plus important de l'usine.

Le commerce peut mener plusieurs activités en même temps :

- ✓ La prospection c.-à-d. ramené des nouveaux clients à l'entreprise.
- ✓ La communication entre Holcim et les clients ciblés.

- ✓ Le service avant et après-vente en écoutant les remarques des clients.

Service ressources humaines :

Holcim est une société moderne qui emploie un nombre important de salariés de différentes catégories. Le facteur humain tient toujours son rôle leader dans la mise en œuvre de l'usine et son développement.

La mission service ressources humaines s'articule autour de 3 axes principaux :

- ✓ Le recrutement.
- ✓ Le parcours professionnel.
- ✓ L'accompagnement des personnes et des équipes.

### ***3.4. Les types de ciment produit à Holcim Ras El Ma :***

#### **CPJ 35 : Ciment portland composé**

Le CPJ 35 est un liant hydraulique résultant du broyage de clinker, gypse et ajouts. Ses caractéristiques techniques sont conformes à la norme marocaine NM 10.01.004.

Il est applicable dans la maçonnerie et conditionner dans des sacs de 50 Kg.

#### **CPJ 45 : Ciment portland composé avec ajouts**

Le CPJ 45 est un liant hydraulique résultant du broyage de clinker, gypse et ajouts. Ses caractéristiques techniques sont conformes à la norme marocaine NM 10.01.004.

Il est applicable principalement aux bétons des éléments de structures (fondation, poteaux, poutres, dalles, ...) et conditionner soit dans des sacs de 50 Kg ou vrac en citerne.

#### **CPJ 55: Ciment portland composé avec ajouts**

Le CPJ 55 est un liant hydraulique résultant du broyage de clinker, gypse et ajouts. Ses caractéristiques techniques sont conformes à la norme marocaine NM 10.01.004.

Il est applicable dans les travaux nécessitant une résistance élevée et conditionner seulement dans un vrac en citerne.



## II. Le Processus de fabrication du ciment

### 1. Définition du ciment :

Le ciment est une gangue hydraulique utilisée dans différents domaines, principalement comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage des différentes matières premières. Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) environ de 80% et le schiste (environ de 20%). Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par l'apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

### 2. Matières premières du ciment :

Les matières premières qui rentrent dans la fabrication du Ciment sont essentiellement le calcaire et le schiste ou toutes matières renfermant essentiellement de la chaux ( $\text{CaO}$ ), de la silice ( $\text{SiO}_2$ ), de l'alumine ( $\text{AlO}_3$ ), et de l'oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Les matières d'ajout sont principalement:

- **Le Gypse** : son rôle est de régulariser le temps de prise du ciment.
- **Le Calcaire** : Ajout qui diminue la résistance du ciment et qui peut être remplacé par la Pouzzolane qui a les mêmes caractéristiques. C'est le composant principal du Clinker.
- **Le Schiste** : le gisement de schiste se situe à 20 Km de Sud-ouest de la ville Fès (Bhalil).
- **Les matières de correction**: Les matières de correction sont en général : le sable et les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.
- **La Pouzzolane** : une matière volcanique, et spécialement utilisée pour la fabrication de tous les types du ciment commercialisé par HOLCIM sauf pour le CPJ35.

### 3. La chaîne de fabrication de ciment :

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production ainsi que des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Il existe quatre principaux procédés de fabrication du ciment :

**La voie humide** : La matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La pâte obtenue est homogénéisée, puis alimente le four.

Cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie.

**La voie semi humide** : La matière est préparée en voie humide, puis séchée avant le four.

**La voie semi sèche** : La farine crue, sèche, passe d'abord dans un granulateur où elle est humidifiée.

**La voie sèche** : C'est la plus utilisée et la plus économique. La matière première est concassée, broyée à sec, homogénéisée, et avant l'entrée au four elle est chauffée à travers des cyclones (type DOPOL). A l'entrée du four rotatif, la farine est à une température de 900 à 1000°C. Cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique.

Le procédé de fabrication du ciment utilisé à l'usine de Ras El Ma est la voie sèche.

### ***3.1. Extraction des matières premières :***

Le Calcaire est exploité à partir de la carrière située à proximité de l'usine, l'extraction se fait à partir d'un abattage à l'explosif, le pourcentage du calcaire dans la production peut atteindre 80%.

La carrière du schiste est située à 45 Km du site de l'usine, l'extraction est sous-traitée et le pourcentage peut aller de 13 à 14%.

Les autres matières dites de correction, le sable et le minerai de fer sont utilisées à hauteur de 4% et 1.8% respectivement.

La production du ciment nécessite d'abord la production d'un produit semi-fini de base «le Clinker », qui subira en suite des transformations jusqu'au produit fini : « le ciment ».

### ***3.2. Concassage***

Le concassage se situe à proximité de la carrière de calcaire qui existe au voisinage de l'usine et compte plus de 2 siècles de réserves exploitables en calcaire de bonne qualité. Le but de cette opération est de réduire les dimensions des blocs qui atteignent parfois 1,2m. La granulométrie du produit concassé est de 95% < 80mm. La machine est un concasseur à marteaux à double rotor convenant pour le concassage primaire ou secondaire de toutes matières friables ou semi dures. La matière fragmentée est transportée vers le stockage.

### ***3.3. Pré-homogénéisation***

La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières. Des échantillons du mélange des matières premières sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage, ces échantillons sont analysés au niveau du laboratoire de l'usine. Les résultats de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange des matières premières, ce mélange est dénommé en cimenterie par le cru.

### ***3.4. Echantillonnage***

Cette étape a pour but de déterminer et de réaliser un pré-dosage des quatre constituants de base du «clinker». Pour cela, on dispose de quatre trémies assurant le stockage des matières premières.

Une fois le dosage effectué, les constituants sont rejetés dans une bande transporteuse pour le broyage.

### ***3.5. Broyage cru***

Les matières préparées par le concassage et la pré-homogénéisation doivent être maintenues réduites à la finesse requise pour la cuisson.

Le broyeur est constitué de deux paires de galets à suspension flottante. Ces paires de galets sont entraînées par un plateau de broyage. Sous l'effet de la force centrifuge, la matière passe sous les galets, alors que les particules trop lourdes retombent sous le plateau de broyage dans un élévateur à godets qui les recycle dans le broyeur, les fines entraînées par le flux de gaz, sont dirigées vers le séparateur monté sur le broyeur. La pression des galets est fournie par un système de vérins hydrauliques.

### ***3.6. Homogénéisation***

A la sortie du broyeur, après séparation, la cimenterie dispose d'un produit sec d'une extrême finesse comparable à celle du boulanger, d'où le nom de "Farine" qu'on lui donne en cimenterie.

Avant de procéder à la cuisson, une ultime étape de préparation va conférer à la matière crue une composition quasi-stable, c'est le but de l'homogénéisation.

Un cuve de grande capacité, appelée silo de capacité 5000 tonnes, reçoit la farine produite par le broyeur. Celle-ci est déversée par le haut à l'aide d'un élévateur. Le fond du silo est équipé

par des conduites à l'intérieur desquelles de l'air sous pression est soufflé. Par l'effet de la fluidisation par l'air s'effectue une mise en mouvement de la masse de la farine, ce qui assure l'homogénéisation de la composition chimique de la matière afin d'être préparé à la cuisson.

### ***3.7. Préchauffage***

Avant d'introduire la matière dans le four, elle passe par une tour. Cette dernière est composée d'un ensemble de cyclones disposés verticalement sur cinq étages, et d'un ventilateur situé à sa partie basse qui sert à tirer les gaz chauds avec une grande vitesse, du four vers les cyclones. La matière est ensuite remontée par des élévateurs jusqu'à la partie supérieure puis elle descend et en même temps se réchauffe grâce à son contact avec les gaz chauds.

### ***3.8. Cuisson***

A la sortie du préchauffeur, la farine arrive dans le four rotatif où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation. L'alimentation farine est située à l'extrémité opposée au brûleur. Le four rotatif est de forme cylindrique de 3,6m de diamètre, de 62,5m de longueur, avec une pente d'inclinaison de 3% et une vitesse de rotation pouvant atteindre 5.2 tr/mn. L'isolation du four se fait par des briques réfractaires.

### ***3.9. Refroidissement***

Quand le «clinker» sort du four, à environ 1300°C, il faut le refroidir pour le stockage, pour cela, l'usine dispose d'un refroidisseur à grille. Il est constitué de deux grilles, chaque grille est composée de plusieurs éléments légèrement inclinés. Le «clinker» progresse le long de la grille, grâce au mouvement alternatif des plaques de la grille, ce mouvement est actionné par des vérins hydrauliques. Sous la grille, des ventilateurs propulsent de l'air à travers la couche de «clinker», assurant un refroidissement progressif.

### ***3.10. Broyage du «CLINKER»***

Après refroidissement, le «clinker» se présente sous forme de nodules gris foncés d'environ 2 cm de diamètre. Pour la fabrication du ciment, le «clinker» doit être broyé à une finesse inférieure à 40 microns.

Selon la qualité de ciment souhaitée et en conformité avec les normes marocaines NM 10.01.F.004 on peut ajouter dans des proportions bien définies des matières d'addition telles

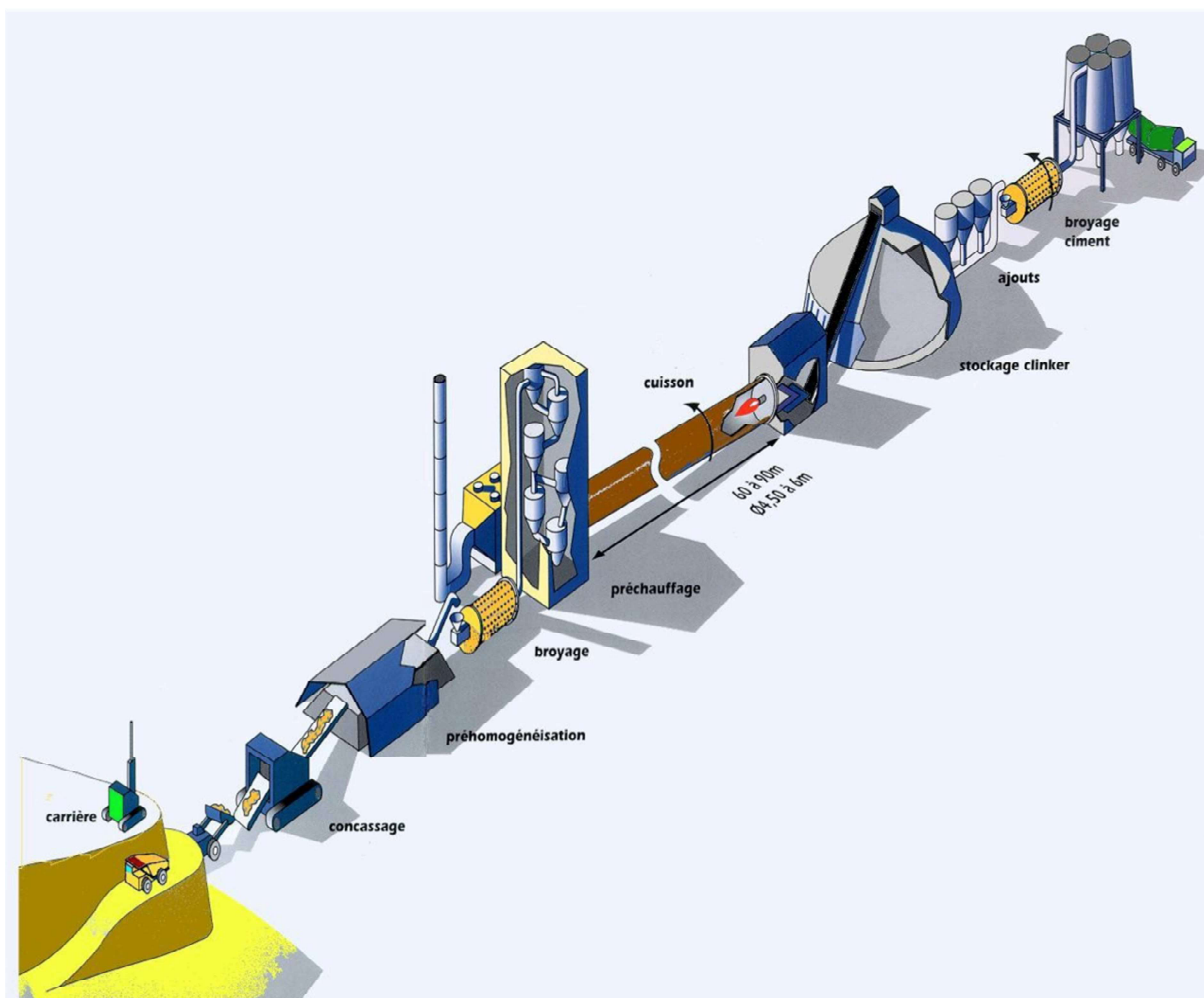
que le gypse, le calcaire et d'autres additifs. Cette conformité est assurée grâce à des dosages mesurés et des tests de laboratoire effectués tout au long du processus de production.

### 3.11. *Ensachage et expédition du ciment*

Le ciment produit est stocké dans des silos pour alimenter par la suite les ateliers d'ensachage pour les livraisons en sacs, ou les dispositifs de chargement et livraisons en vrac.

Pour les livraisons en sacs, le chargement des camions ou des wagons se fait par des chargeurs automatiques répondant aux normes environnementales. Les sacs sont en papier kraft ou du papier poreux permettant le seul passage de l'air. Les sacs en Kraft sont perforés pour permettre la sortie d'air lors de leur remplissage en ciment.

Toutes ces étapes de fabrication de ciment on peut les illustrées dans la Figure 2 :



*Figure 2: Processus de fabrication du ciment*

## Chapitre II :

# *Contexte général du projet*

Dans ce chapitre, nous allons traiter les axes suivants :

- Problématique ;
- Cahier des charges ;
- Démarche et outils de pilotage du projet.

## I. Problématique :

La complexité croissante des systèmes industriels a conduit les entreprises à s'intéresser à des méthodes de suivi, ces dernières avaient toujours l'objectif d'apporter un contrôle continu sur les systèmes tout au long de ses processus de vie. Parmi ces méthodes de suivi on trouve le *Tableau de Bord* ou le *Flash process*, ce dernier permet de passer à une logique de pilotage, pour prévoir et s'adapter. Il ne s'agit pas de produire des états, mais de donner les informations clés, aux bonnes personnes, sous une forme ergonomique.

Dans ce cadre notre projet de fin d'étude vise la mise en place d'un *Tableau de Bord* pour le suivi et le contrôle de deux machines assez importantes dans la chaîne de production de Holcim, à savoir le **broyeur cru** et le **broyeur ciment**.

## II. Cahier des charges :

Dans ce cahier consacré à l'élaboration d'un *Tableau de Bord* pour les deux broyeurs cru et ciment, nous allons commencer par une étude du broyeur cru et broyeur ciment, après nous allons recenser et cadrer les paramètres clés de pilotage pour les deux broyeurs ainsi les établir dans un fichier Excel accompagnés par des outils d'alertes qui déclenchent un signal lors d'un dépassement de seuil. Pour une visualisation plus facile nous proposons une représentation graphique de ces outils de pilotage.

## III. Démarche et outils de pilotage du projet :

### 1. Démarche :

Notre méthodologie est une contribution qui vient de coupler cinq phases :

- L'Etude du fonctionnement du broyeur.
- L'identification des indicateurs de pilotage jugés important pour le suivi des deux broyeurs.

- Le bordage des indicateurs de pilotage en se basant sur les informations des opérateurs et celles stockées dans TIS (*Thechnical Information System : un logiciel interne du stockage automatique de toutes les informations du processus*).
- Présentation des indicateurs sur des graphes pour une visualisation plus claire.
- Construction d'un tableau de bord axé sur les phases traitées.

## 2. Les outils de pilotage :

Le pilotage des activités constitue un enjeu pour les services. Améliorer ses résultats est le souci de toute organisation. Les finalités du pilotage peuvent être différentes, mais complémentaires :

- optimiser les modes de production à travers un meilleur suivi des processus et des procédures ;
- disposer d'informations fiables pour éclairer la prise de décision.

De ce point de vue, le tableau de bord constitue l'un des outils du pilotage au même titre que l'évaluation.

### 2.1. Les indicateurs de pilotage :

Les caractéristiques d'un indicateur de performance transparaissent dans les définitions suivantes :

- Un indicateur de performance est une donnée qui exprime l'efficacité et / ou l'efficience de tout ou partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise.
- Un indicateur de performance est une traduction chiffrée des objectifs stratégiques poursuivis par l'organisation.
- Un indicateur de performance est associé à une « action à piloter » dont il doit révéler la pertinence opérationnelle.
- Un indicateur de performance est une information devant aider un acteur individuel ou une organisation à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif, ou devant lui permettre d'en évaluer le résultat.
- L'indicateur est une information permettant la mesure périodique d'une réalité par rapport à un critère prédéfini. Il est un instrument de mesure.



L'indicateur est donc vu comme un élément de décision permettant, soit de contrôler les processus en vue de l'atteinte de l'objectif défini, soit de modifier les objectifs eux-mêmes. Par exemple si on considère que la sécurité des agents sur les chantiers constitue un objectif fort pour le service, l'un des critères permettant de vérifier l'atteinte de cet objectif pourrait être le port des équipements de sécurité par tous les agents présents sur un chantier.

L'indicateur associé à ce critère est le pourcentage des agents présents sur un chantier et qui portent l'ensemble des équipements de sécurité imposés par la réglementation en vigueur.

#### Comment choisir les indicateurs ?

Le tableau de bord est un ensemble d'indicateurs mais pas n'importe quels indicateurs. Ils doivent remplir les conditions suivantes :

- ils doivent mesurer des états et des évolutions.
- ils servent à piloter un système c'est-à-dire un ensemble d'éléments en interaction compris dans des frontières clairement définies.
- ils doivent agir dans un cadre temporel en lien avec les obligations du pilote.

#### Quel est le nombre d'indicateurs souhaitable ?

Le tableau de bord est constitué d'indicateurs choisis par le décideur .Ces indicateurs restent limités en nombre, et permettent d'apprécier une situation.

Par ailleurs, un tableau de bord doit être simple, afin d'être facile à manipuler, voire à modifier.

L'idée, selon laquelle il faut disposer d'un maximum d'informations pour décider.

#### Quels sont les indicateurs à sélectionner ?

La sélection d'un indicateur nécessite quelques précautions. Il doit pouvoir être :

- comparé à un objectif à atteindre ou un seuil d'alarme à ne pas dépasser ;
- mis en perspective dans le temps ;
- facilement interprétable.

Il convient de ne pas céder à la facilité en choisissant des indicateurs qui paraissent trop évidents, ce qui conduirait à sélectionner des indicateurs à très faible valeur ajoutée.

Les indicateurs doivent être interprétables et concrets, c'est-à-dire aisément compréhensibles par leurs utilisateurs, et aussi peu ambigus que possible.

## 2.2. Tableau de bord :

Qu'est-ce qu'un tableau de bord ?

Le concept de tableau de bord apparaît en France au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Il a été principalement développé par des ingénieurs aux fonctions très techniques, ces derniers étaient à la recherche des méthodes qui permettaient d'améliorer les processus de production et de mieux comprendre les relations de causes à effets entre les actions mises en place et leurs impacts sur le niveau de performance des différents processus.

Le tableau de bord est présenté, dans la littérature comme un outil d'aide à la décision, ou bien un instrument de gestion orienté vers le pilotage à distance des responsabilités déléguées.

Jusqu'aux années 1980, le tableau de bord était assimilé à un dispositif permettant de contrôler le niveau de réalisation d'objectifs préalablement fixés, mais les années 90 font évoluer le tableau de bord vers une approche plus orienté plan d'actions .alors on peut définir le tableau de bord aussi comme un outil pour le top-management d'une entreprise ou bien d'un équipement qui permet d'avoir une vue globale et synthétique sur l'état des opérations en cours et sur son environnement.

En 2001 le tableau de bord était défini comme un ensemble d'indicateurs peu nombreux conçus pour permettre aux gestionnaires de prendre connaissance de l'état de l'évolution des systèmes qu'ils pilotent et d'identifier les tendances qui les influenceront sur un horizon cohérent avec la nature de leurs fonctions.

Récemment on distingue entre deux sens de tableau de bord :le sens le plus strict où le terme se réfère à des outils pour la visualisation graphique des indicateurs clés de performance et le sens large où le tableau de bord est utilisé pour la surveillance ,l'analyse et l'optimisation des activités critiques de l'entreprise permettant aux utilisateurs de tous les niveaux de la hiérarchie d'améliorer leurs décisions.

Comment construire Un tableau de bord ?

La mise en œuvre du Tableau de Bord repose sur une démarche structurée de quatre étapes :

- Clarifier et traduire le projet et la stratégie.
- Communiquer et articuler.
- Planifier et définir les objectifs quantitatifs.

- Retour d'expérience et suivi stratégique.

Pourquoi élaborer un tableau de bord ?

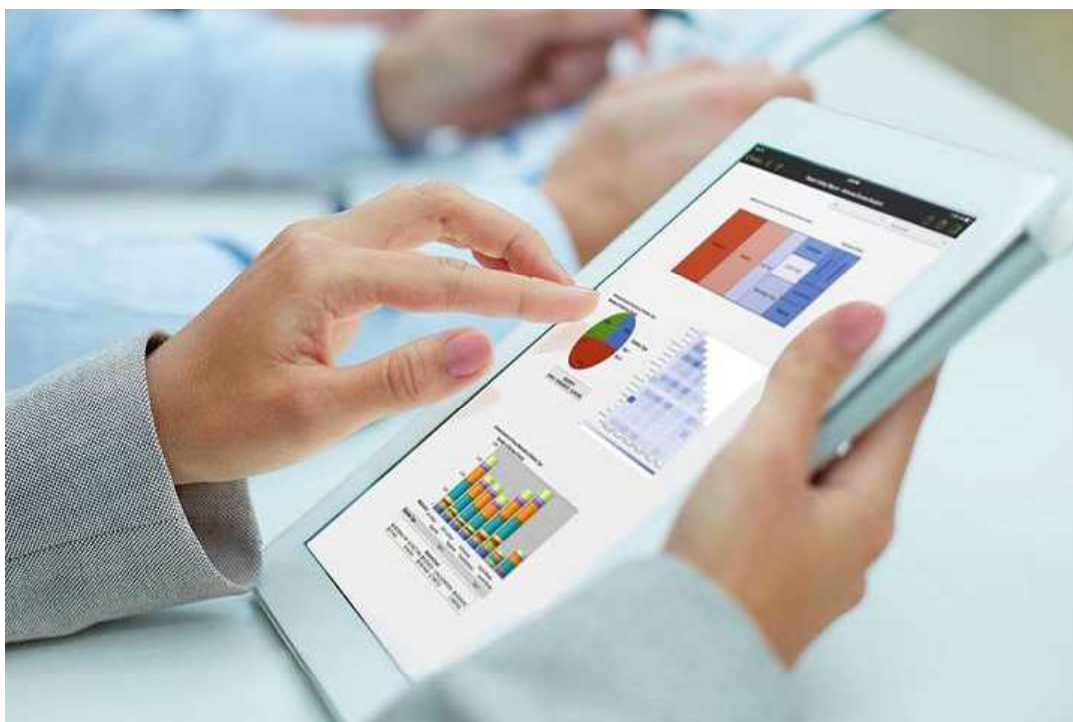
L'élaboration et le suivi d'un tableau de bord aident l'entrepreneur:

- à prendre du recul et se dégager des urgences.
- Faire parler de sa stratégie pour mieux l'appliquer.
- Donner un outil de surveillance de la performance.
- à planifier son développement.
- à mesurer régulièrement le chemin accompli et à corriger les écarts.

Le tableau de bord est à la fois un outil d'amélioration des performances de l'entreprise et de motivation de l'entrepreneur qui se fixe des buts et suit régulièrement les progrès accomplis.

Exemple de tableau de bord :

Voici un exemple d'un tableau de bord (Figure -3-) :



*Figure 3 : exemple d'un tableau de bord*

### *2.3. Conclusion :*

Un tableau de bord de pilotage doit être construit d'avantage dans une perspective d'action que dans une perspective d'information. La mise en place d'un système de tableau de bord n'a de sens que si elle reçoit l'appui total du responsable. La présentation des tableaux de bord doit être claire et faciliter l'exploitation des informations (des données ne deviennent des informations que dans la mesure où elles permettent de prendre des actions correctives) il faut éviter des tableaux trop complexes, et parfois recourir à des graphiques pour une visualisation claire.

## Chapitre III :

*Réalisation et mise en place d'un  
Tableau de bord  
pour le broyeur cru et le broyeur  
ciment*

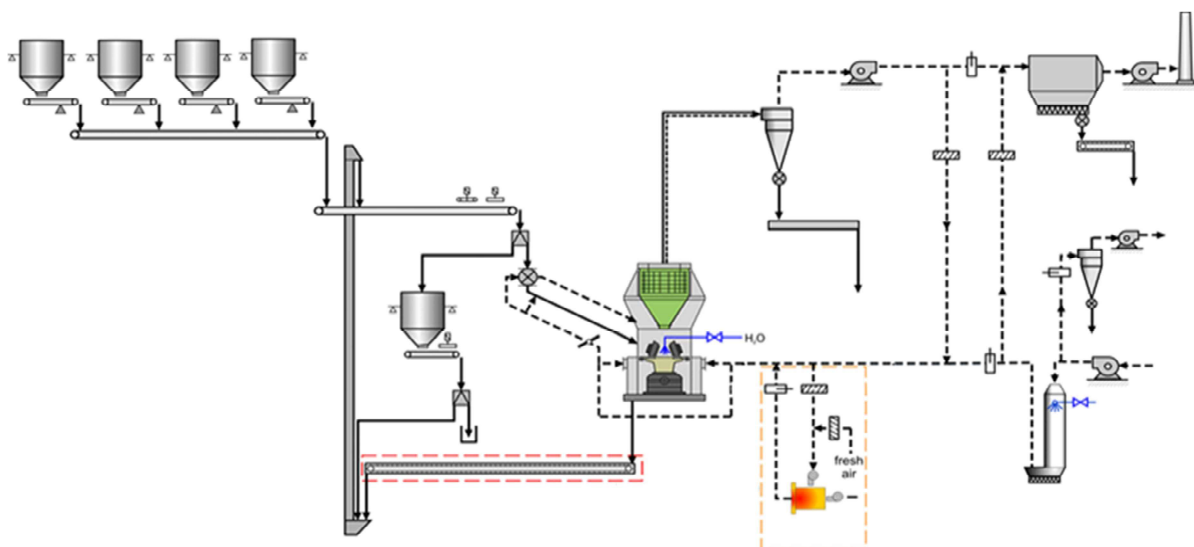
## I. Introduction

Après avoir défini le cahier de charge, la démarche du projet et les outils de pilotage, dans ce chapitre, nous nous intéressons à la problématique liée au pilotage de la performance dans l'atelier du broyeur cru et ciment. Pour cela nous allons :

Analyser le fonctionnement des deux broyeurs, préciser les composants de ces derniers, après nous allons définir les indicateurs qui influencent le fonctionnement des deux broyeurs et les structurer dans un tableau de bord.

## II. Etude du broyeur ciment et broyeur cru :

La figure -4- illustre l'atelier de broyage cru ou ciment :



*Figure 4 : atelier de broyage*

Dans cette partie nous allons traiter le processus de broyage pour les deux broyeurs en même temps puisqu'ils ont la même installation sauf des petits détails que nous allons mentionner tout au long du développement du chapitre.

### 1. Rôle de broyeur :

Le broyeur à galet de type vertical est un équipement adéquat pour le broyage et le séchage des matériaux humides. Le broyage et le séchage peuvent être réalisés de manière très efficace avec une seule machine. Plusieurs matériaux peuvent être broyés dans les broyeurs verticaux à galets tel que :

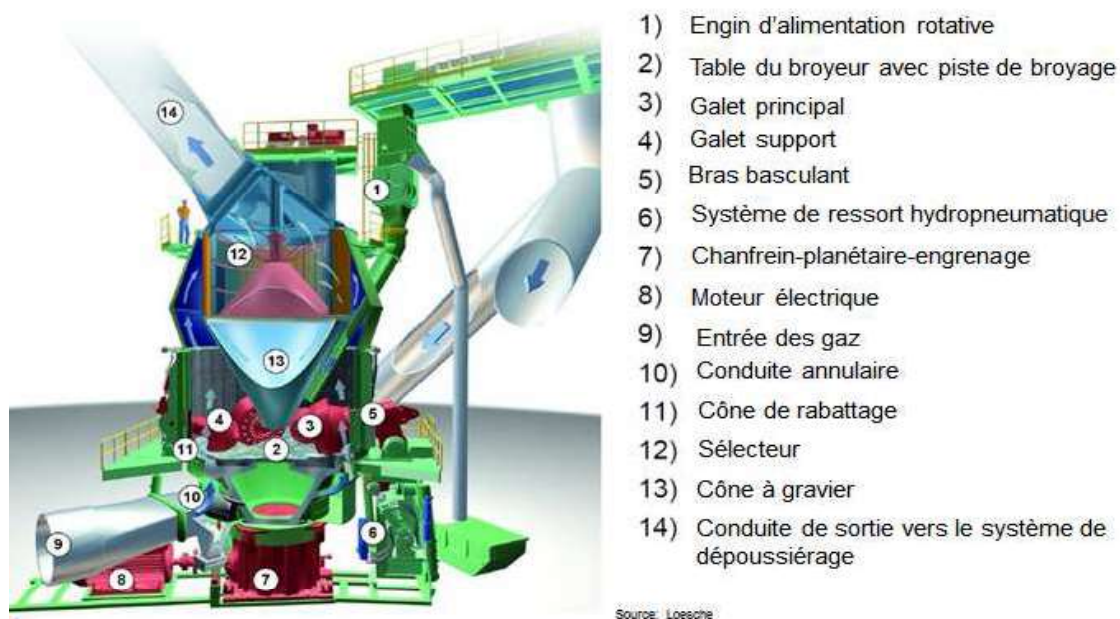
- Le ciment, le cru, le charbon et la pouzzolane.

Le broyeur à galets de type vertical réalise quatre fonctions principales dans une seule machine :

- Le broyage, le séchage, la séparation et le transport.

## 2. Intérieur d'un broyeur vertical :

Les composantes intérieures du broyeur sont présentées dans la Figure -5- :



*Figure 5 : composantes intérieures du broyeur*

## 3. Principe de fonctionnement :

La nouvelle technologie du **broyage LOESCHE** permet de réaliser des débits de produit fini peuvent atteindre jusqu'à 350 T/h et par machine. Pour la société Holcim elle dispose de deux **broyeurs LOESCHE**, le premier pour le broyage du cru avec un débit de 320 T/h et le deuxième pour le broyage du clinker avec un débit de 145 T/h.

La matière est déchargée au moyen d'une bascule couronne sur la bande transporteuse en aval, un séparateur magnétique enlève des corps étrangers magnétisable, un autre détecteur métallique détecte des pièces métalliques non magnétisables, ces pièces sont ensuite déviées par un aiguillage et éliminées vers une trémie de rejets.

La matière à broyer est ensuite introduite dans le broyeur par un sas rotatif, des ajouts secs et fins sont aussi introduits à partir des trémies de dosage et par un parcours séparé, ces ajouts peuvent être du *calcaire*, *sable*, *fer* dans le cas du broyeur cru ou bien du *gypse*, *calcaire*, *pouzzolane* dans le cas du broyeur ciment.

L'injection d'eau sert au conditionnement du lit du broyage ou en cas de besoin du gaz de séchage chaud, Un système de dosage pour matériaux permet de stabiliser le lit de broyage, ainsi diminuer la température dans le broyeur qui peut atteindre jusqu'à 100 degré.

Un générateur de gaz chaud fournit le gaz de séchage pour le broyeur. La chaleur sensible du gaz sèche la matière broyée et le flux gazeux transporte la matière broyée et séchée dans le séparateur.

Le mélange du gaz et de la matière finie traverse le séparateur et entre dans le filtre à manche ou le produit fini est séparé du gaz. Une partie du gaz est rejeté dans l'atmosphère à travers le cheminée. La partie restante pour des raisons d'énergie est recyclée vers le générateur du gaz chaud et le broyeur. Le transport du gaz à travers l'installation est effectué à l'aide d'un ventilateur, pour des raisons d'optimisation Holcim a décidé d'apporter les gaz utilisés dans le broyeur cru du four à travers un ventilateur relais sans utiliser le générateur des gaz chauds.

Les rejets éliminés dans le broyeur sont évacués par un système de rejet et retourner à l'aide d'un élévateur à godet sur la bande transporteuse.

Le **broyeur LOESCHE** est composé principalement d'un moteur électrique entraîne le réducteur du broyeur par l'intermédiaire d'un accouplement.

Le plateau de broyage s'appuie sur le réducteur et entraîne par ce dernier.

Deux petites meules appelées esclaves préparent le lit de broyage, le broyage proprement dit est effectué par des meules de grandes tailles exerçant des pressions élevées sur la matière broyée, toutes les meules sont guidées d'une façon précise par les leviers.

Le plateau de broyage est entouré par un canal circulaire de répartition des gazes alimenté en gaz de séchage par des canalisations de gaz chaud. Un anneau à aube dirige le flux du gaz de séchage dans le compartiment de broyage. Les rejets tombent à travers l'anneau à aube dans le canal circulaire sont collectées par des racleurs tournantes et finalement évacuées.



La matière est séchée par les gaz chauds et transportée dans le séparateur. Le mélange du gaz et du produit fini traverse le séparateur puis monte à travers une conduite dans le filtre à manche.

Les particules de taille très grande sont éliminées par le séparateur retombent sur le plateau de broyage et elles sont mélangées avec la matière fraîche et les refus introduites dans le broyeur à travers le sas rotatif.

#### 4. Les principaux éléments du broyeur :

Le **broyeur LOESCHE** pour le broyage de la farine crue ou du ciment est essentiellement constitué par :

- Les galets
- L'entraînement du broyeur
- La table
- Le séparateur
- L'injection d'eau
- Les gaz de séchage
- Le ventilateur.

##### *4.1. Entraînement complet du broyeur*

L'entraînement du broyeur se compose essentiellement des éléments suivants :

- Moteur du broyeur
- Réducteur du broyeur

Le réducteur du broyeur sert à entraîner un moulin à cylindres, pour réduire la vitesse de rotation du moteur électrique. Il existe un accouplement entre le moteur du broyeur et le réducteur du broyeur. Afin de protéger cet accouplement un exclue de tout contact involontaire avec les pièces en rotation lorsque le broyeur est en marche est nécessaire.

##### *Remarque :*

Les deux moteurs du broyeur ciment et cru n'ont pas les mêmes puissances, celle du broyeur ciment est plus grande que celle du broyeur cru vue que le broyage du clinker nécessite une grande puissance.

#### 4.2. Les galets :

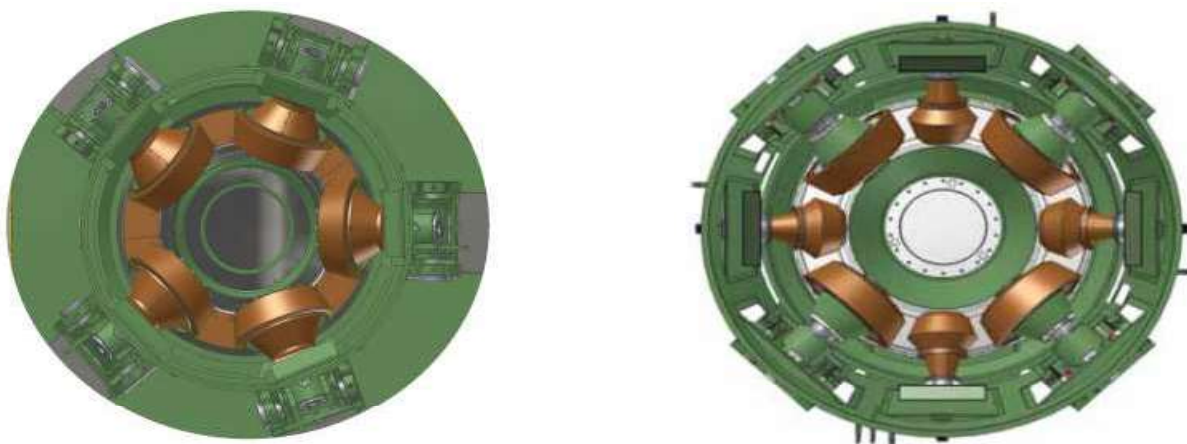
Le broyeur LOESHE est équipé de 2 à 6 galets représentés dans la Figure -6-, le broyeur cru à des galets de même taille or le broyeur ciment a des galets maîtres et des galets esclaves, ces derniers ont pour mission la préparation de la matière pour les galets maîtres. Pour des raisons énergétiques Holcim Ras-El-Ma n'utilise que les deux galets maîtres du broyeur ciment.



*Figure 6 : les galets du broyeur*

#### Remarque :

La différence entre les galets du broyeur cru et ciment est représentée dans la Figure -7- :



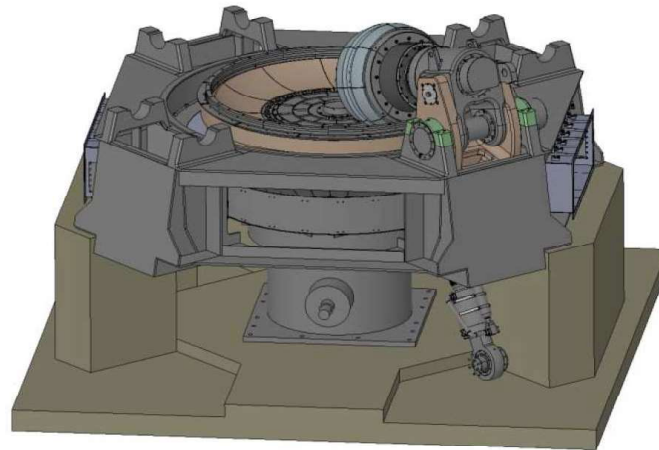
Broyeur cru (2 à 6 galets)

Broyeur ciment (jusqu'à 4M + 4S galets)

*Figure 7 : Différence entre les galets du broyeur cru et ciment*

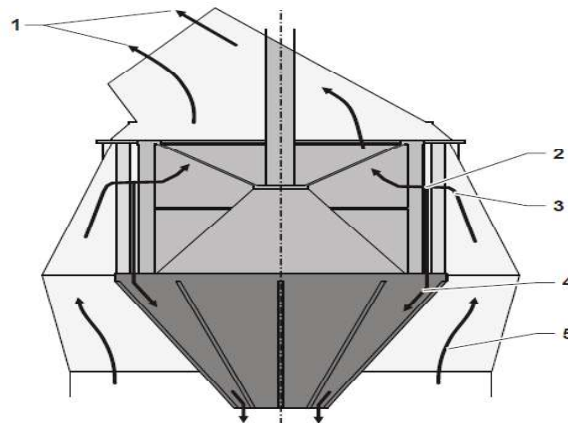
#### 4.3. La table :

La table de broyage (Figure -8-) s'appuie sur le réducteur et entraînée par ce dernier. La face supérieure du plateau est munie d'une plaque sur laquelle s'écoule la matière à broyer, le lit de broyage en rotation passant au-dessous des meules à emplacement fixe est exercé par celle-ci.



*Figure 8 : la table du broyeur*

#### 4.4. Le séparateur :



*Figure 9 : Séparateur du broyeur*

Le séparateur LOESCHE à cage à barres (Figure 9) est un séparateur par courant d'air.

La matière broyée et séchée est acheminée par l'air de transport pour accéder au séparateur par en dessous (5). Les tôles de guidage intégrées au séparateur permettent de convertir le courant montant du mélange poussière/air en un courant tangential (3) Le rotor à barres du

séparateur tourne dans le même sens que ce courant tangential. Ce qui génère dans l'espace (2) entre les tôles de guidage et les barres de séparation du rotor un champ de force centrifuge dans lequel s'effectue la séparation du mélange poussière/air.

Les particules de plus grande taille (fines) sont éjectées vers l'extérieur et chutent par gravité vers le bas (4). Le produit fini traverse le rotor à barres en même temps que le courant de gaz et quitte le séparateur via la sortie du bâti supérieur du séparateur (1).

#### 4.5. Le séchage :

Le procédé de séchage se fait principalement avec des gaz de récupération d'un four ou bien fourni par un générateur de gaz chaud. Le séchage à lieu durant le transport entre l'étape de broyage est celle de séparation.

Le séchage a lieu principalement quand les gaz chaud sortent des diffuseurs et entrent en contact avec le matériau humide. Les fines ont un temps de séjour plus grand à l'intérieur des gaz chaudes (jusqu'au collecteur de poussière), ce qui assure un bon séchage, le taux de séchage ou le besoin en séchage se reflète directement dans la température de sortie de broyeur.

#### 4.6. L'injection d'eau :



*Figure 10 : Equipement d'injection d'eau dans le broyeur*

Dans certaines conditions, les broyeurs à galets ont besoin d'un apport en eau pour stabiliser le lit de broyage. Les buses d'injection doivent asperger le matériau devant chaque galet, proportionnellement au débit en matière première. Des équipements pour l'injection d'eau

(Figure 10) avec de valves de dosage peuvent être installés dans le cuvelage du broyeur afin de refroidir les gaz provenant du four en cas d'une température excessive des gaz et d'humidité insuffisante du matériau.

### 1.1. Le ventilateur :

Il a pour rôle le tirage du produit fini mélangé avec les gaz du séparateur vers le filtre.

#### Remarque :

L'atelier du broyeur cru est équipé de deux ventilateur un final et l'autre nommer relais cependant l'atelier du broyeur ciment ne possède qu'un seul ventilateur final, la diversité entre les deux types ce présente dans le débit et la puissance seulement (le ventilateur relais a un débit et puissance plus grande qu'un ventilateur final).

### III. Recensement des indicateurs:

Après avoir effectué une étude fonctionnelle des deux broyeurs on a pu recenser les indicateurs jugés pertinent pour le fonctionnement des broyeurs :

#### 1. Indicateurs qualité :

##### 1.1. Indicateurs communs :

- La finesse :

Son objectif est de déterminer la granulométrie des échantillons. A l'aide d'un Courant d'air, on crée une différence de pression entre les deux niveaux du tamis. Les passants à travers le tamis sont entrainés par le courant d'air et les grains dont les dimensions sont supérieures aux mailles du tamis constituent donc les refus. Cette analyse nous permet de contrôler l'homogénéisation de l'échantillon et assurer le bon fonctionnement des broyeurs et des séparateurs afin d'effectuer les corrections nécessaires pour l'amélioration des performances du produits et pour répondre aux exigences des clients.

Dans ce cas les chimistes calculent le taux de refus avec lequel on contrôle la finesse :

$$\text{Taux de refus} = \frac{100 \times M_2}{M_1} \quad (1)$$

$M_1$  : Poids pesé avant tamisage.

$M_2$  : Poids pesé après tamisage.

## 1.2. Indicateurs non communs :

### 1.2.1. Broyeur cru :

- LSF : Facteur de saturation en chaux :

Le facteur de saturation en chaux est un module qui exprime le rapport entre la chaux présente dans le mélange et la quantité de Chaux qui peut être liée dans le clinker. Le standard de chaux permet de connaître le Comportement du mélange à la cuisson et de prévoir la qualité du ciment. Plus le standard de chaux est élevée, plus les résistances du ciment le seront aussi, et plus la cuisson sera difficile et nécessitera un accroissement de la consommation calorifique nécessaire à la cuisson. Par ailleurs, un standard en chaux élevé influe négativement sur la stabilité de volume du ciment hydraté (teneur en chaux libre).

Il est compris entre 98% et 101% et représenté sous la forme suivante :

$$LSF = \frac{100 \times CaO}{(2.8 \times SiO_2 + 1.18 \times Al_2O_3 + 0.65 \times Fe_2O_3)} \quad (2)$$

- MS : Module silicique :

Le module silicique représente le rapport entre la silice et les agents de la phase de fusion, c'est-à-dire l'alumine et l'oxyde ferrique.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont des agents de fusion, grâce auxquels la formation de la phase liquide commence. S'il y en a peu, le MS est élevée et la cuisson est difficile.

- MS > 2.5 Cuisson difficile
- MS < 2.45 Cuisson facile

Il est compris entre 2.45 % et 2.55 % et représenté sous la forme suivante :

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (3)$$

- MAF : Module aluminoferrique

La valeur de ce module caractérise la nature de la phase fondue, contenant presque la totalité des deux oxydes AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Quand cette valeur est faible, la viscosité de la phase fluide diminue, par conséquent, une difficulté à la cuisson d'où une grande consommation d'énergie.

Il est compris entre 1.5 % et 1.9 % et représenté sous la forme suivante :

$$MAF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (4)$$

### 1.2.2. Broyeur ciment :

- Trioxyle de Soufre :

C'est un élément dégagé lors de la cuisson et qui doit être présent en faible quantité. En effet cet élément est indésirable car il défavorise la résistance du ciment s'il dépasse les bornes càd entre 2,7 et 3 .Le pourcentage du SO<sub>3</sub> est mesuré à travers un spectromètre à rayon X.

## 2. Indicateurs maintenance :

- MTBF :

Il s'agit du temps de bon fonctionnement entre défaillances hors de tout arrêt volontaire ou programmé autrement dit c'est le temps moyen entre le début de la réparation et la panne suivante sa valeur représente la fiabilité d'un composant ou un produit, il peut être exprimé en heure.

$$MTBF = \frac{\text{temps de fonctionnement} + \text{temps de panne}}{\text{nombre de panne}} \quad (5)$$

- MTTR :

Il s'agit du temps moyen pour réparer le système autrement dit c'est le temps moyen entre la panne et la fin de réparation, il peut aussi être exprimé en heures.

$$MTTR = \frac{\text{temps d'arrêt total}}{\text{nombre d'arrêt}} \quad (6)$$

- disponibilité :

Pour qu'un matériel soit disponible, il faut qu'il soit le plus longtemps possible en état de marche (MTBF) et le moins longtemps possible en réparation (MTTR). On suggère d'utiliser les deux indicateurs précédents pour le calcul de la disponibilité :

$$\text{disponibilité} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (7)$$

### Exemples de calcul :

Nous allons calculer dans cet exemple la MTBF, la MTTR et la disponibilité du broyeur ciment à partir du tableau des arrêts (voir annexes 1) :

Le temps disponible ou bien d'optimisation est : 6h/jour.

Le temps de fonctionnement est : 535.98h.

Le temps de panne pour 9 pannes est : 4.02h.

La MTBF sera donc : 
$$MTBF = \frac{535.98+4.02}{9} = 60h$$

Le nombre d'arrêts total est : 21 donc : 
$$MTTR = \frac{4.02}{21} = 0.19 h$$

La disponibilité sera : 
$$\text{Disponibilité} = \frac{60 \times 100}{60+0.19} = 99.68 \%$$

## 3. Paramètres Process :

### 3.1. Indicateur commun:

- Débit alimentation fraîche :

La somme de toutes les matières fraîches (humides) venant des doseurs.

- Balance intégratrice :

Pour savoir le taux de refus du broyeur, la bande BT4 qui alimente le sas est équipée d'une balance, cette dernière pèse le débit d'alimentation fraîche plus le débit des refus venant de l'élévateur refus.

- Puissance moteur et élévateurs :

Le moteur et les élévateurs sont parmi les grands consommateurs de l'énergie dans l'atelier de broyage, la raison pour laquelle il faut mettre en place un suivi rigoureux de la consommation de ces derniers.

- Vitesse séparateur :

C'est un paramètre essentiel dans le contrôle de la finesse du produit fini (ciment ou farine), en augmentant la vitesse, le taux de refus et la qualité de ciment augmente aussi.



- Température sortie broyeur :

C'est une indication pour le séchage de la matière et l'échange thermique entre les gaz et la matière dans le broyeur.

- Pression de travail :

Ce paramètre a une relation avec la broyabilité de la matière par les galets du broyeur, si la pression augmente alors les galets s'approche de la table est la broyabilité de la matière augmente.

- Contre pression :

Ce paramètre est utilisé comme sécurité pour la table de broyage, c'est la pression qui garde un jeu entre les galets et la table.

- Consommation électrique spécifique :

Le rapport entre la somme des énergies consommées par les différents consommateurs (Moteur, ventilateur, Auxiliaires) et la quantité de ciment.

$$CES = \frac{\sum \text{Energie électrique consommée}}{\text{production}} \quad (8)$$

- Différence de pression :

La différence de pression entre la sortie et l'entrée du broyeur est la seule indication sur le bourrage du broyeur (broyeur plein ou vide).

### 3.2. Indicateurs non communs :

#### 3.2.1. Broyeur cru :

- Puissance ventilateur relais :

Le ventilateur final est parmi les grands consommateurs dans l'atelier de broyage, pour cela il lui faut aussi un suivi bien déterminé.

- Débit ventilateur relais :

Holcim recommande un débit spécifique compris entre 1.6 et 2 m<sup>3</sup>/s, pour ceci, il sera judicieux d'avoir un suivi rigoureux du débit afin d'évaluer la broyabilité de la matière.7

### 3.2.2. Broyeur ciment :

- Puissance ventilateur final :

Le ventilateur final est de même parmi les grands consommateurs dans l'atelier de broyage, il lui faut donc un suivi rigoureux.

- Débit ventilateur final :

Holcim recommande un débit spécifique du ventilateur, pour ceci, il sera judicieux d'avoir aussi comme le ventilateur relais un suivi rigoureux du débit afin d'évaluer la broyabilité de la matière.

- Débit broyeur ciment :

La quantité de matière broyée par unité de temps.

- Consommation calorifique spécifique :

Le rapport entre le tonnage de fuel consommé multiplié par son pouvoir calorifique et la production.

$$CCS = \frac{T_f * 4,185 * PCI}{Production} \quad (9)$$

PCI = 9600 Kcal /Kg le pouvoir calorifique inférieur du fuel lourd.

$T_f$  = tonnage de fuel consommé.

1 Cal = 4,185 J.

## IV. Recommandation :

- Débit broyeur cru :

L'usine calcule le débit de farine au niveau du broyeur cru produite juste par estimation à cause du problème d'étalonnage dans le doseur mélange (le doseur donne toujours des fausses indications même si on l'étalonne).

Sachant que le broyeur alimente le silo farine de capacité 5000 tonnes et le silo lui-même alimente le four nous proposons la démarche suivante pour résoudre ce problème (voir tableau -3-) :



## 1. Broyeur cru :

### 1.1. Indicateurs maintenance :

Le tableau -4- représente la moyenne calculée et l'objectif mis par la société de chaque indicateur de maintenance du mois avril :

| Indicateurs | Disponibilité | MTTR | MTBF |
|-------------|---------------|------|------|
| Moyenne     | 99            | 1,19 | 118  |
| Objectif    | 100           | 2    | 140  |

Tableau 4 : Indicateurs maintenance du broyeur cru

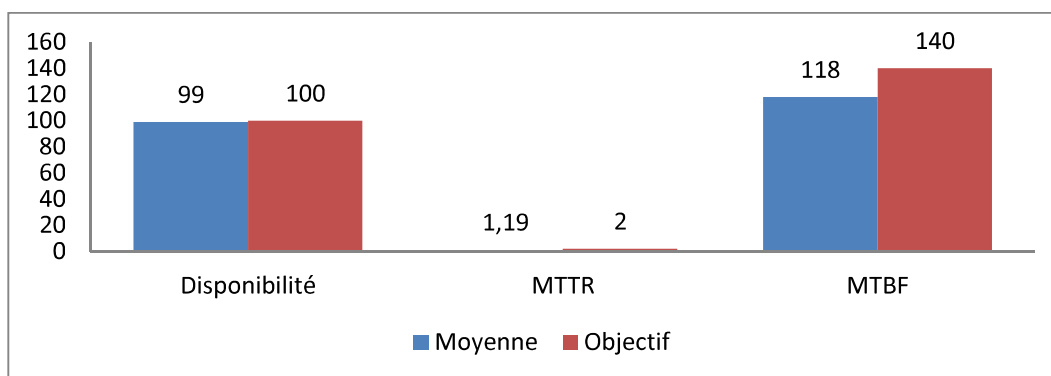


Figure 11 : Le suivi hebdomadaire des indicateurs maintenance du broyeur cru

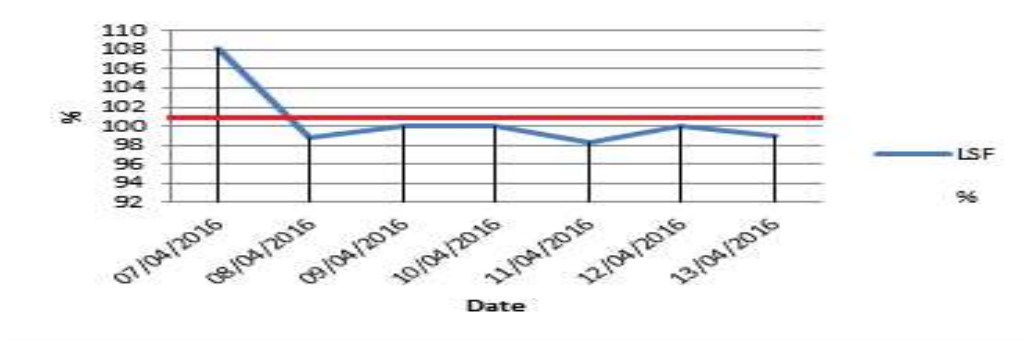
D'après la figure 11, nous constatons que pour la disponibilité on a pu atteindre l'objectif par contre pour la MTTR et la MTBF, l'objectif n'est pas atteint.

### 1.2. Indicateurs qualité :

Le tableau -5- représente les indicateurs qualité pour le suivi du broyeur cru :

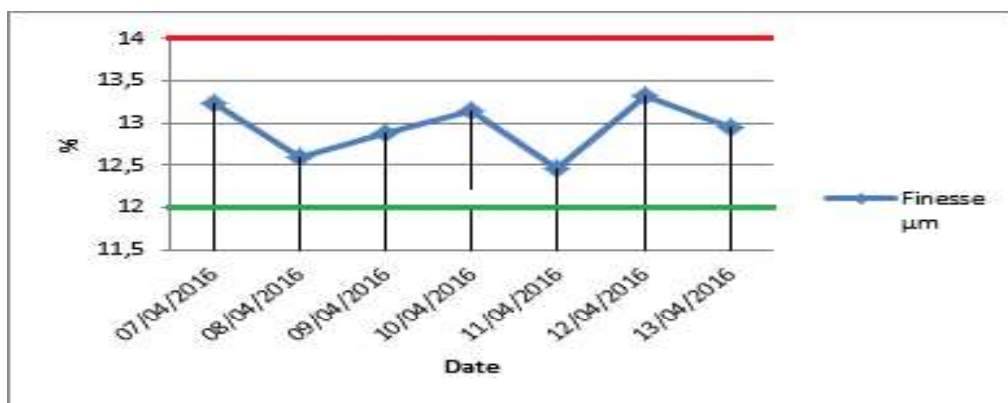
| DATES      | INDICATEURS QUALITE |      |      |                       |
|------------|---------------------|------|------|-----------------------|
|            | LSF                 | MS   | MAF  | Finesse $\mu\text{m}$ |
|            | %                   | %    | %    |                       |
| 07/04/2016 | 108,2               | 2,49 | 1,89 | 13,24                 |
| 08/04/2016 | 98,8                | 2,62 | 1,79 | 12,59                 |
| 09/04/2016 | 100                 | 2,54 | 1,9  | 12,89                 |
| 10/04/2016 | 100                 | 2,55 | 1,86 | 13,15                 |
| 11/04/2016 | 98,3                | 2,5  | 1,76 | 12,47                 |
| 12/04/2016 | 100                 | 2,52 | 1,85 | 13,33                 |
| 13/04/2016 | 99                  | 2,52 | 1,77 | 12,95                 |

Tableau 5 : Indicateurs qualité du broyeur cru



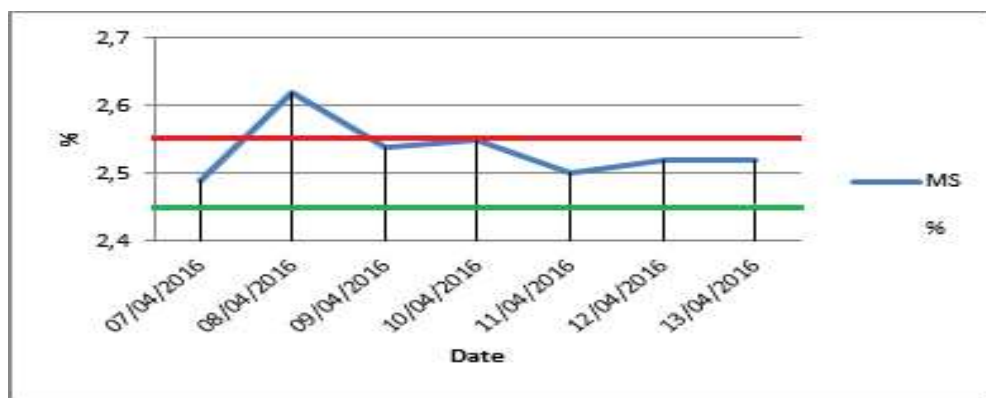
*Figure 12 : Le suivi hebdomadaire du LSF*

D'après le graphe ci-contre on remarque une fluctuation anormale de LSF dans le jour 7 de l'ordre de 108.2 %, ce qui impose une intervention instante pour éviter les effets de ce dépassement d'une part et sa répétition d'une autre part.



*Figure 13 : Le suivi hebdomadaire de la finesse de la farine*

On remarque une bonne fluctuation de la finesse pendant toute la semaine ce qui reflète la bonne marche du séparateur.



*Figure 14 : Le suivi hebdomadaire du MS*

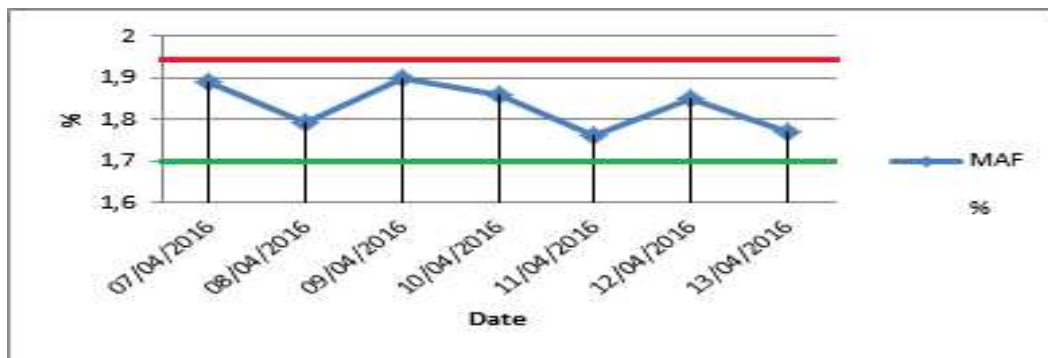


Figure 15 : Le suivi hebdomadaire du MAF

La marge déterminée par le laboratoire est 1.7 à 1.95.

D’après la figure 15 on remarque une diminution de toutes les valeurs de toute la semaine présentée.

### 1.3. Indicateurs process :

Les tableaux -6- et -7- représentent les indicateurs process pour le suivi du broyeur cru :

| DATES      | INDICATEURS PROCESS 1 |                     |                           |                                      |                         |
|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|            | Débit broyeur T/h     | Puissance moteur KW | Puissance vent. Relais KW | Débit vent. Relais m <sup>3</sup> /s | Puissance elev.refus KW |
| 07/04/2016 | 267,777778            | 1109,3              | 1358                      | 531748,82                            | 8,4                     |
| 08/04/2016 | 267,777778            | 1318,9              | 1541                      | 568280,45                            | 8,3                     |
| 09/04/2016 | 283,529412            | 1264,7              | 1486                      | 559755,39                            | 8,2                     |
| 10/04/2016 | 283,529412            | 1301                | 1535                      | 569307,36                            | 8                       |
| 11/04/2016 | 301,25                | 1373,8              | 1534                      | 555681,9                             | 8,5                     |
| 12/04/2016 | 267,777778            | 1285,4              | 1537                      | 568332,67                            | 7,5                     |
| 13/04/2016 | 301,25                | 1424                | 1522                      | 550884,98                            | 8,3                     |

Tableau 6 : Indicateurs process 1 du broyeur cru

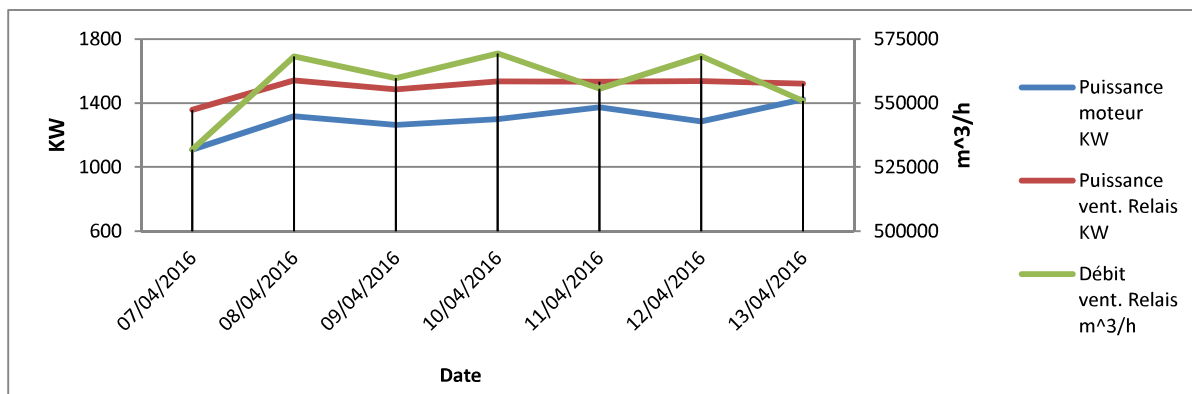


Figure 16 : L’influence du débit de broyeur sur la puissance du moteur, du ventilateur et le débit du ventilateur

On remarque que les deux puissances et le débit du ventilateur augmentent de la même manière ce qui montre la cohérence entre la marche du moteur et du broyeur, sauf les jours 11 et 12 la marche n'est pas normale.

| DATES      | INDICATEURS PROCESS 2  |                         |                     |           |         |
|------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|---------|
|            | Vitesse séparateur rpm | Pression de travail bar | Contre pression bar | CES KWh/T | Δp mbar |
| 07/04/2016 | 87,99                  | 60,4                    | 32,9                | 13,72     | 56,8    |
| 08/04/2016 | 88                     | 59,1                    | 25,2                | 14        | 63,4    |
| 09/04/2016 | 88                     | 58,8                    | 26,9                | 13,47     | 63,5    |
| 10/04/2016 | 87,97                  | 58,6                    | 24,2                | 13,14     | 66      |
| 11/04/2016 | 87,85                  | 60,8                    | 26,2                | 19,77     | 65,1    |
| 12/04/2016 | 88                     | 58,8                    | 24,7                | 13,03     | 64,6    |
| 13/04/2016 | 88                     | 59                      | 24,1                | 13,47     | 66,9    |

Tableau 7 : Indicateurs process 2 du broyeur cru

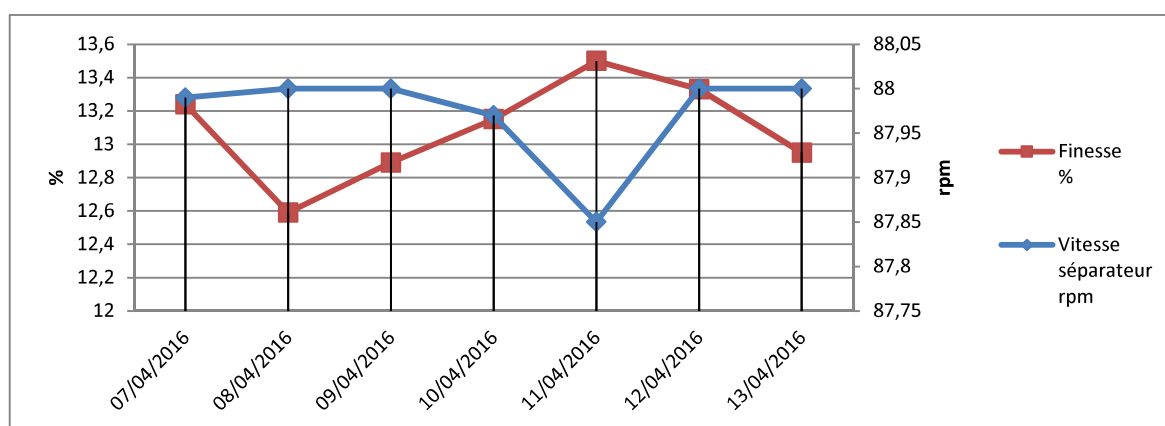


Figure 17 : L'influence de la vitesse de séparateur sur la finesse

D'après la figure 17, la vitesse de séparation et la finesse varient d'une façon inversement proportionnelle ainsi les valeurs étudiées durant la semaine restent dans les targets définis par les opérateurs.

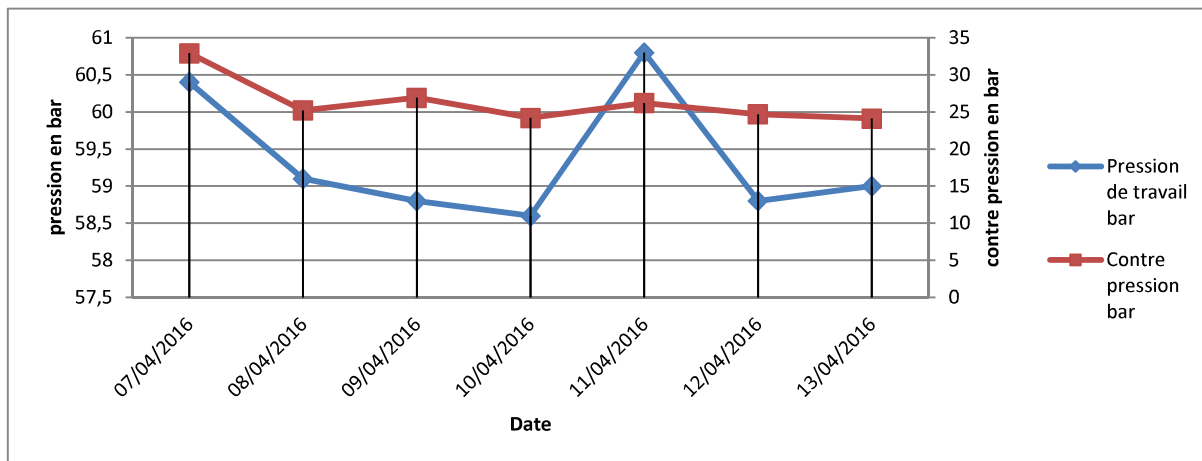


Figure 18 : La relation entre la pression et la contre pression

On observe que lorsque la pression de travail augmente, la contre pression augmente aussi et c tout à fait normal pour garder la table sécurisée.

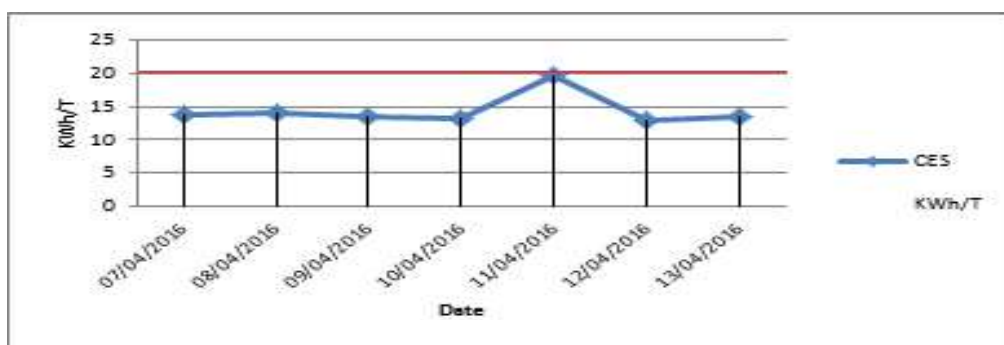


Figure 19 : Le suivi hebdomadaire de la CES du broyeur cru

D’après la figure 19, la CES reste dans la fourchette déterminée sauf un dépassement le jour 11.

## 2. Broyeur Ciment :

### 2.1. Indicateurs maintenance :

Le tableau -8- représente la moyenne et l’objectif de chaque indicateur de maintenance du mois avril.

| Indicateurs | Disponibilité | MTTR | MTBF |
|-------------|---------------|------|------|
| Moyenne     | 99,4          | 0,36 | 60   |
| Objectif    | 95            | 0,2  | 140  |

Tableau 8 : Indicateurs maintenance du broyeur ciment



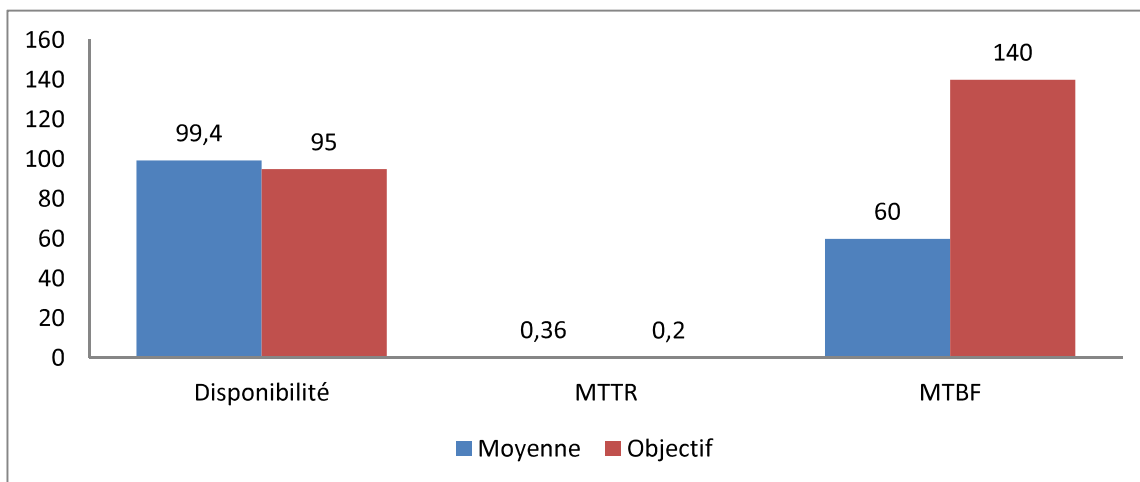


Figure 20 : Le suivi hebdomadaire des indicateurs maintenance du broyeur ciment

D’après a figure 20, nous constatons que pour la disponibilité on a pu atteindre l’objectif par contre pour la MTTR et la MTBF, l’objectif n’est pas atteint.

**2.2. Indicateurs qualité :**

Le tableau -9- représente les indicateurs qualité pour le suivi du broyeur ciment :

| Dates      | INDICATEURS QUALITE |       |
|------------|---------------------|-------|
|            | Finesse %           | SO3 % |
| 01/04/2016 | 9,4                 | 2,91  |
| 02/04/2016 | 8                   | 2,86  |
| 03/04/2016 | 9,72                | 2,92  |
| 04/04/2016 | 5,35                | 3,13  |
| 05/04/2016 | 8,23                | 2,99  |
| 06/04/2016 | 5,63                | 2,9   |
| 07/04/2016 | 10,52               | 2,89  |

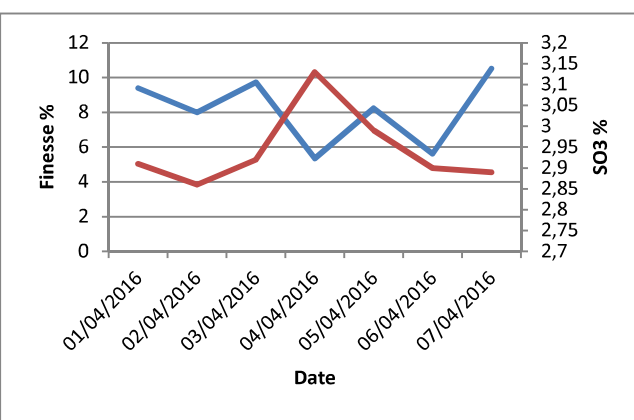


Tableau 9 : Indicateurs qualité du broyeur ciment

Figure 21 : influence de la finesse du ciment sur la résistance du ciment.

D’après la figure 21, on remarque que lors de la diminution de la finesse, la résistance du ciment augmente (soufre) et vice-versa. Nous constatons aussi que durant la semaine les deux paramètres continuent dans les fourchettes établis par le laboratoire.

**2.3. Paramètres process :**

Les deux broyeurs comme nous avons déjà cité dans la partie de recensement des indicateurs ont les mêmes paramètres process sauf la CCS dans le broyeur ciment et la différence des

ventilateurs, l’installation du broyeur ciment est équipée d’un ventilateur final au lieu du ventilateur relais dont la puissance et le débit son représenté dans le tableau -10-:

| Dates      | PARAMETRE VENTILATEUR    |                                 |          |
|------------|--------------------------|---------------------------------|----------|
|            | Puissance ventilateur KW | Débit v-final m <sup>3</sup> /s | CCS MJ/T |
| 01/04/2016 | 526,33                   | 357808,37                       | 132,02   |
| 02/04/2016 | 608,4                    | 353516,29                       | 317,51   |
| 03/04/2016 | 659,71                   | 336263,52                       | 159,57   |
| 04/04/2016 | 277,44                   | 341735,57                       | 254,92   |
| 05/04/2016 | 369,22                   | 348620,73                       | 167,52   |
| 06/04/2016 | 738,97                   | 354729,79                       | 162,33   |
| 07/04/2016 | 417,17                   | 339150,6                        | 139,69   |

Tableau 10 : Indicateurs process du broyeur ciment

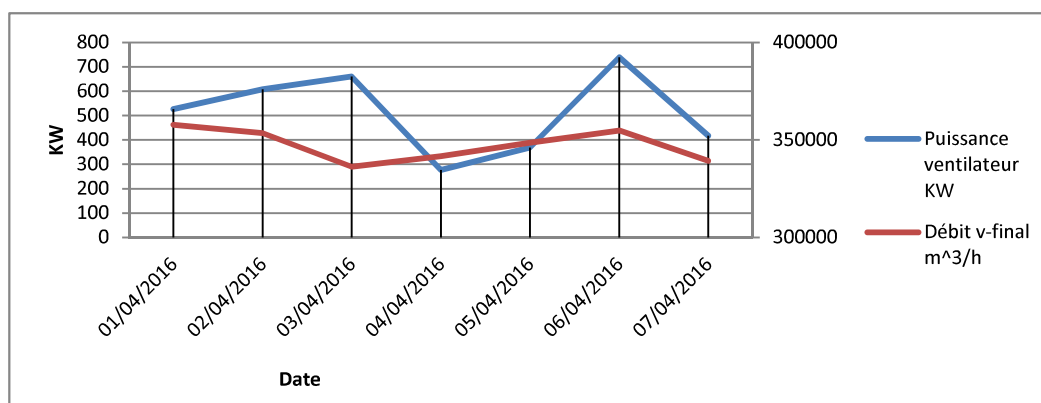


Figure 22 : Le suivi hebdomadaire du ventilateur final

D’après la figure 22, on constate que l’augmentation de la puissance du ventilateur implique une augmentation du débit, ainsi que les valeurs visualisées restent aussi dans la fourchette établis.

## Conclusion

Notre projet s'est intéressé à la mesure de la performance de l'atelier de broyage au sein de l'usine par un tableau de bord qui renseigne sur l'atteinte des objectifs stratégiques de l'entreprise à l'aide des indicateurs pertinents. Ceci se traduit sous forme d'une méthodologie qui s'articule autour de quatre grandes phases suivantes :

Dans un premier temps nous avons étudié le fonctionnement du broyeur afin d'identifier les indicateurs nécessaires pour le pilotage des deux broyeurs dans la deuxième phase. La troisième phase est consacrée pour l'identification des fourchettes de chaque paramètre pour symboliser les résultats finaux dans un tableau de bord achevé avec des visualisations graphiques dans la quatrième phase.

Malgré la complexité de cette mission l'ultime confidentialité des données indispensables à la réalisation de ce projet. Nous avons abouti à:

- Identifier les différents indicateurs maintenance, qualité et process pour chaque machine ;
- représenter l'ensemble des indicateurs dans un tableau avec leurs cibles ;
- exprimer les résultats sous forme de graphe pour une visualisation rapide du problème ;
- résoudre le problème repérer au niveau du calcul de débit du broyeur cru en énoncer une formule pour un calcul exact de ce dernier.

Finalement, nous disons que la période de stage est une occasion importante pour découvrir le monde de l'entreprise, le milieu industriel et connaître la vie professionnelle.

## Bibliographie

- **Tableau de bord de gestion et indicateurs de performance, Pierre VOYER, 2ème Editions Presses de l'Université du Québec, 2006.**
- **L'essentiel du tableau de bord, Alain FERNANDEZ, Éditions d'Organisation Groupe Eyrolles, 2005.**
- **Le management de la performance, Pierre-Laurent BESCORS et Carla MENDOZA, Edition Broché, 1994.**
- **Thèse de doctorat (Pilotage de la performance par la conception des tableaux de bord.**
- **Cours de la gestion de maintenance du Mr CHAFI Anas.**

## Annexes

| Date       | Equipement      | Code HAC | Causes d'arrêts      | Durée | Fréq. |
|------------|-----------------|----------|----------------------|-------|-------|
| 2-avr.-16  | Elévateur ajout | 564EG1   | relais choc          | 0,1   | 1     |
| 4-avr.-16  | Chaîne refus    | 564TS1   | surcharge            | 0,04  | 1     |
| 5-avr.-16  | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,15  | 1     |
| 5-avr.-16  | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,13  | 1     |
| 6-avr.-16  | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,02  | 1     |
| 7-avr.-16  | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 1,15  | 1     |
| 9-avr.-16  | Elévateur       | 59AEG1   | bouillage            | 0,05  | 1     |
| 9-avr.-16  | Elévateur       | 59AEG1   | bouillage            | 0,07  | 1     |
| 10-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,08  | 1     |
| 10-avr.-16 | Master groupe   |          | erreur               | 0,1   | 1     |
| 11-avr.-16 | Elévateur       | 59AEG2   | bouillage            | 0,06  | 1     |
| 11-avr.-16 | Elévateur       | 59AEG2   | déport de bande      | 0,14  | 1     |
| 13-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,15  | 1     |
| 14-avr.-16 | Elévateur       | 59AEG1   | bouillage            | 0,08  | 1     |
| 14-avr.-16 | Elévateur       | 59AEG1   | contrôle de rotation | 0,55  | 1     |
| 15-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,05  | 1     |
| 17-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,3   | 1     |
| 17-avr.-16 | Séparateur      | 564SR1   | microcoupure         | 0,24  | 1     |
| 21-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,04  | 1     |
| 23-avr.-16 | Redler          | 594TS1   | disponibilité        | 0,4   | 1     |
| 24-avr.-16 | Moteur          | 564EP1   | vibration            | 0,12  | 1     |

Annexe 1 : Tableaux des arrêts du broyeur ciment :

| Broyeur Ciment      |                             |              |         |        |
|---------------------|-----------------------------|--------------|---------|--------|
| INDICATEURS         |                             |              | TARGETS |        |
|                     |                             |              | MIN     | MAX    |
| Indicateurs qualité | CPJ35                       | SO3          | 2,7     | 3      |
|                     |                             | Finesse 40µm | 12      | 16     |
|                     | CPJ45                       | So3          | 2,7     | 3      |
|                     |                             | Finesse      | <10%    |        |
|                     | CPJ 55                      | SO3          | 2,7     | 3      |
|                     |                             | Finesse      | <4%     |        |
| Indicateurs process | Débit broyeur               |              | 0       | 145    |
|                     | Débit A. Fraîche            |              | 0       | 145    |
|                     | Balance intégratrice        |              | 0       | 150    |
|                     | Puissance moteur            |              | 0       | 3000   |
|                     | Puissance ventilateur final |              | 0       | 1300   |
|                     | Débit ventilateur final     |              | 0       | 450000 |
|                     | Puissance élévateur refus   |              | 0       | 18,5   |
|                     | Puissance élévateur final   |              | 0       | 55     |
|                     | Vitesse séparateur          |              | 0       | 175    |
|                     | Température sortie broyeur  |              | 0       | 100    |
|                     | Pression de travail         |              | 0       | 68     |
|                     | Contre pression             |              | 9       | 11     |
|                     | CES                         |              | 0       | 29,5   |
|                     | CCS                         |              | 0       | 140    |
| Δp                  |                             | 0            | 45      |        |

| Broyeur Cru         |                              |         |      |        |
|---------------------|------------------------------|---------|------|--------|
| INDICATEURS         |                              | TARGETS |      |        |
|                     |                              | MIN     | MAX  |        |
| Indicateurs qualité | LSF                          | 100     | 101  |        |
|                     | MS                           | 2,45    | 2,55 |        |
|                     | MAF                          | 1,9     | 1,95 |        |
|                     | Finesse                      | 12      | 14   |        |
| Indicateurs process | Débit broyeur                |         | 0    | 320    |
|                     | Débit A. Fraîche             |         | 0    | 381    |
|                     | Balance intégratrice         |         | 0    | 400    |
|                     | Puissance moteur             |         | 0    | 2700   |
|                     | Puissance ventilateur relais |         | 0    | 2700   |
|                     | Débit ventilateur relais     |         | 0    | 600000 |
|                     | puissance élévateur refus    |         | 0    | 60     |
|                     | puissance élévateur final    |         | 0    | 140    |
|                     | Vitesse séparateur           |         | 0    | 112    |
|                     | Température sortie broyeur   |         | 0    | 150    |
|                     | Pression de travail          |         | 55   | 70     |
|                     | Contre pression              |         | 18   | 25     |
|                     | CES                          |         | 0    | 20     |
|                     | Δp                           |         | 60   | 70     |

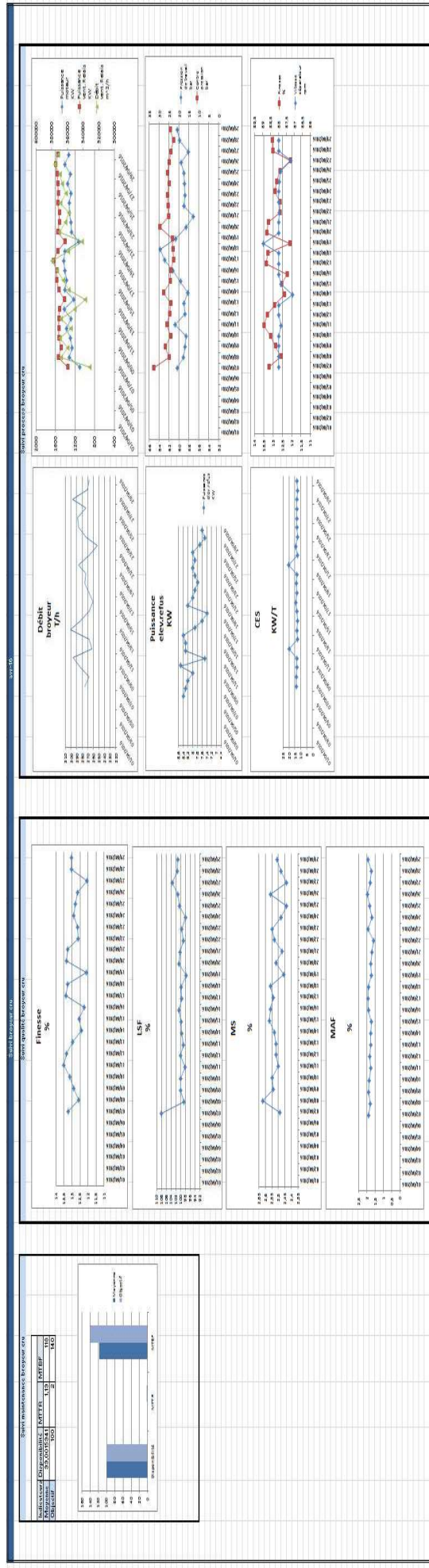
Annexe 2 : Tableaux des cibles du broyeur cru et ciment

Les tableaux de bord finals :

1. Tableau du broyeur cru :

| DATES      | INDICATEURS QUALITE |         |          |         | INDICATEURS MAINTENANCE |      |      |               | INDICATEURS PROCESS |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     | sur-IB            |      |      |  |
|------------|---------------------|---------|----------|---------|-------------------------|------|------|---------------|---------------------|----------------------|------------------|------------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------|------|------|--|
|            | LSF                 | MS      | MAF      | Finesse | Disponibilité           | MTTR | MTBF | Débit broyeur | Débit A. Fraiche    | Balance intégratrice | Puissance moteur | Puissance vent. Belais | Débit vent. Belais | Débit élév.refus | Débit élév.final | Vitesse séparateur | Température sortie bro | Pression de travail | Capacité pression | CEES | up   |  |
|            | %                   | %       | %        | %       | %                       | h    | h    | T/h           | T/h                 | T/h                  | KW               | KW                     | m³/h               | KW               | KW               | rpm                | °C                     | bar                 | bar               | KW/T | mbar |  |
| 07/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 08/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 09/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 10/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 11/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 12/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 13/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 14/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 15/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 16/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 17/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 18/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 19/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 20/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 21/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 22/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 23/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 24/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 25/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 26/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 27/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 28/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 29/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| 30/04/2018 |                     |         |          |         |                         |      |      |               |                     |                      |                  |                        |                    |                  |                  |                    |                        |                     |                   |      |      |  |
| MOYENNE    | 100,0889            | 2,51913 | 1,017826 | 12,67   | 99,0059409              | 1,19 | 118  | 276,1261      | 271,6476261         | 1321,4087            | 1533,26087       | 561995,53              | 7,369564222        | 87,3406836       | 76,6173913       | 59,62696636        | 25,41739               | 13,39093            | 85,2087           | 0    | 60   |  |
| TARGETS    | 98                  | 2,45    | 1,7      | 12      |                         |      | 320  | 381           | 400                 | 2700                 | 2700             | 600000                 | 60                 | 140              | 112              | 150                | 70                     | 25                  | 20                | 70   |      |  |

| Recherche                     |             |
|-------------------------------|-------------|
| JOUEZ                         | 07/04/2018  |
| MS                            | 2,53        |
| MAF                           | 1,63        |
| Finesse                       | 13,24       |
| Débit broyeur                 | 276,1261    |
| Balance intégratrice          | 271,6476261 |
| Puissance moteur              | 1533,26087  |
| puissance ventilateur refait  | 1003,3      |
| puissance ventilateur relatif | 1589        |
| puissance élév.refus          | 53768,92    |
| Puissance élév.final          | 80          |
| vitesse séparateur            | 87,39       |
| Température sortie broyeur    | 76,6173913  |
| Pression de travail           | 25,41739    |
| CEES                          | 13,12       |
| up                            | 59,8        |

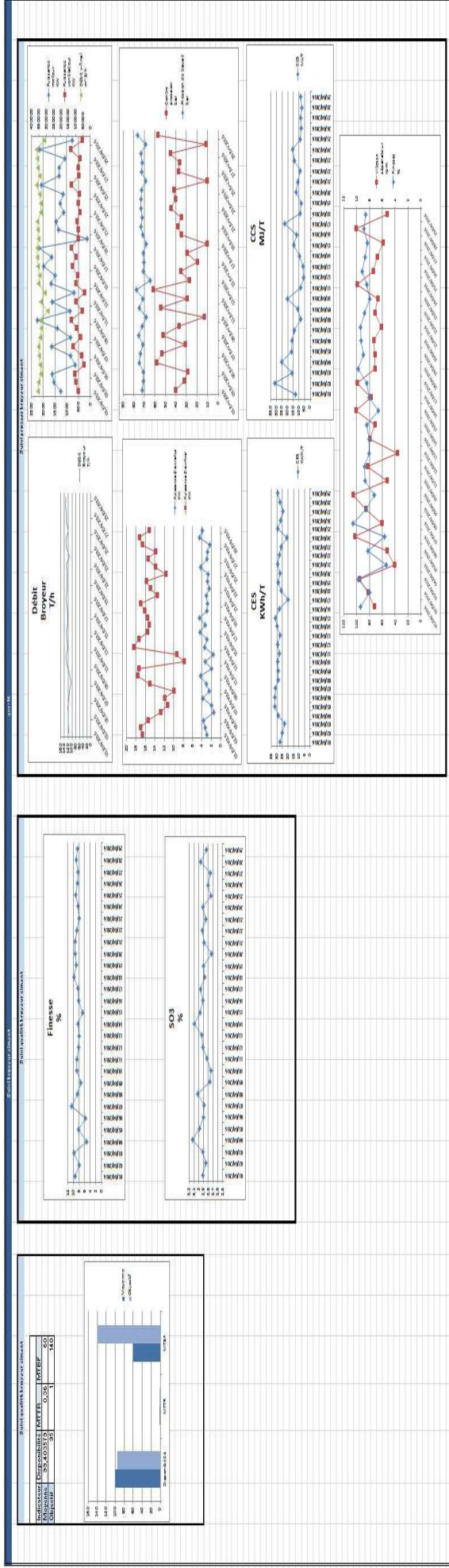


Annexe 3 - Le tableau de bord du broyeur cru



2. Tableau du broyeur ciment (CPJ 45) :

| Dates      | INDICATEURS QUALITE |             |                 |       | INDICATEURS MAINTENANCE |                   |                   |                          | INDICATEURS PROCESS |                          |                                  |                         |                         |                        |                               |                         |                     |           | CPJ 45    |            | avr-16     |
|------------|---------------------|-------------|-----------------|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|-----------|------------|------------|
|            | Finesse %           | SO3 %       | Disponibilité % | MTR h | MTBF h                  | Débit broyeur T/h | Débit fraîche T/h | Balance intégratrice T/h | Puissance moteur kW | Puissance ventilateur kW | Débit v. final m <sup>3</sup> /h | Puissance Elev-refus kW | Puissance Elev-final kW | Vitesse séparateur tpm | Température sortie broyeur °C | Pression de travail bar | Contre pression bar | CES kWh/T | CES MJ/T  | AP mbar    |            |
| 01/04/2016 | 9,4                 | 2,91        | 116,51          | 0     | 0                       | 116,51            | 0                 | 0                        | 1543,9              | 526,33                   | 587009,37                        | 2,91                    | 16,57                   | 72,66                  | 46,17                         | 40,24                   | 27,62               | 132,02    | 29,93     | 01/04/2016 |            |
| 02/04/2016 | 9,7                 | 2,95        | 112,83          | 0     | 0                       | 112,83            | 0                 | 0                        | 1528,9              | 526,33                   | 582985,82                        | 3,23                    | 16,48                   | 42,02                  | 46,17                         | 40,24                   | 27,62               | 132,02    | 29,93     | 02/04/2016 |            |
| 03/04/2016 | 9,7                 | 2,95        | 112,83          | 0     | 0                       | 112,83            | 0                 | 0                        | 1528,9              | 526,33                   | 582985,82                        | 3,23                    | 16,48                   | 42,02                  | 46,17                         | 40,24                   | 27,62               | 132,02    | 29,93     | 03/04/2016 |            |
| 04/04/2016 | 9,5                 | 3,12        | 122,97          | 0     | 0                       | 122,97            | 0                 | 0                        | 627,08              | 277,44                   | 341739,62                        | 1,46                    | 12,88                   | 40,88                  | 74,63                         | 53,63                   | 23,89               | 284,62    | 14,28     | 04/04/2016 |            |
| 05/04/2016 | 8,23                | 2,99        | 116,24          | 0     | 0                       | 116,24            | 0                 | 0                        | 838,76              | 383,22                   | 348620,73                        | 2,02                    | 17,29                   | 37,89                  | 73,76                         | 53,63                   | 23,89               | 284,62    | 20,3      | 05/04/2016 |            |
| 06/04/2016 | 8,53                | 2,9         | 118,84          | 0     | 0                       | 118,84            | 0                 | 0                        | 1635,79             | 738,97                   | 394729,79                        | 3,75                    | 18,84                   | 103,12                 | 47,79                         | 31,26                   | 31,75               | 152,33    | 32,83     | 06/04/2016 |            |
| 07/04/2016 | 8,53                | 2,9         | 118,84          | 0     | 0                       | 118,84            | 0                 | 0                        | 1635,79             | 738,97                   | 394729,79                        | 3,75                    | 18,84                   | 103,12                 | 47,79                         | 31,26                   | 31,75               | 152,33    | 32,83     | 07/04/2016 |            |
| 08/04/2016 | 8,62                | 3,02        | 116,85          | 0     | 0                       | 116,85            | 0                 | 0                        | 1582,43             | 588,11                   | 334697,84                        | 3,05                    | 15,07                   | 85,71                  | 55,32                         | 72,17                   | 37,49               | 23,85     | 57,38     | 26,3       | 08/04/2016 |
| 09/04/2016 | 7,27                | 2,77        | 126,58          | 0     | 0                       | 126,58            | 0                 | 0                        | 2262,7              | 809,94                   | 338896,46                        | 4,32                    | 17,67                   | 106,53                 | 70,64                         | 68,34                   | 13,87               | 29        | 102,41    | 37,83      | 09/04/2016 |
| 10/04/2016 | 8,7                 | 2,75        | 133,09          | 0     | 0                       | 133,09            | 0                 | 0                        | 892,85              | 344,08                   | 398833,08                        | 2,03                    | 17,59                   | 82,71                  | 74,61                         | 54,76                   | 23,48               | 203,74    | 17,09     | 10/04/2016 |            |
| 11/04/2016 | 8,7                 | 2,75        | 133,09          | 0     | 0                       | 133,09            | 0                 | 0                        | 892,85              | 344,08                   | 398833,08                        | 2,03                    | 17,59                   | 82,71                  | 74,61                         | 54,76                   | 23,48               | 203,74    | 17,09     | 11/04/2016 |            |
| 12/04/2016 | 8,03                | 2,94        | 124,88          | 0     | 0                       | 124,88            | 0                 | 0                        | 1657,97             | 248,33                   | 330321,93                        | 1,56                    | 9,38                    | 58,94                  | 30,14                         | 27,36                   | 41,86               | 24,97     | 58,99     | 12,77      | 12/04/2016 |
| 13/04/2016 | 8,03                | 2,94        | 124,88          | 0     | 0                       | 124,88            | 0                 | 0                        | 1657,97             | 248,33                   | 330321,93                        | 1,56                    | 9,38                    | 58,94                  | 30,14                         | 27,36                   | 41,86               | 24,97     | 58,99     | 12,77      | 13/04/2016 |
| 14/04/2016 | 6,43                | 2,97        | 124,19          | 0     | 0                       | 124,19            | 0                 | 0                        | 1496,06             | 540,09                   | 946899,45                        | 2,32                    | 17,49                   | 72,03                  | 58,12                         | 70,77                   | 35,42               | 30,02     | 93,17     | 26,09      | 14/04/2016 |
| 15/04/2016 | 6,58                | 2,97        | 123,43          | 0     | 0                       | 123,43            | 0                 | 0                        | 1930,37             | 780,38                   | 354790,11                        | 4,43                    | 19,81                   | 101,05                 | 68,78                         | 70,37                   | 20,07               | 31,38     | 146,74    | 37,06      | 15/04/2016 |
| 16/04/2016 | 6,58                | 2,97        | 123,43          | 0     | 0                       | 123,43            | 0                 | 0                        | 1930,37             | 780,38                   | 354790,11                        | 4,43                    | 19,81                   | 101,05                 | 68,78                         | 70,37                   | 20,07               | 31,38     | 146,74    | 37,06      | 16/04/2016 |
| 17/04/2016 | 6,43                | 2,98        | 130,95          | 0     | 0                       | 130,95            | 0                 | 0                        | 2172,45             | 809,01                   | 361748,37                        | 4,58                    | 16,23                   | 99,56                  | 67,89                         | 63,36                   | 10,81               | 19,94     | 226,06    | 37,24      | 17/04/2016 |
| 18/04/2016 | 9,72                | 2,88        | 126,28          | 0     | 0                       | 126,28            | 0                 | 0                        | 138,45              | 528,01                   | 362460,75                        | 2,91                    | 16,23                   | 71,76                  | 71,73                         | 35,31                   | 26,16               | 91,82     | 23,16     | 18/04/2016 |            |
| 19/04/2016 | 8,93                | 2,9         | 126,28          | 0     | 0                       | 126,28            | 0                 | 0                        | 138,45              | 528,01                   | 362460,75                        | 2,91                    | 16,23                   | 71,76                  | 71,73                         | 35,31                   | 26,16               | 91,82     | 23,16     | 19/04/2016 |            |
| 20/04/2016 | 8,93                | 2,9         | 126,28          | 0     | 0                       | 126,28            | 0                 | 0                        | 138,45              | 528,01                   | 362460,75                        | 2,91                    | 16,23                   | 71,76                  | 71,73                         | 35,31                   | 26,16               | 91,82     | 23,16     | 20/04/2016 |            |
| 21/04/2016 | 8,36                | 2,83        | 127,82          | 0     | 0                       | 127,82            | 0                 | 0                        | 1533,04             | 433,99                   | 337408,68                        | 2,26                    | 15,02                   | 61,76                  | 60,06                         | 44,81                   | 24,48               | 101,82    | 20,06     | 21/04/2016 |            |
| 22/04/2016 | 8,81                | 2,93        | 141,12          | 0     | 0                       | 141,12            | 0                 | 0                        | 1258,03             | 511,3                    | 338182,89                        | 2,88                    | 15,88                   | 71,8                   | 54,93                         | 72,26                   | 40,26               | 88,53     | 22,47     | 22/04/2016 |            |
| 23/04/2016 | 8,01                | 2,88        | 128,84          | 0     | 0                       | 128,84            | 0                 | 0                        | 187,07              | 484,28                   | 344178,78                        | 2,7                     | 11,73                   | 67,42                  | 57,07                         | 72,64                   | 41,88               | 26,24     | 138,14    | 22,71      | 23/04/2016 |
| 24/04/2016 | 8,37                | 2,92        | 132,49          | 0     | 0                       | 132,49            | 0                 | 0                        | 808,05              | 369,96                   | 369963,39                        | 4,3                     | 15,83                   | 99,41                  | 75,98                         | 68,05                   | 10,57               | 194,35    | 38,39     | 24/04/2016 |            |
| 25/04/2016 | 8,55                | 2,8         | 129,54          | 0     | 0                       | 129,54            | 0                 | 0                        | 1537,8              | 532,95                   | 368660,57                        | 2,85                    | 15,3                    | 68,43                  | 57,82                         | 71,79                   | 38,77               | 28,85     | 79,58     | 26,26      | 25/04/2016 |
| 26/04/2016 | 8,89                | 2,76        | 130,21          | 0     | 0                       | 130,21            | 0                 | 0                        | 1076,51             | 480,95                   | 360650,29                        | 2,4                     | 16,68                   | 89,1                   | 60,46                         | 73,04                   | 24,83               | 84,62     | 22,08     | 26/04/2016 |            |
| 27/04/2016 | 8,89                | 2,96        | 134,1           | 0     | 0                       | 134,1             | 0                 | 0                        | 2160,83             | 833,23                   | 364802,67                        | 4,5                     | 17,36                   | 101,43                 | 70,36                         | 68,78                   | 11,47               | 27,46     | 75,05     | 38,97      | 27/04/2016 |
| 28/04/2016 | 8,83                | 2,88        | 98,40357893     | 0,38  | 60                      | 120,9             | 0                 | 0                        | 72,82               | 342,08                   | 342723,1                         | 3,3                     | 15,22                   | 52,79                  | 44,86                         | 76,32                   | 57,32               | 25,38     | 25,43     | 15,35      | 28/04/2016 |
| Moyenne    | 8,406278862         | 2,898862069 | 98,40357893     | 0,38  | 60                      | 123,8695172       | 0                 | 0                        | 1266,493903         | 695,1482769              | 348229,3953                      | 3,18107244              | 14,7276821              | 74,93968207            | 54,26448276                   | 71,8903448              | 36,3184379          | 27,962789 | 128,96724 | 28,87831   |            |
| TARGETS    | 0                   | 2,7         | 145             | 0     | 0                       | 145               | 0                 | 0                        | 0                   | 0                        | 450000                           | 185                     | 55                      | 175                    | 100                           | 75                      | 40                  | 245       | 140       | 45         |            |



Annexe 4 : Le tableau de bord du broyeur ciment (CPJ 45)