

Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

IMANI Meryem

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Ingénierie de la solution IP-RAN
ALCATEL –Lucent pour
Maroc Télécom**

Encadré par :

- Pr F. ABDI
- Pr M. LAHBABI
- Mr EL MAJIDI Abdelghani (ALCATEL-Lucent)

Soutenu le **Vendredi 1 Juillet 2011, devant le jury composé de :**

- | | |
|------------------|-------------|
| • Pr M. LAHBABI | : Encadrant |
| • Pr F. ABDI | : Encadrant |
| • Pr M. ABARKANE | : Examineur |
| • Pr F. MRABTI | : Examineur |
| • Pr K.ZENKOUAR | : Examineur |
| • Pr H.QJIDAA | : Examineur |



Stage effectué à : ALCATEL-Lucent MAROC

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état

Nom et prénom: IMANI Meryem

Année Universitaire : 2010/2011

Titre: Ingénierie de la solution IP-RAN Alcatel –Lucent pour son client Maroc Télécom

Résumé

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre de la conception et du déploiement de la solution IP-RAN Alcatel-Lucent pour le Réseau Maroc Telecom.

Le projet consiste à effectuer l'étude complète du besoin de Backhauling de Maroc Télécom suivie de l'implémentation d'une solution qui permettra d'améliorer les réseaux d'accès actuels 2G et 3G, et à les préparer pour la migration vers les réseaux d'avenir 4G. Cette solution devra pouvoir combler les défaillances des réseaux actuels, augmentant ainsi la bande passante, tout en réduisant les coûts de l'OPEX et améliorant la qualité de service.

La conception et l'implémentation de la dite solution seront suivies de tests d'interopérabilité pour valider le fonctionnement de l'architecture proposée.

Abstract

This graduation project is part of the design and deployment of Alcatel-Lucent IP-RAN solution for Maroc Telecom.

The project's goal is to conduct a comprehensive study of the need of Maroc-Telecom backhaul, followed by implementing a solution that will improve current 2G and 3G access networks, and prepare for migration to future 4G networks. This solution should be able to overcome the shortcomings of current networks: increasing bandwidth, while reducing the OPEX costs and improving quality of service.

The design and the implementation of the said solution will be followed by interoperability testing to validate the running of the proposed architecture

Mots clés: Backhauling, RAN, IP-RAN, MPLS, QoS, IOT,

SOMMAIRE

Introduction

..... 3



Chapitre 1 : Généralité sur la société d'accueil

.....	4
A. Présentation du secteur cimentier au MAROC	5
1. Introduction	5
2. Usine de Méknes	7
2.1 Fiche signalétique	7
2.2 Historique	8
2.3 Organigramme de la société LAFARGE	10
2.4 Services de l'usine	11
a. Service sécurité	11
b. Service carrière	12
c. Service fabrication	12
d. Service électrique et régulation	12
e. Service commercial	13
f. Magasin général	13
g. Direction financière	13
h. Direction administrative	13
i. Service contrôle de qualité	14
j. Service procédé	14
B. Production du ciment	15
1. Introduction	15
2. Procédé de fabrication du ciment	16
2.1 Matières premières et préparation du cru	16
2.1.1 Extraction des matières premières	16
2.1.2 Concassage	18
2.1.3 Préparation du cru	19
2.1.4 Homogénéisation	21
2.1.5 Obtention du clinker	21
a. Cuisson du cru	21
b. Refroidissement du clinker	22
c. Composition du clinker	23
2.1.6 Broyage et transport	24
a. Broyage	24
b. Transport et expédition	24

Chapitre 2 : Généralité sur les combustibles utilisés par LAFARGE

.....	25
1. Introduction	26
2. Les pneus déchiquetés	27
3. Les grignons d'olive	27
4. Les déchets	29



5. Le fuel	29
6. Le charbon	30
7. Le Coke de pétrole	31

Chapitre 3 : Etude technique de l'atelier broyage

.....	34
1. Introduction	35
2. Broyeur	36
2.1 principe du fonctionnement des broyeurs à galets	38
3. Séparateur	38
3.1 Séparateur statique	39
3.2 Séparateur dynamique	39
4. Ventilateur	40
5. Le filtre à manche	40

Chapitre 4 : Etude de projet

.....	42
A. Introduction	43
B. Rappel de l'Objectif du projet 'Optimisation de la finesse du coke'	44
C. Description du problème	46
D. Enchaînement logique du projet	47
1. Prélèvement du coke	47
a. Opération de prélèvement	47
b. Fréquence du prélèvement du coke	48
c. Analyse GRANULOMETRIQUE et d'HUMIDITE	48
2. Informatisation des données (base de données du produit)	51
3. Les échantillons des données de la finesse	53
4. Représentation des graphes de fonctions	54
5. Tableau comparatif des valeurs moyennes	59
E. Le diagramme causes à effet ou diagramme d'ISHIKAWA	60
1. Définition	60
2. Représentation	61
3. Construction du diagramme	61
4. Application	d'ISHIKAWA
.....	63
F. Visite profonde à l'atelier broyage et bilan aéraulique	63
1. Visite de l'atelier broyage	63
1.1. Consignation et procédure d'intervention	63
1.2. Problèmes constatés	65
1.3. Les leviers d'actions	67
2. Bilan aéraulique	67
2.1. Objectif du bilan aéraulique	67
2.2. Tableau comparatif des capteurs procès	68



2.3.	Les airs faux de l'atelier	69
2.4.	Détection des airs faux	70
2.5.	Les Leviers d'actions	71

Conclusion

.....
..... 73

Liste des tableaux

..... 74

Liste des figures

..... 75

Annexe

.....
78

Webliographie

..... 86

Bibliographie

..... 87

DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail à,

- A notre dieu pour sa main puissante qui n'a jamais cessé de nous accompagner dans notre vie.
- Nos très chers parents. Rien ne serait exprimé l'amour, le respect et l'estime que nous portons pour vous. Nos reconnaissances pour vos sacrifices et vos dévouements qui ont été pour nous des encouragements constants ; que dieu vous comble de santé, prospérité et vous garde longtemps pour que nous puissions vous combler à notre tour.
- Tous ceux qui ont contribué à réaliser ce modeste travail.
- A l'ensemble des professeurs du département **Génie Industriel** de la **Faculté des Sciences et Technique de Fès**.
- A tous nos camarades de classe.
- Tous ceux qui nous aiment.



Remerciements



Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Nous vous remercions, **Mr L'habib HAMEDI**, notre encadrant qui nous a suivi dans notre expérience de stage de fin d'étude et Merci pour tous les conseils et les consignes qui nous ont beaucoup aidé pour faire de ce stage une expérience professionnelle.

Nous remercions Mr le Directeur de **LAFARGE MKNES** qui nous a fait confiance en nous acceptant comme stagiaires au sein de cette respectueuse société. Nos remerciements s'adressent aussi à notre maître de stage **Mr Nabil TAIBI** qui nous a formé et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie. Nous tenons de même à remercier **Mr BOUCHAMA** pour ses conseils qui nous ont beaucoup aidés à comprendre le concept et le principe du travail.

Enfin, nous remercions l'ensemble des personnes qui veillent sur le développement de cette entreprise pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de cette expérience.

INTRODUCTION

Le secteur cimentier au Maroc a connu un grand développement ces dernières années, ceci grâce à la concurrence entre les quatre groupes qui compose ce secteur au Maroc et à l'amélioration des procédés de fabrication.

Ainsi, **LAFARGE-MAROC**, étant le leader du secteur avec 41% de part du marché, a fait de nombreux changements pour arriver à une capacité de production proche des quatre millions de tonnes.

LAFARGE s'est fixé une stratégie orientée vers son efficacité qui est basée sur le développement de la culture industrielle d'une part et le renforcement de la responsabilité, l'esprit d'équipe et l'amélioration continue d'autre part, conformément à cette dernière et vu sa performance en termes de maîtrise technique, de création de valeur et de capacité de se développer dans le domaine de la cimenterie.



Dans ce contexte l'assurance de la qualité des produits est devenue une réponse déterminante pour la performance de l'entreprise. En effet, la qualité des produits, la disponibilité optimale des équipements ainsi que la maîtrise des procédés de production pour des raisons économiques et de sécurité, sont aujourd'hui une nécessité incontournable et le seront encore plus pour faire face à la compétitivité internationale.

Note stage s'est déroulé au sein du service PROCEDE, dans cette période on a constaté que ce dernier contribue à l'amélioration des performances des ateliers de l'usine au travers d'études, d'analyses et d'essais afin d'optimiser le procédé de fabrication, Ainsi de veiller sur Le respect des normes environnementales, à l'efficacité du fonctionnement du système expert et valide les informations du process.

Dans ce cadre **LAFARGE** nous a confié de faire une étude s'intitulant « l'optimisation de la finesse du coke de pétrole ». Afin d'atteindre les objectifs de notre travail, et mener à bien notre projet de fin d'études. Notre sujet de stage s'est déroulé comme suit :

- La première étape consiste à effectuer un ensemble de sorties aux différentes unités, de suivre certaines interventions et de questionner un certain nombre de chefs de poste et d'ouvriers, afin d'avoir une idée sur les équipements de l'usine.
- la deuxième étape, il nous a été demandé de rassembler toutes les données ayant un facteur d'influence sur la finesse du coke de pétrole dans une base de données, les organiser et les présenter convenablement afin d'établir dans un premier temps un plan d'observation, pour signaler les anomalies et agir sur les causes conduisant vers ces dernières, pour ne pas affecter la production, Et de paramétrer d'une manière rigoureuse le broyeur coke qui assure la finesse de ce dernier.

Chapitre 1

Généralités sur la société d'accueil

A. Présentation du secteur cimentier au MAROC

1. Introduction :

L'industrie des matériaux de construction, dont le ciment constitue la matière de base, détient une place importante dans le secteur des industries de transformation, avec un pourcentage de 8.6% du total des entreprises du secteur industriel marocain et 495 établissements en 1990.



Du point de vue technologique, les spécialistes s'accordent à dire que le Maroc a réussi à développer une industrie du ciment de haut niveau. Le procédé industriel adopté dans la plupart des cimenteries du Royaume est la voie sèche.

Les sociétés du secteur sont contrôlées par quatre groupes : **LAFARGE**, Ciments Français (Italcementi), CIMPOR, et Hölder-bank. La capacité totale du marché excède 9 millions de tonnes et se répartit entre 10 usines couvrant tout le territoire national. Remarquons que le marché du Ciment au Maroc est caractérisé par le poids des frais de transport qui grève les prix. Cependant, la demande de ciment semble inélastique au prix et reste directement liée au développement de l'économie.

<u>CIMENTERIES</u>	<u>CAPACITE</u>
LAFARGE MAROC	3 850 000 t

- Bous Koura	2 000 000 t
- Meknès	1 250 000 t
- Tanger	350 000 t
- Tétouan	250 000 t
CIMAR-ASMAR	2 900 000 t
- Agadir	1 100 000 t
- Safi	600 000 t
- Asmar	1 200 000 t
Holcim	2 000 000 t
- Oujda	1 400 000 t
- Fès	600 000 t
ASMENT (CIMPOR)	630 000 t

Tableau 1 : Capacité de production des différents groupes au MAROC

Le graphique suivant montre la part du marché de chacune de ces sociétés concurrentes :

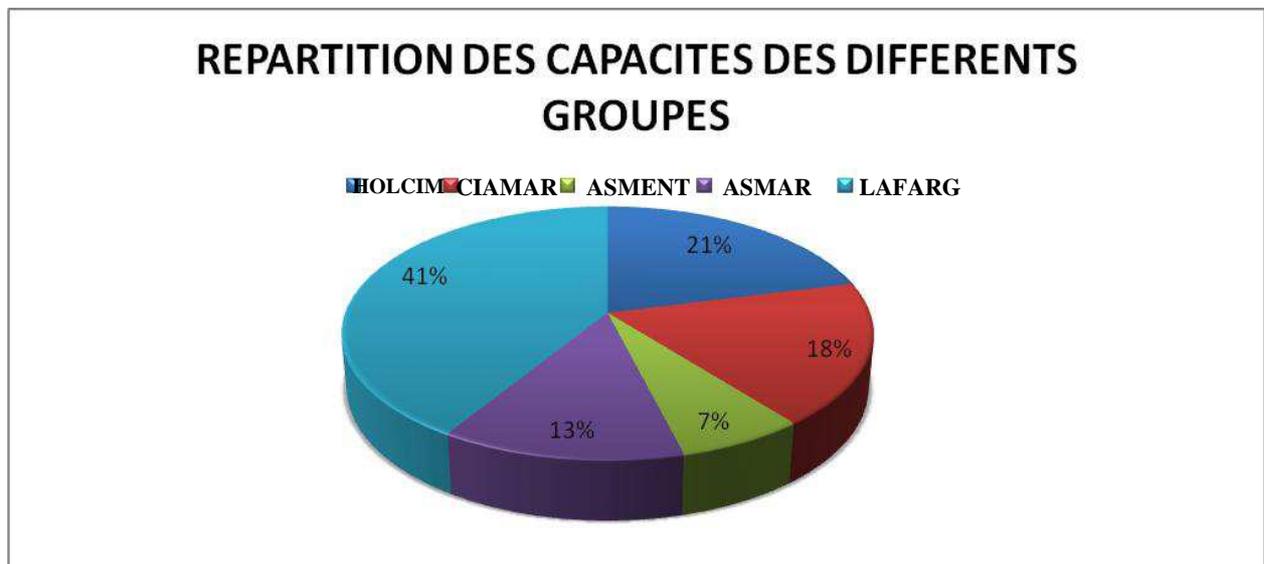


Figure 1 : La répartition des capacités des différents groupes au MAROC

D'après le graphique précédent on remarque que **LAFARGE-Maroc** englobe le secteur avec 41% de part de marché. Il est constitué de quatre usines (Bous Koura, Meknés, Tanger, et Tétouan) pour une capacité de production de 4 millions de tonnes. A travers ces deux usines de Bous Koura et de Meknés, **LAFARGE- MAROC** produit près du tiers de la capacité de production totale du secteur.

2. Usine de Méknes :

2.1 Fiche signalétique :

Dénomination : LAFARGE CEMENTS (Usine de Meknés)





Logo :

Siège social : Km8, route de Fès, BP : 33 Meknès

Standard : 52-26-44/45/46

Fax : direction usine : 54-92-94

Service technique : 54-93-07

Service commercial : 54-93-05

Nature Juridique : Société anonyme.

Capital social : 476 430 000 DH

Répartition du capital : LAFARGE 50%

ONA 50%

Produits fabriqués : - Ciment portland avec ajouts CPJ45 en

Sac et en Vrac.

- Ciment portland avec ajouts CPJ35 en

Sac

- Ciment CPA 55

Effectif du personnel : 331, répartis de la façon suivante :

- Cadres : 19
- Agents de maîtrise supérieurs : 13
- Agents de maîtrise moyens : 14
- Agents de maîtrise simples : 29
- Employés : 23
- Chefs d'équipe : 37
- Ouvriers qualifiés : 119
- Manœuvres : 17

Répartition du capital : LAFARGE – MAROC se présente comme suit :

- LAFARGE 50%

- SNI 50%

Un accord est signé entre les deux sociétés afin de rassembler leurs forces et leurs intérêts, tout en créant une holding appelé **LAFARGE MAROC**.

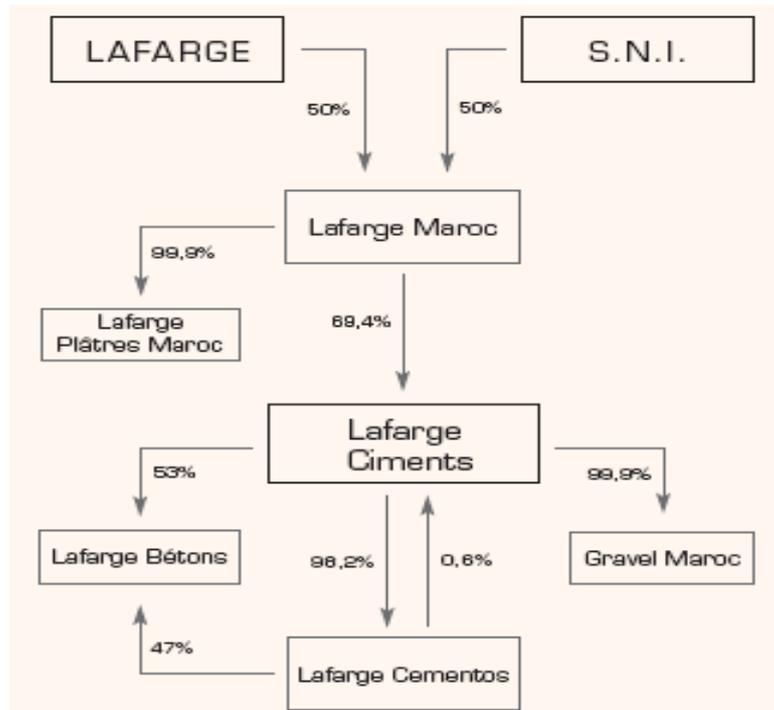


Figure 2 : Répartition du capital de LAFARGE-MAROC

2.2 Historique :

Créée en 1950, la société des ciments artificiels de Meknès représente de nos jours l'une des composantes clés du secteur marocain. Depuis 1997, la **CADEM** est devenue **LAFARGE CEMENTS** et faisait partie du groupe international **LAFARGE**.

Au démarrage de l'usine en 1953, la production de clinker du seul four installé était de 300 tonnes par jour, soit moins de 100 000 tonnes par an.

Depuis, plusieurs améliorations techniques ont été réalisées pour augmenter le niveau et les performances de production :

- Conversion de son procédé de fabrication de la voie humide à la voie sèche en **1985**.
- Substitution du fuel par du combustible solide (charbon et coke de pétrole) dans le but de réduction du coût calorifique.
- Installation d'un nouveau broyeur à ciment BK4 en **1989**.
- Optimisation du four 1 en **1990** (production de 1800 t/j).
- Adjonction d'un deuxième four en **1993** avec un nominal de production de 1200 t/j.
- Montage d'un nouveau filtre à manches en aval du four 1 pour protéger l'environnement en **1998**.
- Montage d'un nouveau filtre à manches en amont du four 1 pour préserver l'environnement en **2001**.
- Mise en service d'un nouvel atelier de broyage BK5 avec une capacité de 100t/j.





2.3 Organigramme de la société LAFARGE :

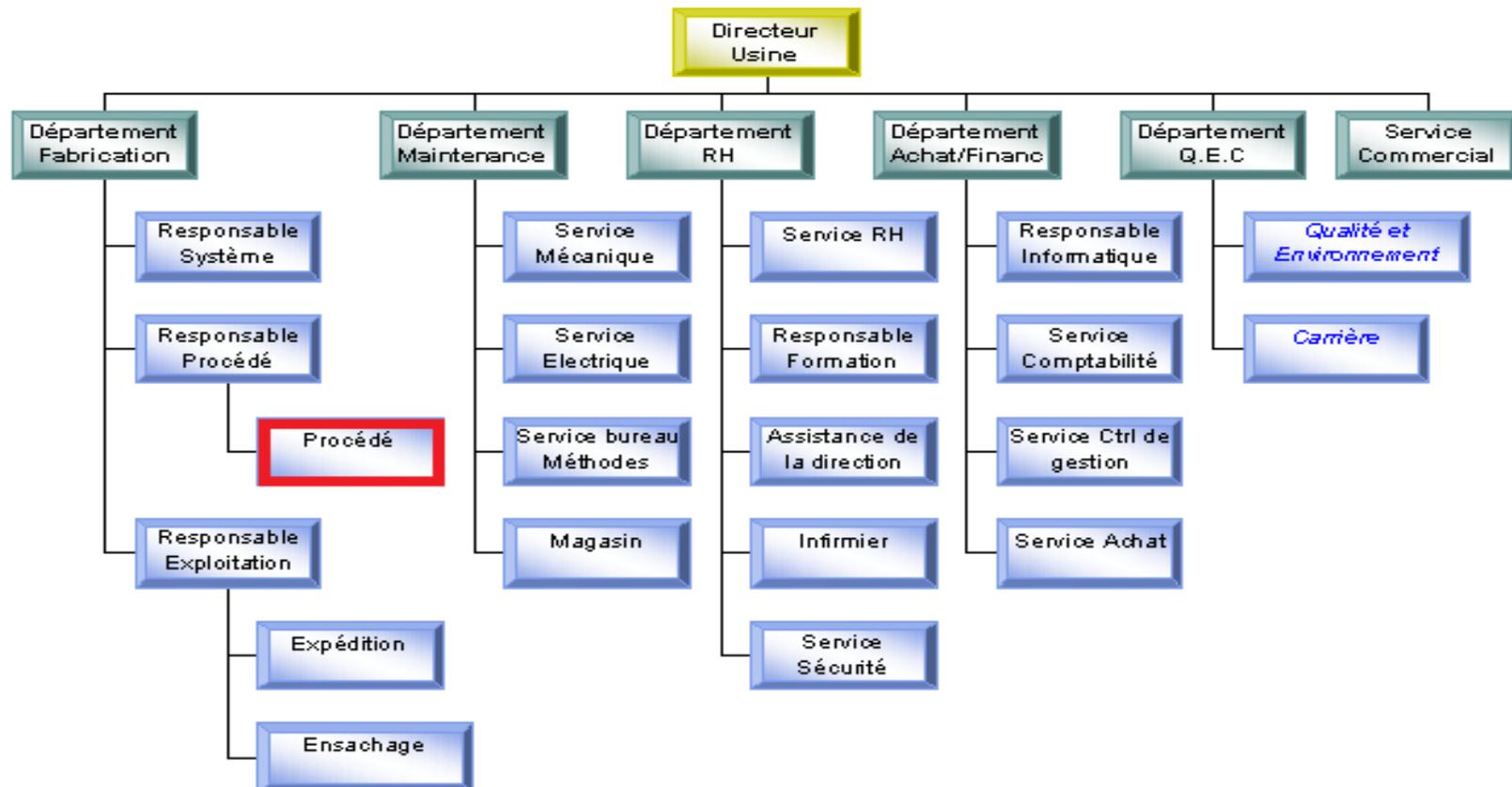


Figure 3 : Organigramme de la société LAFARGE

2.4 Services de l'usine :

En partant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du ciment, ce processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches :

a)- SERVICES SECURITE ET ENVIRONNEMENT :

Politique sécurité de Lafarge MEKNES:

Il faut s'assurer que le personnel porte :

- Vêtements de travail à haute visibilité
- Chaussures de sécurité
- Casques de protection antibruit
- Lunettes de protection
- Masques de soudage
- Accessoires : bouchons d'oreilles, gants, masques respiratoires



« Le Zéro accident est parmi les objectifs prioritaires de performance »

Equipes de cadre

LAFARGE MEKNES

L'aspect sécurité dans l'usine :

➤ Protection individuelle :

« Votre corps est votre bien le plus précieux » principe de la vie

b)- SERVICE CARRIERE :

Il permet l'approvisionnement des matières premières : Calcaire, Argile de la carrière. Celles-ci sont extraites sur un site à 5km de l'usine et sont concassées sur un concasseur appelé HAZMAG (débit 850 t/h). Les matières sont ensuite acheminées par transporteur appelé CURVODUC.

c)- SERVICE FABRICATION :

Les ateliers composant la fabrication du ciment (concassage de la matière première, pré homogénéisation, broyage cru, cuisson, broyage cuit...) sont pilotés à partir de la salle de contrôle. Le service Fabrication est donc composé de : chefs de postes, opérateurs et de rondiers qui assurent la production 24h/24h (rotation 3*8).

d)- SERVICE ELECTRIQUE ET REGULATION :

Il intervient à la demande du service Fabrication. Il s'occupe de tout ce qui est électriques et électronique. Assure le suivi du bon fonctionnement des différents paramètres rentrant en jeu dans la supervision tels que la température, les pressions, les débits...

e)- SERVICE COMMERCIAL :

Ce service est le plus mouvant car il permet de fixer les objectifs de vente de ciments sur une clientèle bien identifiée.

Leur travail se base sur la réception des bons de commande et des effets de commerce, la saisie des commandes et des bons de livraison.

f)- MAGASIN GENERAL :

Ce service a pour rôle de stocker les articles et matériels reçus par la société afin de les utiliser en cas de besoin. Le rôle du magasin est de déterminer les biens physiques exercés par les magasiniers. Le magasin immobilise un capital important, il contient plus de 8000 articles soit une valeur de 8Milliards de DH. Les articles sont logés dans des casiers ou des endroits qui leur sont convenables.

g)- DIRECTION FINANCIERE :

g.1)- Comptabilité générale :

Le service comptabilité générale s'occupe de tous les projets d'investissement quelle que soit leur nature car pour tous achats et approvisionnement, des commandes sont établies et présentées à la section « Fournisseurs d'Exploitation » qui s'occupe d'établir ces commandes par l'envoi d'une facture préforma. Les fournisseurs avisent la société de leur possession des produits demandés, les bons de commandes sont préparés par le bureau du service achat et rapatriés ultérieurement au service de la comptabilité fournisseurs afin de vérifier la conformité de la marchandise et d'enregistrer et classer les bons de commande.

g.2)- Trésorerie :



La direction commerciale envoie à la trésorerie l'ensemble des effets de commerce qu'elle reçoit auprès de ses clients. Chaque encaissement est matérialisé par une pièce interne appelée ordre de recette et toutes les pièces réunies du dossier sont inscrites sur un registre de trésorerie.

h)- DIRECTION ADMINISTRATIVE:

Ce bureau s'occupe de la gestion du personnel pour répondre à un ensemble d'objectifs :

- Ajuster l'effectif des employés de façon à réaliser les objectifs fixés ;
- Motiver le personnel pour une organisation du travail au sein de l'entreprise.

i)- SERVICE CONTROLE DE QUALITE : (certification par l'ISO 9001)

LAFARGE CEMENTS usine de Meknès est dotée d'un laboratoire équipé de tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'aux expéditions du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Le personnel de ce laboratoire ayant en charge le contrôle de la qualité est compétent et suit des formations continues en matière de contrôle de qualité et selon un planning de formation préétabli.

Ce laboratoire est chargé d'assurer une bonne réception, identification et conservation des échantillons ainsi que la réalisation de tous les essais.

j)- SERVICE PROCEDE :

Le service procédé est un service qui s'intéresse aux différents procédés s'effectuant au sein de l'usine ; il contrôle en collaboration avec les services de fabrication et de qualité le processus de fabrication du ciment, aussi cherche-t-il à optimiser les paramètres de réglage de différentes installations (cuisson, broyage...). En effet des audits et des tests de performance se réalisent systématiquement dans le but d'améliorer le rendement des unités de production.

B. PRODUCTION DU CIMENT

1. Introduction :

Le ciment est une poudre minérale qui a la propriété de former, en présence de l'eau, une pâte capable de faire prise et de durcir progressivement, même à l'abri de l'air et notamment sous l'eau, c'est un liant hydraulique.

Il est réalisé à partir du clinker, du calcaire et du gypse dosés et broyés finement. Le produit cru (farine) est obtenu par un broyage fin des matières premières composées essentiellement de calcaires et d'argiles.

La cuisson se caractérise principalement par deux grandes étapes que sont la décarbonatation des calcaires et la clinkerisation du produit.

Figure 4 : Schéma descriptif de l'obtention du ciment



2. Procédé de fabrication du ciment

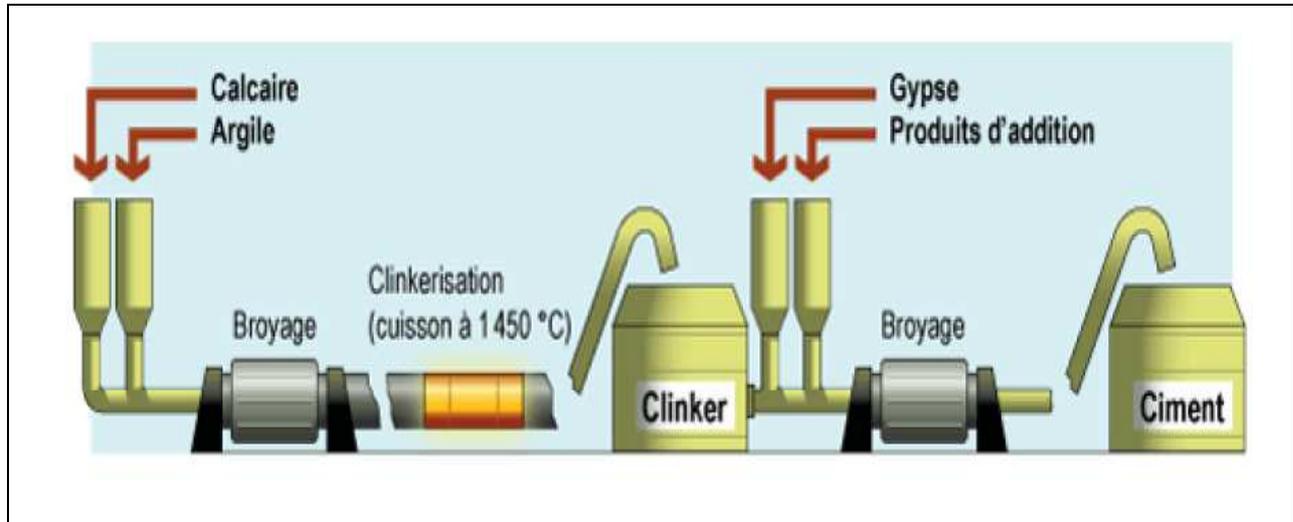


Figure 5 : Schéma général du processus de fabrication du ciment

La fabrication de ce ciment peut se décomposer en plusieurs étapes :

- la préparation du cru par broyage
- l'obtention du clinker par cuisson
- le broyage et le transport

2.1 Matières premières et préparation du cru :

2.1.1 Extraction des matières premières :

Une cimenterie dispose souvent de deux carrières à proximité : une carrière de calcaire (ou de marne) et une carrière d'argile. Les principales matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont extraites de l'argile et du calcaire. En effet, le calcaire fournit le carbonate de calcium CaCO_3 et l'argile les oxydes SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 . D'autres éléments sont parfois présents dans les carrières (la magnésie MgO , les sulfates et chlorures alcalins, les alcalins K_2O et Na_2O et le soufre présent sous plusieurs formes).

L'exploitation des carrières de cimenterie se fait le plus souvent à ciel ouvert. Il existe deux types d'extraction :

- l'extraction directe effectuée sur les roches tendres et meubles qui consiste à creuser directement la roche.
- l'extraction après abattage à l'explosif qui consiste à fragmenter la partie de la carrière exploitée, ce qui rend plus facile la reprise par les engins. Cette extraction est composée de plusieurs étapes : l'établissement d'un plan de tir (qui indique la position des trous, le type d'explosifs etc.), le forage (cf. Figure 2), l'utilisation des explosifs, le chargement et le transport.



Figure 6 : Foreuse d'extraction des matières premières



Figure 7 : Homogénéisation des cuttings pour l'échantillonnage



Figure 8 : Extraction de la matière première

L'extraction des matières premières est très demandeuse en énergie (fonctionnement des machines, explosifs et transports), c'est pourquoi les cimenteries sont toujours placées à côté de carrières pour minimiser l'acheminement. L'extraction est souvent suivie d'un concassage afin d'obtenir une granulométrie moins grossière. Cette étape est également demandeuse en énergie, c'est pourquoi le choix d'autres matières premières de plus faible granulométrie pourrait être une économie d'énergie.

2.1.2 Concassage :

La matière première, ayant atteint après abattage une blocométrie facile à manutentionner, est transportée par camions à l'atelier concassage situé au niveau de la carrière. L'usine dispose de deux concasseurs équipés de cribles à disques :

- Le concasseur DUO6 (FCB) de débit 400 tonnes par heure.
- Le concasseur HAZMAG de débit 900 tonnes par heure.

La matière première est acheminée ensuite jusqu'à l'usine par tapis transporteur (Curvodic). La conduite de l'atelier concassage HAZMAG est assurée par un PC industriel de type « April-Reflot-1000 ».



Figure 9 : Concasseur HAZMAG

2.1.3 Préparation du cru

Dépôt circulaire

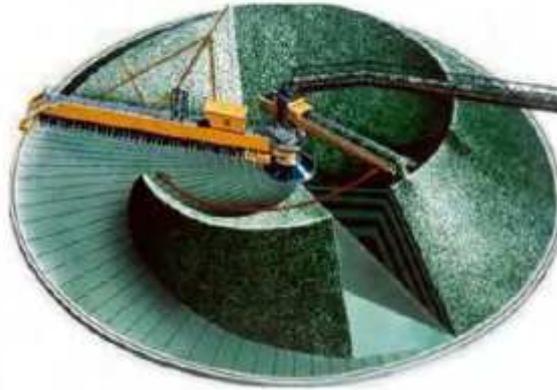


Figure 10 : dépôt circulaire

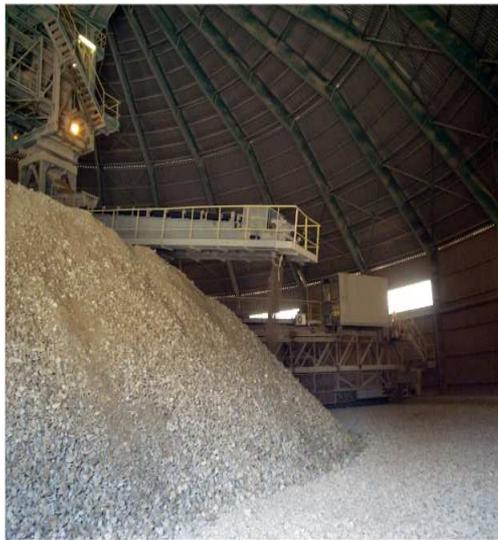


Figure 11 : Hall de Pré homogénéisation

La préparation du cru consiste à mélanger les matières premières dans les bonnes proportions. Le but est d'obtenir un mélange homogène de calcaire, d'argiles et d'autres matériaux. La première étape de la préparation du cru est « **la pré homogénéisation** », elle permet d'obtenir un premier mélange homogène de composition chimique recherchée. Elle consiste à stocker d'une certaine manière les matières premières, afin de constituer des sections de même composition

chimique. La deuxième étape beaucoup plus importante est l'étape de broyage-séchage. Lors de cette étape, les matières premières sont tout d'abord finement broyées afin de les rendre plus réactives.

Il existe trois types de broyeurs :

- **le broyeur à boulets** : il est formé d'un cylindre métallique à l'intérieur duquel se trouvent des boulets en acier. Par rotation du cylindre, les matières premières sont broyées.

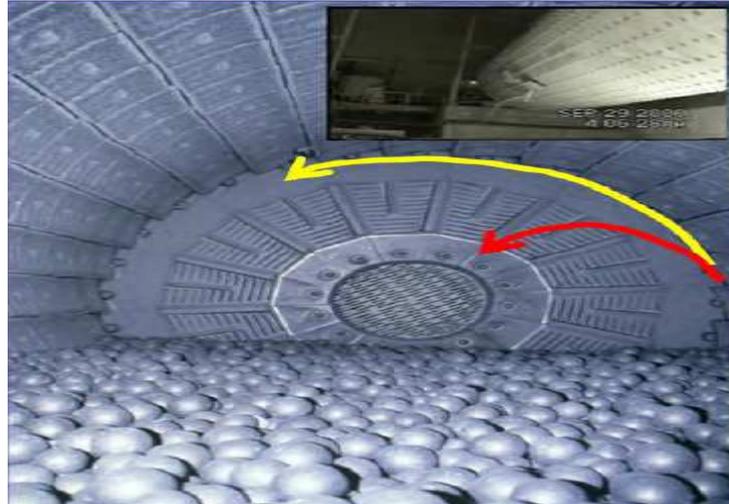


Figure 12 : Intérieur d'un broyeur à boulets

- **le broyeur vertical à piste** : il est formé d'un ensemble de galets, sortes de meules, et d'une piste disposés selon un axe vertical. Les matières premières sont broyées entre la piste horizontale et le galet.
- **les presses à rouleaux** : c'est un ensemble de rouleaux entre lesquels les matières premières sont broyées.

Le broyage est une étape qui nécessite beaucoup d'énergie. Cette énergie dépend de la finesse du cru voulue, elle peut être estimée en la considérant proportionnelle à la différence entre les surfaces des grains après et avant broyage.

Cette étape est accompagnée d'un séchage car le broyage ne peut être réalisé efficacement que si le taux d'humidité de la matière est quasi nul. Celui-ci est réalisé grâce à un transfert de chaleur entre une source chaude et la matière humide. L'eau est alors dégagée sous forme de vapeur. Cette étape est peut demandeuse en énergie car ce sont les gaz chauds provenant du four et du refroidisseur (dont on expliquera le fonctionnement) qui constituent la source de chaleur nécessaire. La troisième étape est la séparation qui est de deux types :

- la séparation matière-matière qui permet de différencier les particules broyées de celles non broyées qui doivent alors retourner dans le broyeur.
- la séparation gaz-matière qui permet de récupérer le maximum de particules de matières contenues dans les gaz avant leur passage dans des filtres et leur rejet dans l'atmosphère.

Ainsi cette étape ne doit pas être négligée afin de réduire au maximum les nuisances sur l'environnement. Les gaz sont également filtrés afin d'ôter toutes les poussières résiduelles contenues dans ceux-ci. La dernière étape est une nouvelle homogénéisation qui se réalise cette fois dans des silos.

2.1.4 Homogénéisation :

Le cru provenant des broyeurs est ensuite acheminé par des aérogisseurs pour être stocké dans les silos d'homogénéisation. Ce type de silo IBAU assure à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine. Leur but est de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques présentes. L'un a une capacité de 7500 tonnes, l'autre de 5000 tonnes.

2.1.5 Obtention du clinker

a. Cuisson du cru :

Pour obtenir le clinker, il faut chauffer à très haute température le cru (jusqu'à 1450°C). Pour cela, on introduit le cru dans un four rotatif. Celui-ci est composé d'un tube cylindrique dans lequel brûle des substances combustibles injectées à fort débit en produisant une flamme de plusieurs dizaines de mètres de long. Il mesure entre 30 et 110 mètres et a un diamètre de 2 à 6 mètres.



Figure 13 : Four rotatif.

Cette étape est une des plus demandeuses en énergie. De plus, le choix des combustibles est important du fait de leur impact sur l'environnement. Les combustibles utilisés en cimenterie sont : le gaz, le charbon et le plus utilisé : le pétrole. Les fours utilisant le charbon ou le pétrole rejettent du dioxyde de soufre SO₂ (émissions limitées) et des oxydes d'azote NO_x (émissions plus difficilement maîtrisables). Dans un souci de développement durable, certains déchets d'industrie sont utilisés comme combustibles (pneus, huile, farines animales, boues d'épuration...). Afin de mieux utiliser la chaleur dégagée par le combustible du four, les gaz, qui en sortent à environ 1000°C, sont utilisés dans le préchauffage du cru à l'entrée du four. Lors de la cuisson, trois étapes ont lieu à différentes températures. La première étape est la déshydratation. L'eau non combinée

est éliminée à partir de 100°C et entre 300 et 900°C, les argiles se déshydratent et perdent de l'eau sous la forme d'ions hydroxydes HO⁻.

La deuxième étape est la décarbonatation. Les carbonates de calcium (presque 80% du cru) sont décomposés par l'action de la chaleur avec élimination du dioxyde de carbone. Cette réaction se produit théoriquement à 900°C. Elle aboutit à la formation d'oxyde de calcium : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ Dans la pratique, du fait de la présence des oxydes SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃, cette réaction a lieu vers 750°C. **Cette étape est la plus polluante** du fait du dégagement important de dioxyde de carbone. Une tonne de clinker produit environ 0.8 tonnes de dioxyde de carbone [livre fabrication]. La décarbonatation produit 0.5 tonnes et le combustible 0.3 tonnes. La troisième étape est la formation de produits intermédiaires à partir de 1250°C. Ce sont des réactions solide-solide entre le CaO et les oxydes qui conduisent à la formation de C₃S et de C₂S.

A partir de 1320°C, une phase liquide apparaît, constituée d'un mélange C₃A et C₄AF fondus. Enfin, entre 1250 et 1450°C, l'alite ou C₃S se forme. La chaux CaO et le C₂S baignant dans la phase liquide se combinent pour donner l'alite : $\text{C} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$ Cette réaction se fait à très haute température donc demande beaucoup d'énergie. Elle est essentiellement une réaction de dissolution et de cristallisation, et dure environ 10 à 15 minutes.

b. Refroidissement du clinker :

A la sortie du four, le clinker sort à une température comprise entre 1200 et 1450°C et tombe dans un refroidisseur. Le refroidisseur ne sert pas qu'à refroidir le clinker mais permet aussi de récupérer un maximum de chaleur, ce qui permet de réduire la consommation du four et d'en apporter une partie à l'air utilisé dans le procédé de broyage-séchage.

Le procédé de refroidissement est important pour la réactivité du clinker. Un refroidissement rapide (trempe) permet de figer le clinker dans l'état où il se trouve à hautes températures alors qu'un refroidissement lent conduirait à la transformation du C₃S en C₂S

La vitesse de refroidissement est donc un facteur important de la qualité du ciment, notamment sur la facilité à broyer le clinker. Il existe trois types de refroidisseurs :

o le refroidisseur rotatif : semblable au four rotatif, il est constitué d'un cylindre à l'intérieur duquel se trouvent des releveurs (pelles...) qui favorisent le contact entre le clinker et l'air. Il consomme environ 3kWh/t de clinker.

On distingue deux types de refroidisseurs :

- Le refroidisseur à satellites : il dérive du refroidisseur rotatif, et est formé d'une dizaine de cylindres en acier et de ballonnets équipés de releveurs. Il présente une plus grande surface d'échange et consomme moins d'énergie environ 2kWh/t de clinker.
- Le refroidisseur à grille : il est constitué d'un grand caisson et d'un ensemble de grilles et permet le passage d'un gros débit de clinker. Il consomme environ 5 à 6 kWh/t.

C. Composition du clinker

Le clinker est la roche artificielle obtenue par cuisson des matières premières. C'est le constituant principal du ciment. Il est constitué de quatre phases cristallines principales : les silicates bis et tricalciques, l'aluminate tricalcique et l'alumino-ferrite de calcium. Afin de simplifier l'écriture, on écrit en chimie cimentière : C pour CaO, S pour SiO₂, A pour Al₂O₃ et F pour Fe₂O₃. Les principales phases du clinker s'écrivent alors : C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF.



Figure 14 : Clinker

2.1.6 Broyage et Transport :

a. Broyage :

Après refroidissement du clinker, le ciment est obtenu en broyant celui-ci et en y additionnant un faible pourcentage de gypse et des constituants secondaires. Le broyage du ciment a pour but d'augmenter sa réactivité en augmentant la surface de contact avec l'eau.

Le broyage s'effectue par les mêmes procédés que lors de la préparation du cru. Les trois broyeurs cités sont utilisés. La consommation d'énergie est, en moyenne, de 40kWh/t. On effectue ensuite une séparation de type matière-matière (Préparation du cru) pour trier les grains suffisamment

broyés des autres. Enfin, les autres constituants sont ajoutés. Dans le cas du ciment Portland, on ajoute au clinker 3 à 5 % de sulfate de calcium sous forme de gypse ou d'anhydrite.

b. Transport et expédition :



Figure 15 : transport et expédition du ciment

Le ciment est alors stocké dans des silos à partir desquels il est expédié en vrac ou en sacs par camion, train, péniche ou par bateau. Le transport du ciment consomme aussi énormément d'énergie mais ce facteur ne peut pas être modifié.

Chapitre 2

Généralités sur

les combustibles

1. Introduction :



LAFARGE CIMENT utilise des combustibles alternatifs pour réduire sa consommation de combustibles fossiles. Aujourd'hui, la cimenterie atteint des records en matière de combustibles alternatifs, avec 2/3 de ses besoins couverts par la valorisation de déchets. Pour économiser les énergies fossiles non renouvelables, tout en apportant une solution locale à l'élimination de déchets, elle a développé l'utilisation de ces combustibles alternatifs.

L'usine valorise ainsi par combustion dans ses fours des déchets locaux d'activités industrielles et ménagères. Chaque type de produits à valoriser fait l'objet de contrôles et d'une procédure rigoureuse d'acceptation. La très haute température du four (2 000 °C) et le temps de combustion garantissent l'élimination complète des déchets.

Les besoins calorifiques sont essentiellement liés à la cuisson des matières premières dans le four, les matériaux devant être portés à une température de l'ordre de 1800°C.

Les besoins calorifiques dépendent principalement des facteurs suivants :

- *Conception des équipements* (la récupération thermique dépend d'équipements tels que : refroidisseur, nombre d'étages du préchauffeur, etc.)
- *Fiabilité de fonctionnement des lignes de cuisson* (des arrêts fréquents des lignes de cuisson, attribuables à des incidents, entraînent des surconsommations calorifiques importantes).

Les principaux combustibles utilisés par **LAFARGE** pour la cuisson du clinker sont : le coke de pétrole, le charbon et, certains déchets, le fioul lourd, les grignons d'olive et les pneus déchiquetés.

Depuis une décennie, la part des combustibles traditionnels, tels que le charbon, le fioul et le gaz, tend à être réduite au profit d'autres combustibles plus attrayants du point de vue économique, tels que le coke de pétrole, les déchets, et la biomasse (les grignons d'olives dans le cas de **LAFARGE MEKNES**). Les combustibles de substitution peuvent poser des problèmes

d'utilisation vis-à-vis du procédé ou de la qualité, liés principalement aux composants chimiques qu'ils contiennent. Leur utilisation est donc limitée.

Par exemple, le soufre des cokes de pétrole peut entraîner des perturbations dans l'atelier de cuisson. En revanche, il ne constitue généralement pas de problème vis-à-vis de l'environnement, car le soufre introduit par les combustibles se retrouve dans le clinker (et donc n'est pas émis dans l'atmosphère) pour des lignes de cuisson équipées de fours à préchauffeurs (ce n'est pas le cas des autres types de fours).

2. Les pneus déchiquetés :



Figure 16 : Des pneus déchiquetés

La combustion de pneus en cimenterie, outre son apport énergétique, permet la valorisation totale des renforts métalliques du pneu, dont le fer se substitue à des matières naturelles telles que l'argile entrant dans la composition du clinker. Les pneus usagés sont un très bon exemple d'une valorisation intelligente.

La valorisation en cimenterie permet leur élimination totale. Le matériau est homogène et dispose d'un pouvoir calorifique élevé, ce qui en fait un combustible très intéressant.

3. Le grignon d'olives :

Les grignons d'olive sont un sous-produit du processus d'extraction de l'huile d'olive composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Les grignons sont les résidus solides résultant de l'extraction d'huile, alors que les résidus liquides sont dénommés margines.



Figure 17 : Stock des grignons d'olives

❖ **Composition chimique des grignons d'olives :**

La composition chimique du marc d'olives est la suivante :

<u>ELEMENTS</u>	<u>POURCENTAGE</u>
Carbone	50,00
Hydrogène	6,40
Soufre	0,11
Azote	1,20
Oxygène	34,50
Chlore	0,10
Autres	8,69

Tableau 2 : Composition chimique du marc d'olives

Les utilisations principales des grignons sont les suivantes :

1. livraison aux raffineries pour l'extraction de l'huile de grignons ;
2. épandage comme [amendement](#) sur les terres agricoles, de préférence après compostage ;

3. emploi comme combustible pour le chauffage.

Les grignons purs se présentent comme un très bon combustible, d'emploi facile et doté d'un pouvoir calorifique élevé, qui peut être utilisé comme substitut dans la cimenterie.

4. Les déchets :



L'industrie cimentière participe à l'effort collectif pour la préservation des ressources naturelles et le traitement des déchets. Certains déchets sélectionnés pour leur compatibilité avec le procédé cimentier sont valorisés en cimenterie en remplacement des combustibles fossiles : c'est la valorisation énergétique.

5. Le fuel :

Le fuel ou fioul est une énergie fossile utilisée pour le chauffage domestique (FOD ou fioul domestique) ou pour **le chauffage industriel (FOL ou fioul lourd)**. L'énergie fuel est une énergie qui fluctue fortement en fonction de l'offre et de la demande, des hausses et baisses du dollar, et de la situation politique.

Le fioul est une énergie stockable, cependant sa rareté en fait une énergie à préserver et à mixer autant que possible avec une **énergie renouvelable**. Tel est le cas de **LFARGE**, qui dans le cadre de la réduction de la consommation de cette énergie la société utilise des combustibles alternatifs.

Composition élémentaire du fioul

	Fraction massique %
Carbone	86.5
Hydrogène	13.3
Soufre	<0.2
Azote	50-400 ppm
Oxygène	traces

Tableau 3 : la composition élémentaire du Fioul

- ◆ Son **pouvoir calorifique inférieur (PCI)** est d'environ 12 (kWh/kg), c'est-à-dire qu'un kilogramme de fioul procure au mieux 12 kilowattheures d'énergie en brûlant compte tenu des pertes dues à la vaporisation de l'eau dans les fumées.
- ◆ Son **pouvoir calorifique supérieur (PCS)** est d'environ 12,8 kWh/kg

Le fioul domestique est vendu au litre. Avec une densité de 0,84 à 10 °C, cela donne, à 11,86 kWh/kg, un pouvoir calorifique théorique de 9,96 kWh/litre. Le rendement (**PCI**) des chaudières variant entre 75 et 95 %, l'énergie récupérée est de 7,5 à 9,462 kWh/litre.

6. Le charbon :



Figure 18 : Du charbon

Les charbons sont des roches sédimentaires organodétritiques. Ils proviennent de plantes très variées : végétaux supérieurs, fougères à l'origine des charbons dits humiques, spores et algues à l'origine des charbons dits sapropéliques. Lors de l'enfouissement de la matière organique.

La production de charbon mondiale est de 3,5 milliards de tonnes auxquelles s'ajoutent 900 millions de tonne de lignite. 50% du charbon produit sert à la production d'électricité, 16 % à la

sidérurgie, 5 % aux cimenteries. Le solde, 29 %, au chauffage et aux autres industries, dont la carbochimie.

Son pouvoir calorifique est : 7,50 kWh/kg pour le charbon de bois sec, et 6 kWh/kg pour le charbon de bois ordinaire. Avec toute espèce de bois contenant 20% d'eau.

7. Le Coke de pétrole :



Figure 19 : Aménagement du stock du Coke de pétrole

Face à l'inexorable augmentation des coûts des sources énergétiques traditionnelles, il devient toujours plus stratégique trouver des solutions alternatives qui permettent d'abaisser les coûts de production d'énergie. Son pouvoir calorifique est : 7,50 KWh/kg :

Entre les techniques et les matériaux alternatifs, le charbon et le coke de pétrole sont parmi ceux le plus réévalués au niveau mondial.

Le coke de pétrole, ou « pétrocoker », une substance solide essentiellement composée de carbone, est un sous-produit du raffinage du pétrole. Au cours du processus de raffinage, le pétrole brut est distillé pour en extraire des produits tels que du kérosène, du carburant diesel, du carburéacteur, de l'essence, du mazout et du bitume. Les distillats lourds, le bitume par exemple, s'accumulent au fond de la colonne de fractionnement un peu à la façon des dépôts qu'on trouve dans le vin. On les appelle communément « fractions lourdes » ou « résidus ».

Son coût décroît sensiblement lorsque la broyabilité et le taux de soufre augmentent.

❖ Composition chimique :

<u>ELEMENTS</u>	<u>POURCENTAGE</u>
Carbone	87,5
Hydrogène	3,5
Soufre	5-6
Azote	1,5
Oxygène	1
Autres	0,5

Eau	< 10
-----	------

Tableau 4 : Composition chimique du coke de pétrole

- **Dureté** : faible
- **Qualité spécial** : noir
- **Lieu d'origine** : tout le monde
- **Utilisation fonctionnelle** : coke de placement est le coke de carbone qui est relativement pur et peuvent être vendus pour être utilisés comme combustible, ou pour la fabrication de piles sèches, des électrodes, etc. aiguille coke.

Pour pouvoir utiliser de façon rentable ces produits, le plus grand rendement énergétique (et par conséquent la mineure pollution en termes d'émissions de poussières volatiles et soufre) sera obtenu à partir d'un broyage très fin.

Le broyeur installé dans l'usine, se prête parfaitement au traitement de telles matières premières.



Figure 20 : Broyeur vertical ou à galets

Chapitre 3

Etude technique de l'atelier du broyage du coke de pétrole

Vue détaillée sur l'atelier du broyage ciment :

Description générale :

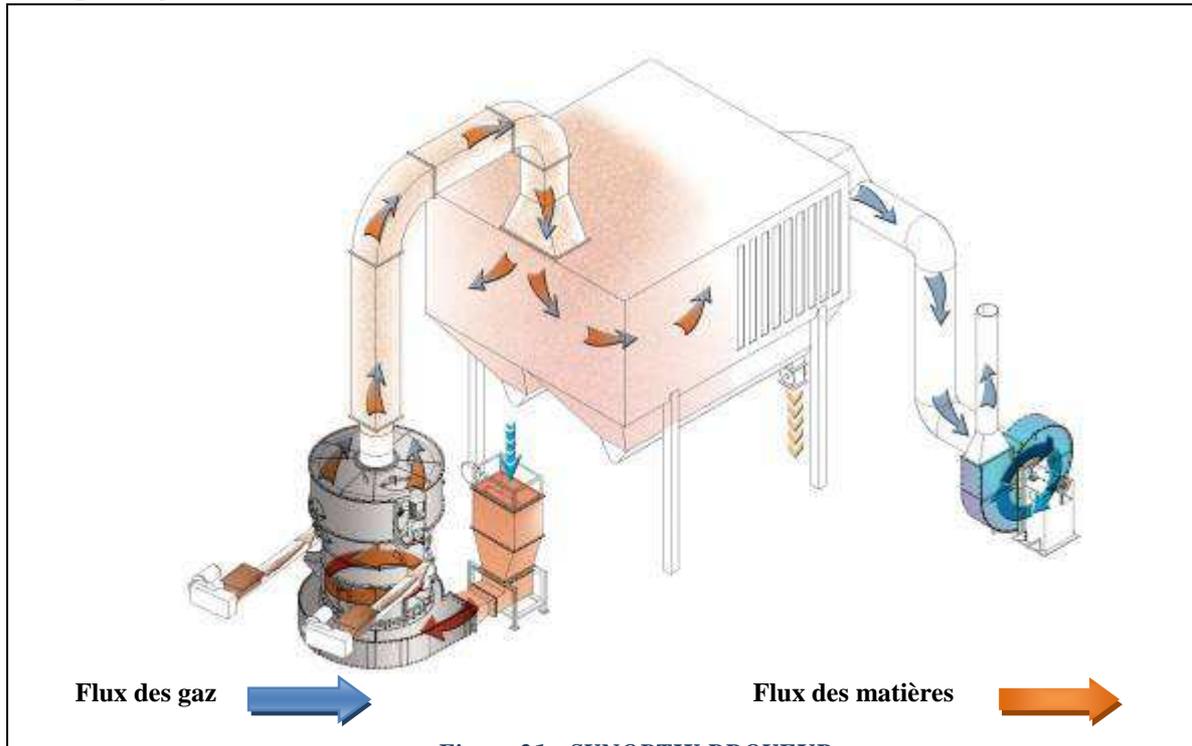


Figure 21 : SYNOPTIK BROYEUR

L'atelier broyage permet de :

- Fragmenter les matières afin d'obtenir la finesse requise par le process.
- Sécher parfois, opération combinée avec le broyage.

2. Broyeur :

La fonction broyage consiste en la fragmentation de la matière pour obtenir la granulométrie adéquate. Granulométrie dépend essentiellement de la dureté du produit à broyer, de l'adaptation de la charge broyant, de la finesse à laquelle il faut parvenir et aussi des équipements.

L'atelier de broyage de l'usine est équipé d'un broyeur à galets nommé CH3.

Dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

Tableau 5 :
techniques du
de LAFARGE

<u>Broyeur Coke</u>	<u>CH3</u>
Marque	LOESCHE
Année de départ	1993
Puissance (KW)	250

Caractéristiques
broyeur de coke

C'est l'une des étapes de la production du ciment nécessitant une forte consommation d'énergie. L'opération du broyage se fait via l'équipement vital de l'atelier, le broyeur vertical à galets.

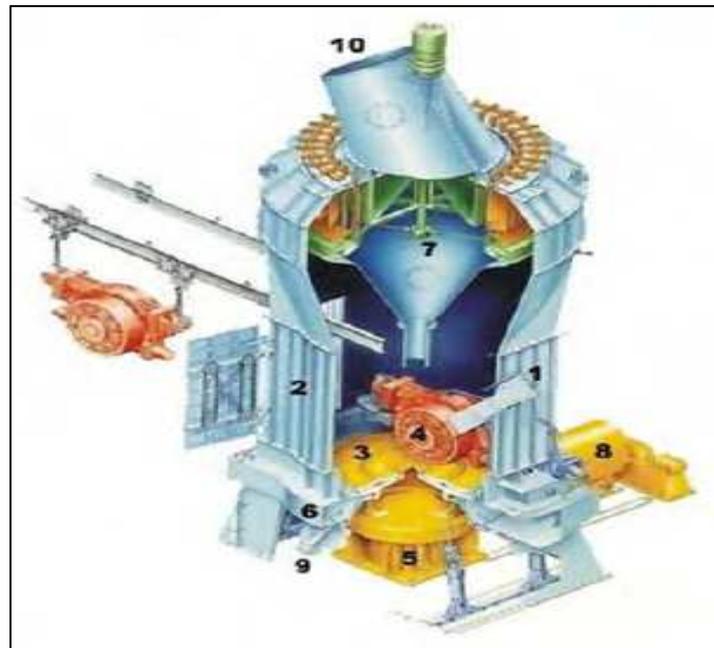


Figure 22 :

broyeur vertical ou à galets

composition du

Cette appareil est constitué de :

1. Alimentation
2. Broyeur
3. Table tournante
4. Galets
5. Système hydraulique

6. Injection d'air
7. Séparateur
8. Moteur et réducteur
9. Recirculation externe de matière
10. Sortie matière

Ce type de broyeur combine les fonctions de :

- Séchage
- Broyage
- Séparation

⇒ On utilise ce broyeur pour des voies sèches.

2.1 Principe du fonctionnement des broyeurs à galets :

Après écrasement de la matière entre la piste et les galets un flux de gaz chaud provenant du four assure le séchage et le transport pneumatique de la matière, un séparateur intégré à la machine permet de régler la finesse du produit final : les grosses particules retombent sur le plateau de broyage tandis que les fines sont entraînées par le flux de gaz vers des séparateurs à fin de faire une séparation solide /gaz, la farine récupérer par les filtres et acheminée vers les fours.

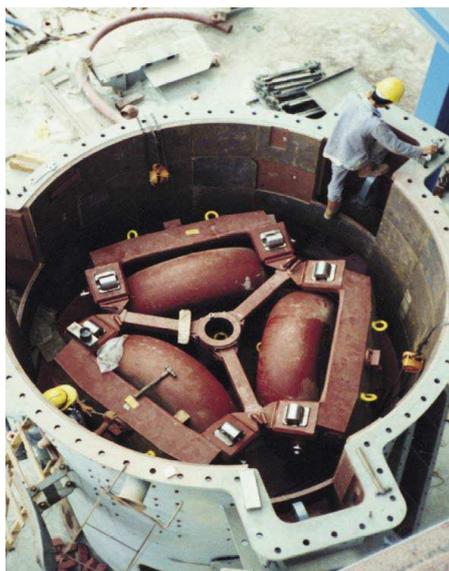


Figure 23 : Vue de dessus d'une intervention de maintenance d'un broyeur vertical

3. Séparateur :

Le séparateur joue un rôle important dans le fonctionnement global de l'atelier; il n'assure pas la fonction de broyage, mais il augmente l'efficacité du broyeur : il optimise la récupération des fines poussières, permet la détermination de la taille maximale des grains dans le *COKE* et diminue le temps de rétention dans le broyeur, donc les risques de coating (élévation de température).

Les séparateurs utilisent l'air pour séparer dans une poudre, les particules fines des grosses. Le rapport Q_f / Q_a est un paramètre important pour tous les types de séparateurs. Pour les

séparateurs hautes efficacités, la valeur design du rapport **débit alimentation (feed) / débit totale air interne** est de **2 kg/m³**.

⇒ On distingue deux types de séparateurs :

3.1 Séparateur statique :

Ils sont installés sur la ventilation du broyeur et n'ont qu'un seul réglage possible : l'inclinaison des pales.

3.2 Séparateur dynamique :

Le classement des particules par air met en jeu trois forces : force de gravité, force centrifuge et force de traînée (force d'aspiration du ventilateur).

Il existe trois types de séparateur dynamique : 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} génération.

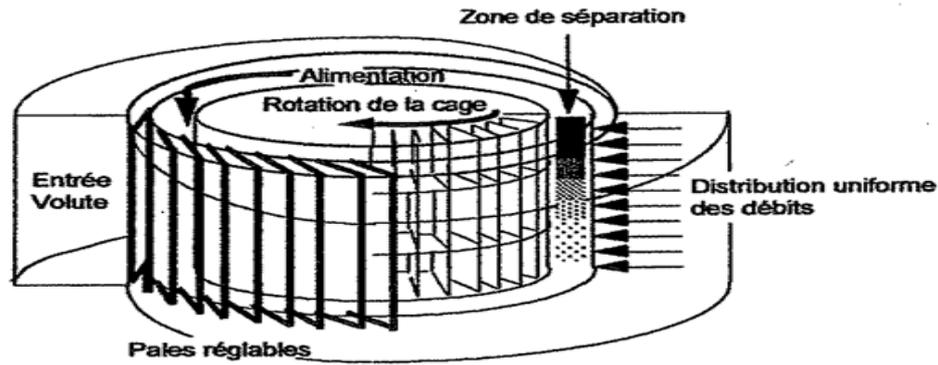


Figure 24 : Séparateur 3^{ème} génération

C'est le type de séparateur qui, aujourd'hui, offre les meilleures performances de séparation. Il est facile à régler quant à la finesse recherchée.

Par contre, si ce type de séparateur est d'encombrement réduit, il nécessite un filtre plus imposant car toute la production transite par ce dernier.

C'est au niveau du séparateur que se fait la sélection des particules selon la vitesse de rotation de la cage. Tant que l'on désire un produit fini plus fin tant que l'on augmente la vitesse de rotation et ainsi augmenter la consommation électrique.

4. Ventilateur :

La ventilation est une fonction nécessaire pour la bonne marche de l'atelier du broyage, elle a pour objectifs :

- Evacuation des particules suffisamment fines car :
 - Elles encombrer inutilement le broyeur.
 - Elles réduisent l'efficacité du broyeur.
 - Elles risquent le subrochage, provoquant ainsi le coating.
 - Elles se ré agglomèrent en grosses particules, ce qui augmente la charge circulante et réduit l'efficacité du séparateur.

Il faut ventiler séparément le broyeur et le séparateur pour adapter la ventilation du broyeur au produit, maintenir le débit aéraulique requis par le séparateur et ajuster les besoins de séchage et/ou de refroidissement indépendamment.

La température de la matière doit être maitrisée afin d'éviter l'injection d'eau.

5. Le filtre à manches :

Le filtre à manches est un dispositif dans lequel l'air chargé de poussières va traverser une couche filtrante sur laquelle les particules vont se déposer (filtration). Le dispositif de colmatage est un système à cycle séquentiel permettant de décolmater une série de poches filtrantes (360 poches) en injectant de l'air comprimé provoquant ainsi la chute de la poussière dans une trémie de récupération (décolmatage).



Figure 25 : Filtre à manche

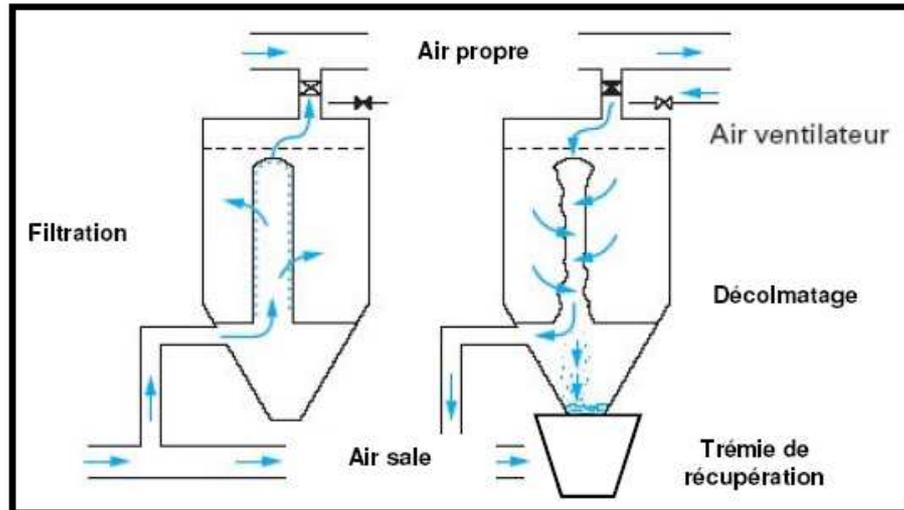


Figure 26 : Schéma du fonctionnement d'un filtre à manches.

Chapitre 4

Etude de projet

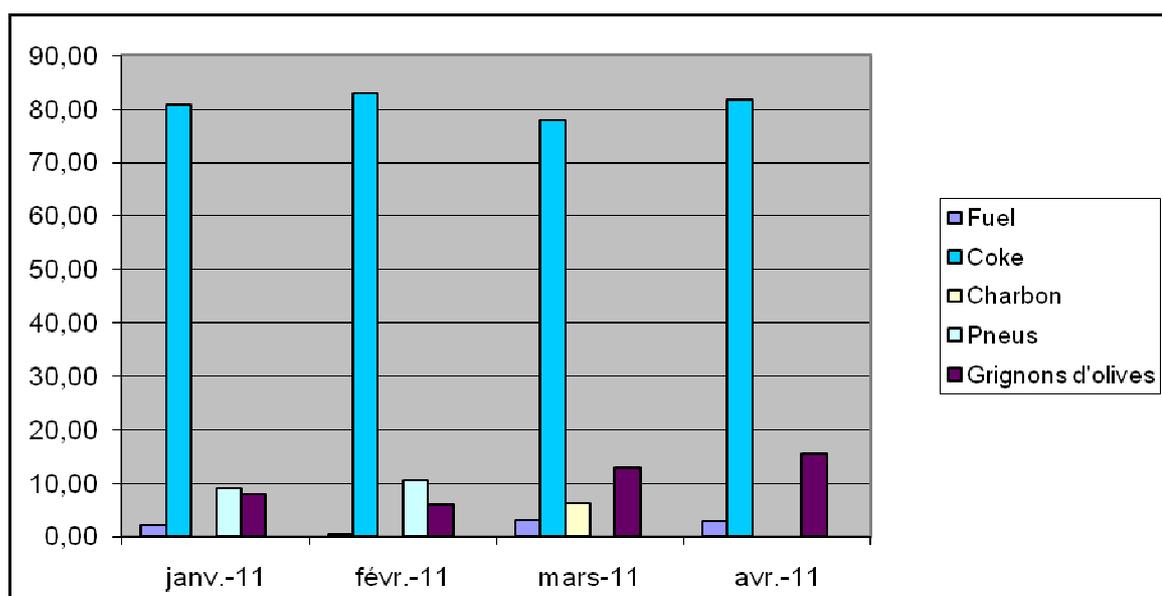


Comme LAFARGE veille sur la qualité de ses produits, l'entreprise impose des indices de performances pour avoir un produit conforme aux exigences édictées par l'utilisateur.

Dans le but de garder son image de marque comme référence dans le marché de la production du ciment, LAFARGE effectue des recherches minutieuses sur les démarches de ses processus de fabrication, dont **la combustion représente une phase très importante**. Par conséquent la qualité des combustibles contribue à la réussite de la fabrication dans les meilleures conditions. Pour cela notre projet portera sur l'amélioration continue du COKE DE PETROLE représente un grand pourcentage en utilisation calorifique de l'usine.

		janv-11	févr-11	mars-11	avr-11
Répartition de la consommation calorifique En (%)	Fuel	2,26	0,41	3,07	2,81
	Coke	80,68	83,01	77,81	81,76
	Charbon	0,00	0,00	6,25	0,00
	Pneus	9,10	10,50	0,00	0,00
	Grignons d'olives	7,97	6,07	12,86	15,43

Tableau 6 : la consommation calorifique de l'usine du mois de JANVIER au mois d'AVRIL



Comme on peut le constater, **le coke représente 80% de la consommation calorifique** de LAFARGE, par conséquent c'est un chiffre important qui le rend l'élément essentiel pour

l'opération de la combustion. Sans oublier, le coke est un élément fossile (non renouvelable) et très coûteux pour **LAFARGE**.

B. Rappel de l'Objectif du projet 'Optimisation de la finesse du coke'

Pour optimiser le coût de consommation du coke de pétrole, LAFARGE se fixe comme objectif de s'orienter vers l'usage d'un coke plus soufre vu son coût optimale. L'utilisation de ce dernier entraîne une concrétion au niveau du cyclone de l'échangeur par voie sèche, ce qui nécessite un décolmatage par soufflage à air comprimé.

Afin d'éviter ce phénomène le service procédé nous a confié de faire une étude sur l'optimisation de la finesse du coke de pétrole qui a une influence proportionnelle sur la teneur soufre du coke broyé.

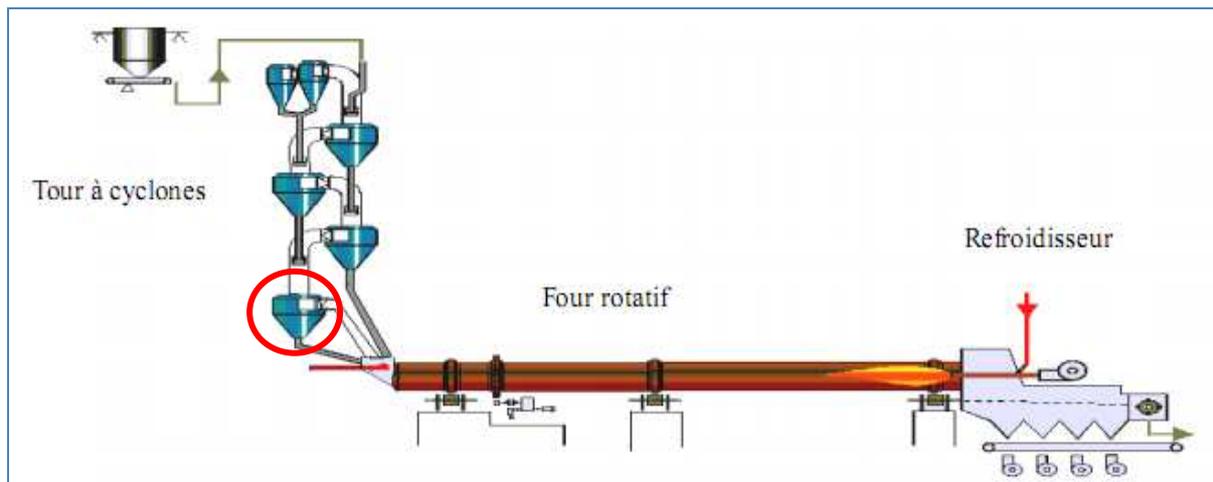


Figure 27 : Schéma descriptif de la phase cuisson (cyclone)

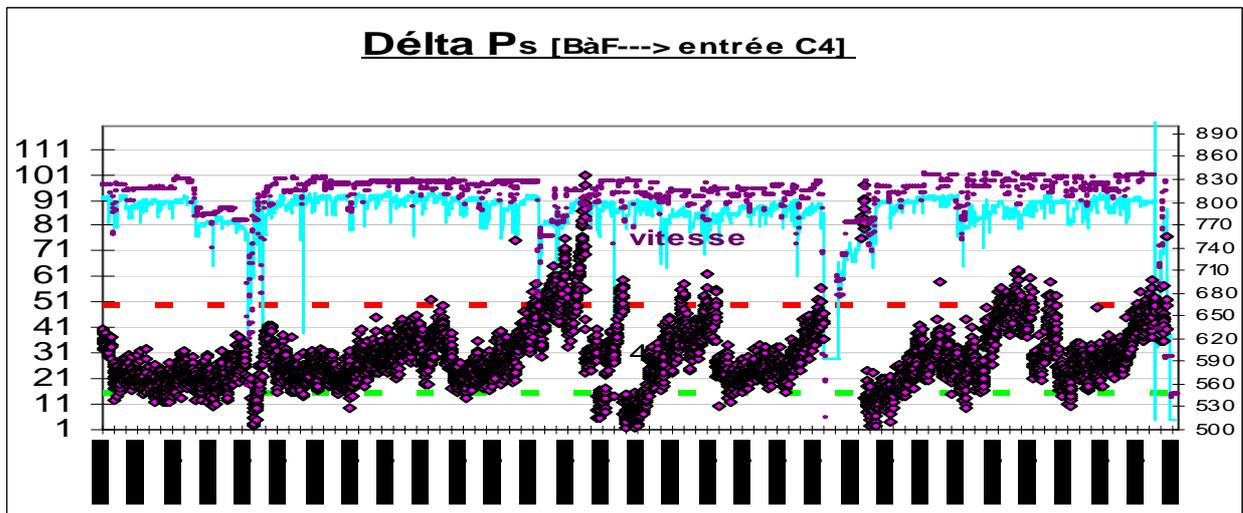


Figure 28 : Etat des concrétions dans les cyclones en fonction de la ΔP

⇒ L'augmentation de la pression différentielle dans les cyclones est un indice de colmatage de ces derniers.

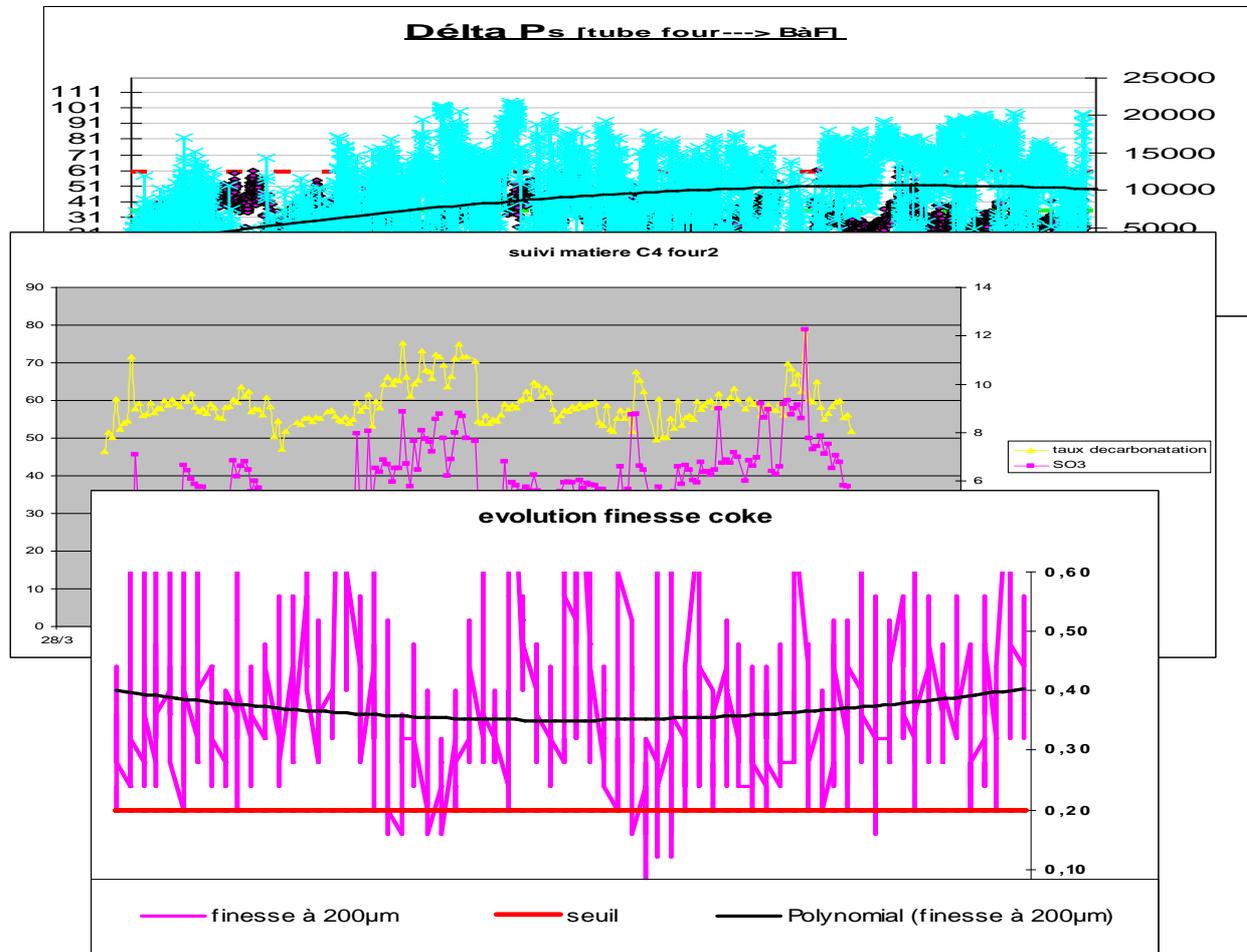


Figure 31 : Evolution de la finesse du coke

C. Description du problème

Avant la combustion, le coke se prépare dans un broyeur, ce système possède plusieurs paramètres sur les quels on peut agir pour avoir un produit 'coke' conforme. Le problème se résume dans **la dégradation de la finesse du coke** ce qui implique par la suite une augmentation de la teneur en soufre de ce dernier. Cette dégradation rend l'opération de la **combustion difficile**, et génère des couts de pertes indirects, voir **une exploitation calorifique non optimal**.

Dans un 1^{er} temps on peut associer la dégradation du coke à tous les paramètres intervenants dans le processus de préparation du produit :

- Débit d'air
- vitesse chaine, vitesse table, vitesse séparateur.
- temps de sortie, temps d'entrée.
- pression différentielle, pression marche.
- intensité broyeur.

D. Enchaînement logique du projet

1. Prélèvement du coke :

a. Opération du prélèvement :

L'opération du prélèvement s'effectue directement à partir des vannes du prélèvement situées sur :

- Entrée broyeur sur produit brut.
- Sortie filtre sur produit fini.

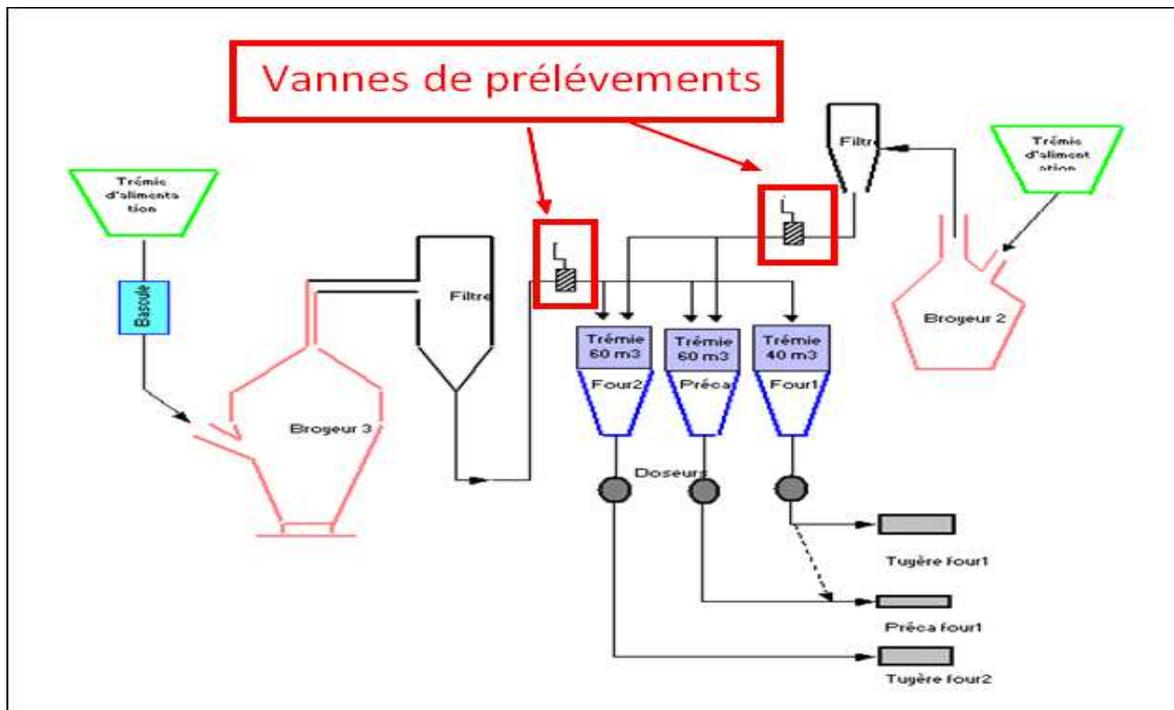


Figure 32 : Schéma explicatif des points de prélèvement du COKE DE PETROLE

b. Fréquence du prélèvement du coke :

Le tableau ci-dessous n'est donné qu'à titre indicatif, les paramètres contrôlés est les fréquences sont détaillées dans « le plan de contrôle qualité ».

	Désignation prélèvement	Nature détermination	Lieu et fréquence des prélèvements
Combustible solide brut (coke de pétrole)	Instantané	H2O sur chaque wagon	Arrivage journalier
Coke de pétrole brut entrée broyeur	Echantillon instantané	H2O	Entrée broyeur : 1/poste
		Taux des cendres	Entrée broyeur : 1/semaine
Coke de pétrole broyé	Echantillon instantané	H2O	Sortie filtre : Toutes les 2 heures
		Rejet 0,063 et 0,2 mm	
		Taux des poussières	Sortie filtre : 1/semaine

Tableau 7 : caractéristiques et conditionnements des prélèvements des combustibles de LAFARGE

c. Analyse GRANULOMETRIQUE et d'HUMIDITE:

L'échantillon instantané de chaque cargaison livrée subit des analyses GRANULOMETRIQUES et aussi des analyses d'HUMIDITE. On s'intéresse surtout à l'analyse granulométrique qui va nous donner le détail sur la finesse du coke.

Après le prélèvement du coke de pétrole depuis la vis manuelle sur goulotte sous filtre broyeur CH3, l'échantillon prélevé par le manœuvre du laboratoire est conduit par la suite au laboratoire pour lui subir des analyses de finesse et d'humidité. Ces analyses se déroulent comme suit :



Figure 33 : Prélèvement du COKE de PETROLE

➤ Analyse granulométrique :

- Le poids de chaque échantillon est de 25g



Figure 34 : Mesure de poids de l'échantillon

- On fait passer la première quantité pesée dans un tamis de maille de 63 μm



Figure 35 : Tamis

- L'échantillon subi une vibration de 3 min dans une machine vibratoire :



Figure 36 : Machine vibratoire pour le tamisage

La valeur affichée sur le petit écran est la finesse mesurée.

- La deuxième quantité d'échantillon qui est de 25g de même subi une vibration dans la même machine mais avec un tamis de 200 μm , on multiplie la valeur affichée dans la machine par 4 pour obtenir la finesse.

➤ **Analyse d'humidité :**

Le laboratoire reçoit deux échantillons le premier est une quantité de coke avant le broyage, la deuxième est une quantité prélevée après le broyage.

Les deux échantillons sont mis dans une machine à 2 blocs pour mesurer leurs humidités.



Figure 37 : Machine pour la mesure de l'humidité

2. Informatisation des données (base de données du produit) :

Les résultats obtenus sont saisis à chaque contrôle dans un fichier informatique partagé au réseau nommé : CONTROLE QUALITE LABO MKNS.xls

Tous ces résultats sont portés sur le registre du laboratoire (Suivi broyage coke) et enregistrés dans la base de données.

Afin d'exploiter ces données enregistrées on utilise l'application IP21 développé sous Excel par LAFARGE.

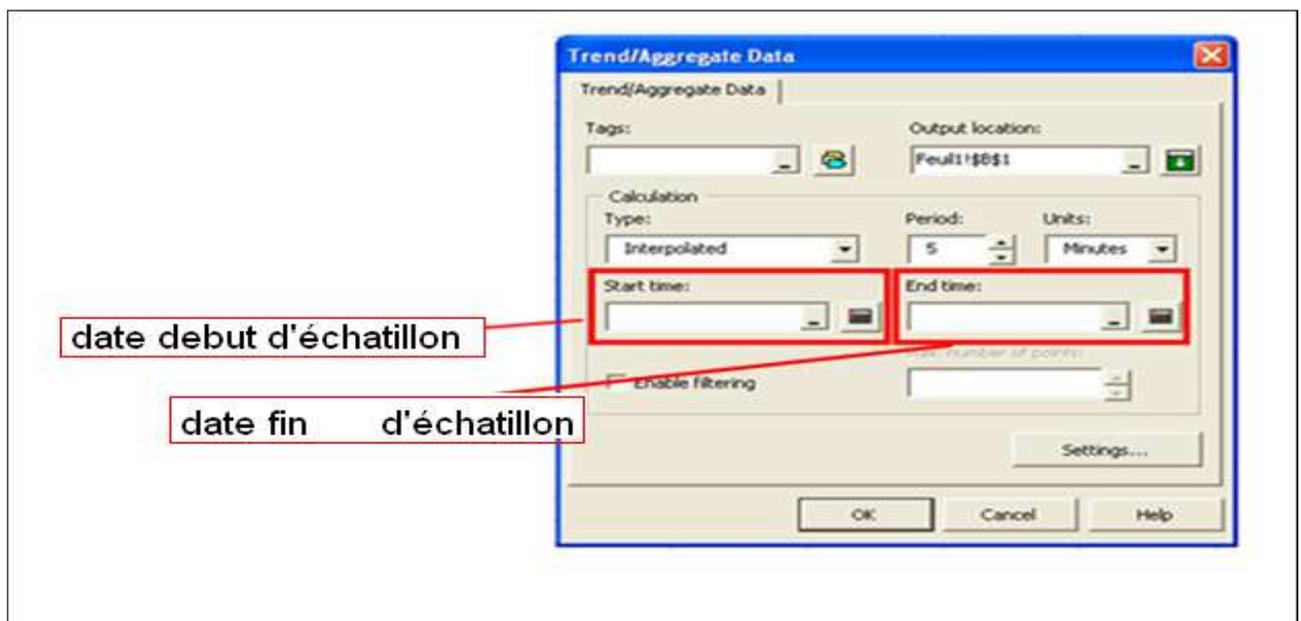
- **Interface et quelques notions sur l'utilisation de l'application IP21**

- Fenêtre permet l'accès à l'application IP21

Pour récupérer les données
on clique sur Process DATA /
Get Data / Trend / Aggregate

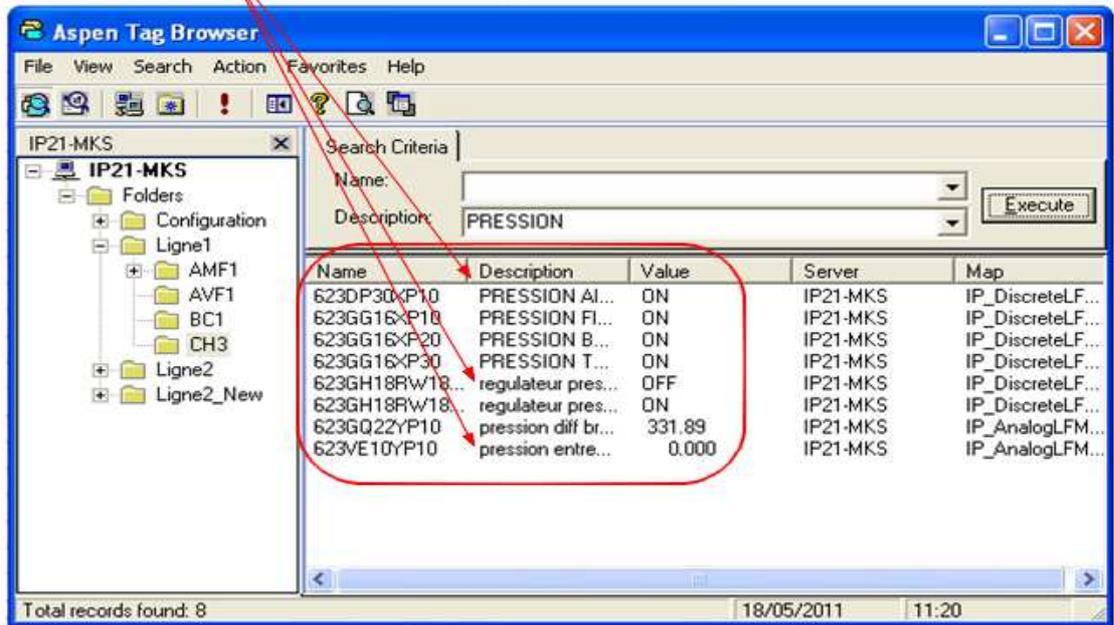


➤ TREND/ AGGREGATE DATA fenêtre pour saisir la période d'échantillon

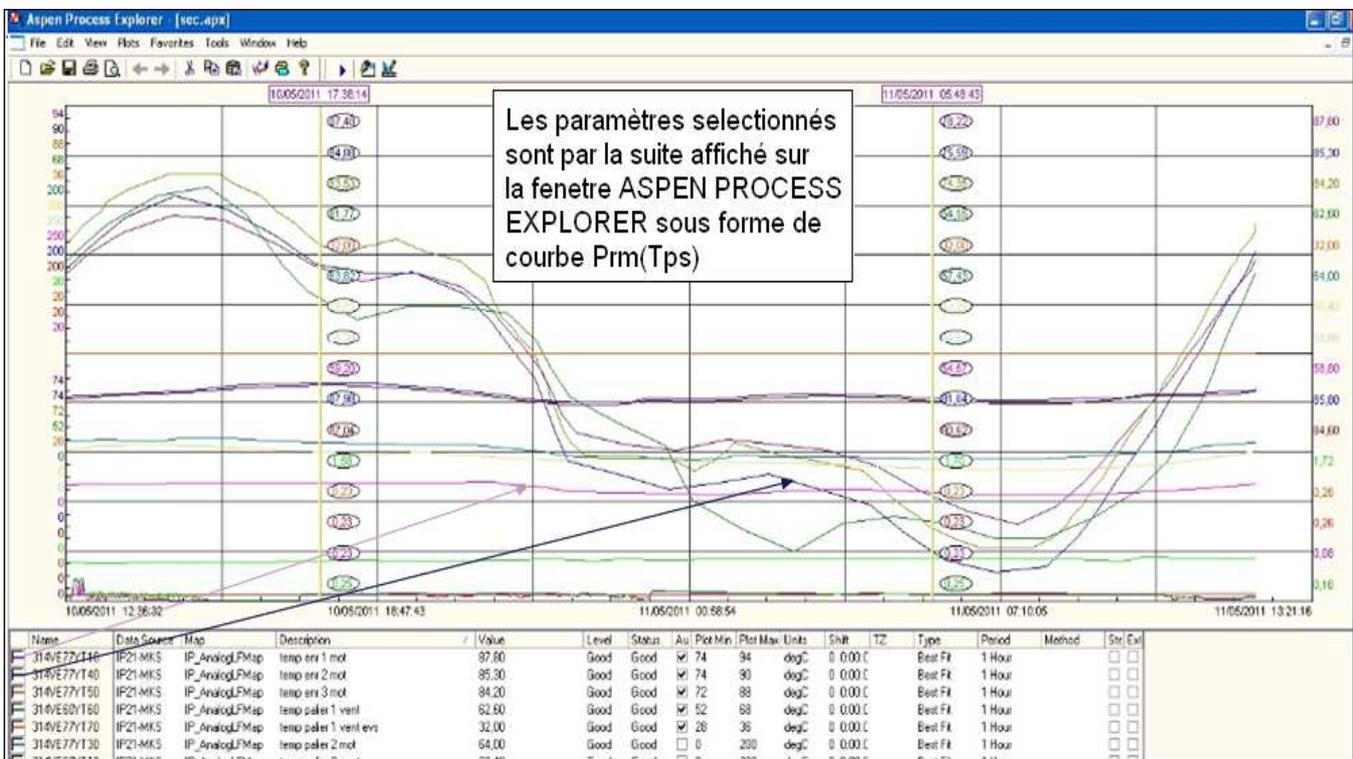


ASPEN TAG BROWSER pour sélectionner les paramètres a affiché

sur la fenetre ASPEN TAG BROWSER on retrouve tous les paramètres liés au processus de broyage.



ASPEN PROCESS EXPLORER permet d'afficher les courbes pour l'exploitation



3. les échantillons des données de la finesse.

Exemple d'échantillon des différents paramètres en une période référentielle :

	intensité broyeur (A)	pression différentielle (mmCE)	Temp sortie (°C)	Temp d'entrée (°C)	débit d'air broyeur (Nm ³ /S)	vitesse chaine (m/s)	pression marche (mmCE)	vitesse table (m/s)	vitesse séparateur (m/s)	Finesse (µm)
26/2/11 0:00	221,58	415,01	100,13	211,57	41105,402	427,64	89,51	1269,82	1368,02	0,20
26/2/11 0:08	217,07	420,05	100,73	214,63	40649,762	427,74	87,92	1268,15	1368,13	0,24
26/2/11 0:16	218,48	417,86	101,55	217,73	40799,637	427,84	87,57	1269,61	1368,25	0,20
26/2/11 0:24	217,28	418,7	101,73	220,09	39678,766	427,94	87,49	1269,02	1368,37	0,28

Exemple d'échantillon des différents paramètres en une période dérivée :

	intensité broyeur (A)	pression différentielle (mmCE)	temp sortie (°C)	temp d'entrée (°C)	débit d'air broyeur (Nm ³ /S)	vitesse chaine (m/s)	pression marche (mmCE)	vitesse table (m/s)	vitesse séparateur (m/s)	Finesse (µm)
23/3/11 0:32	232,46	366,59	80,26	208,59	38996,609	484,14	90,82	1267,84	1094,56	0,56
23/3/11 0:40	227,16	365,7	80,03	209,71	38730,742	484,03	90,46	1267,91	1094,5	0,21
23/3/11 0:48	231,98	377,53	80,6	209,73	38784,914	483,95	89,31	1267,99	1094,44	0,36
23/3/11 0:56	234,11	383,22	81,92	209,76	38940,48	484,06	90,85	1268,07	1094,39	0,28

Période référentielle: période ou la valeur moyenne est tolérable par rapport aux normes exigées

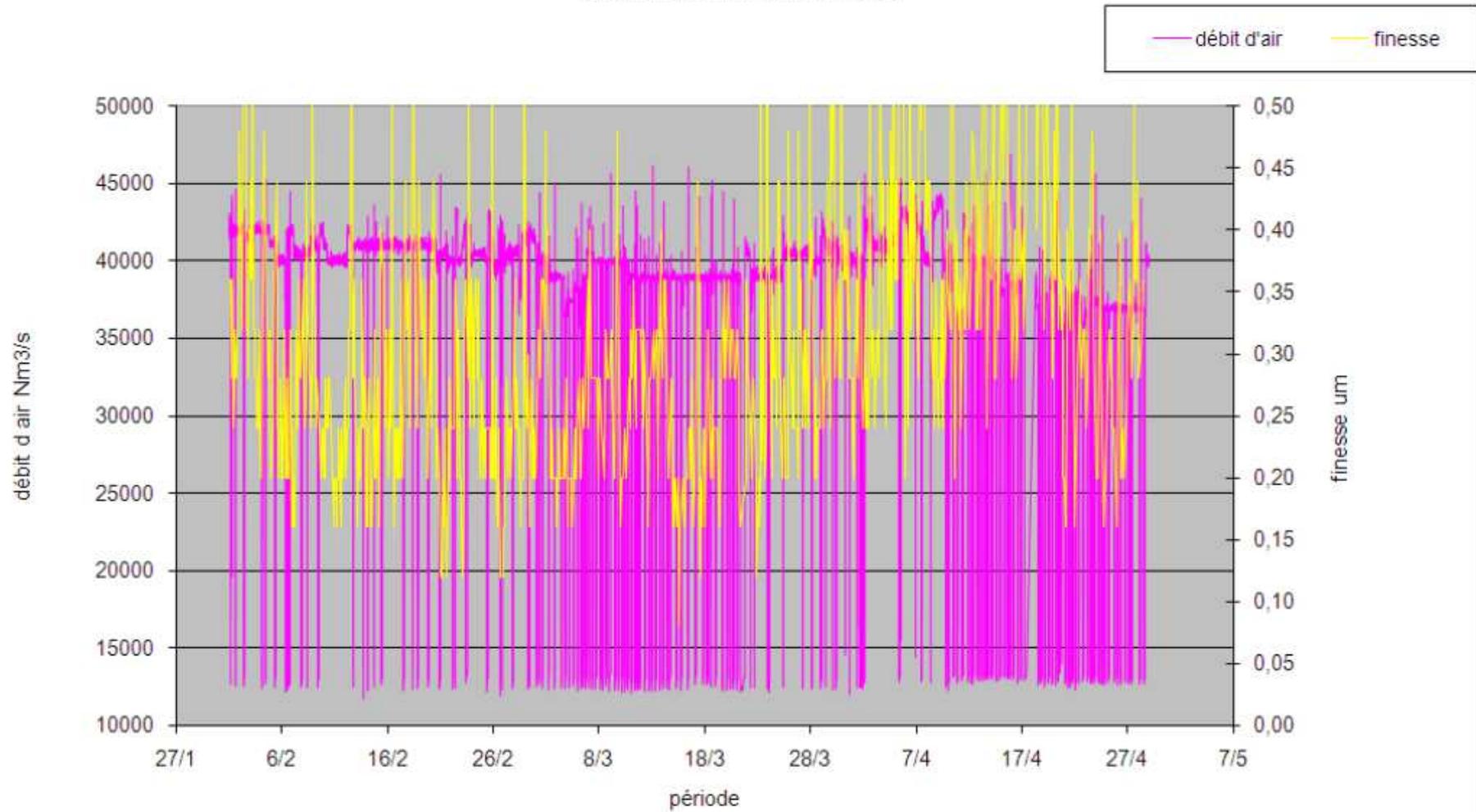
Période dérivé : période ou il y a des valeurs de la finesse représentant des pics non modérés et intolérable.

4. représentation des graphes de fonctions :

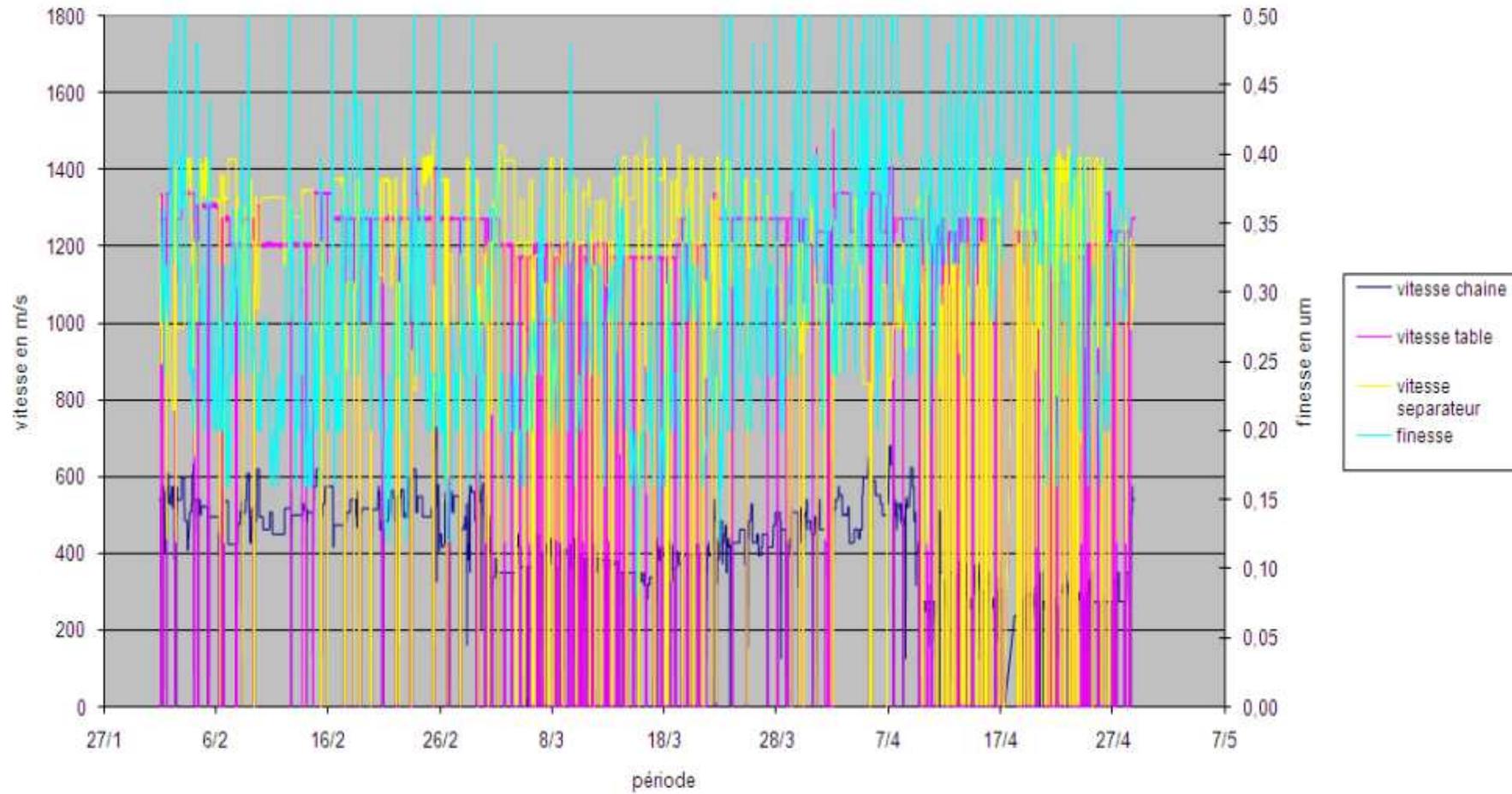
Finesse en fonction :

- du débit d'air.
- de la vitesse table, séparateur, chaine.
- temps d'entrée et de sortie.
- Pression marche, différentielle, intensité broyeur.

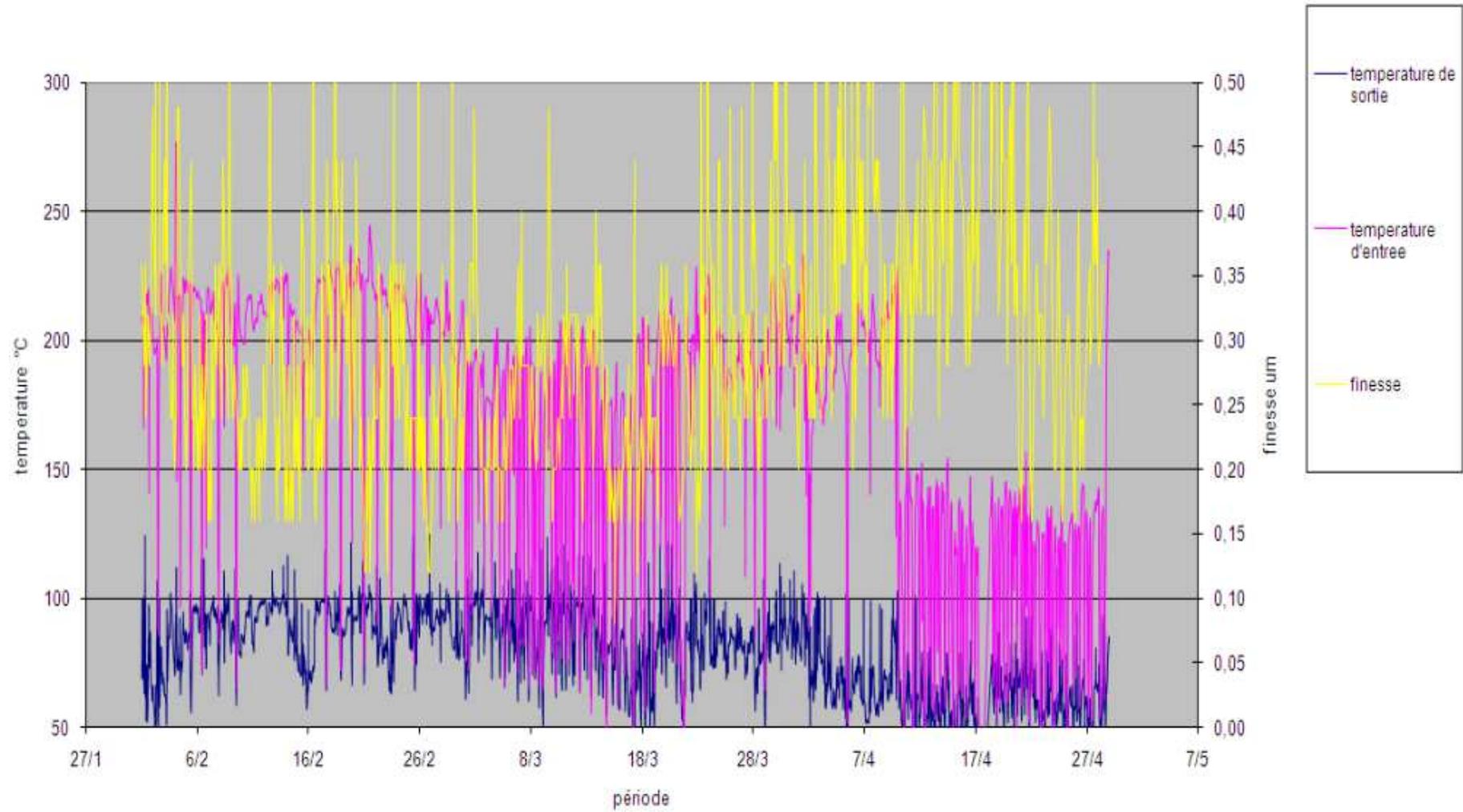
observation de la variation de finesse



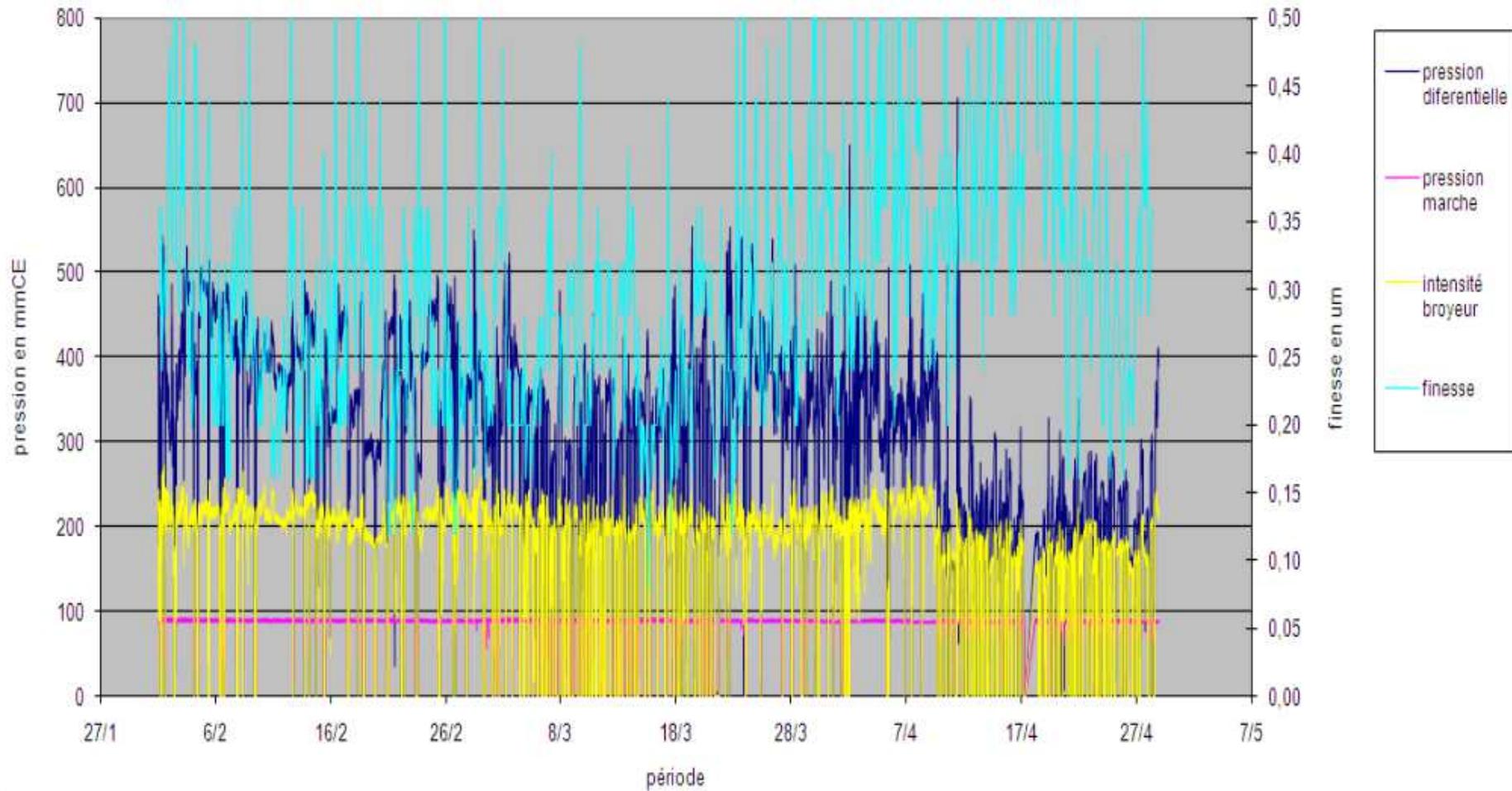
variation de finesse, vitesse table, vitesse chaine, vitesse separateur



variation de la finesse, temperature de sortie, temperature d'entree



variation de finesse, pression différentielle, pression de marche, intensité broyeur



5. Tableau comparatif des valeurs moyennes :

Prm de marche	Unité	Prm référenciels	Prm dérivés	Prm (06/05/2011)
		1	2	3
intensité broyeur	A	112,8656	124,72	212,00
pression différentielle	mmCE	191,777	199,19	334,00
température de sortie	°C	78,391	69,99	75,00
température d'entrée	°C	147,284	145,02	225,00
débit d'air broyeur	Nm ³ /s	28032	30603,97	41000,00
vitesse chaine	m/s	215,9855	256,96	730,00
pression marche	mmCE	69,4086	73,38	92,00
vitesse table	m/s	668,3208	813,76	1270,00
vitesse séparateur	m/s	930,0913	940,45	159,00
Finesse	µm	0,25	0,36	0.45

Tableau 8 : Tableau comparatif des valeurs moyennes des paramètres du broyeur des deux périodes

Le tableau comparatif des valeurs moyennes va nous permettre d'extraire les paramètres avec différents degrés d'influence. Le graphe suivant montre la variation des valeurs moyennes entre la période référentielle et la période dérivée.

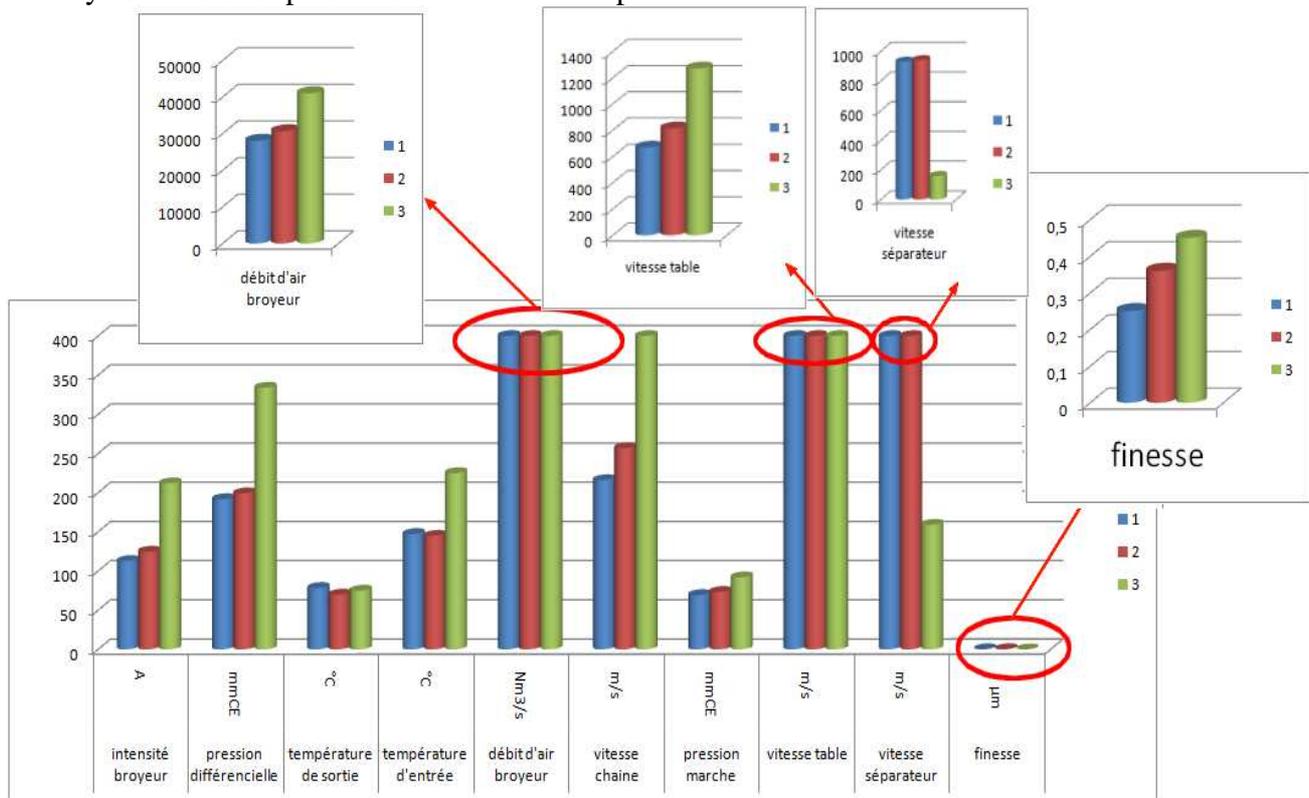


Figure 38 : histogrammes comparatifs des valeurs moyennes des paramètres entre les différentes périodes signalées

Interprétation:

On remarque que la finesse du coke est effectivement proportionnelle presque à tous les paramètres, les actions correctives seront appliquées sur tout le processus de production du coke. Par contre il faut identifier les paramètres les plus critiques.

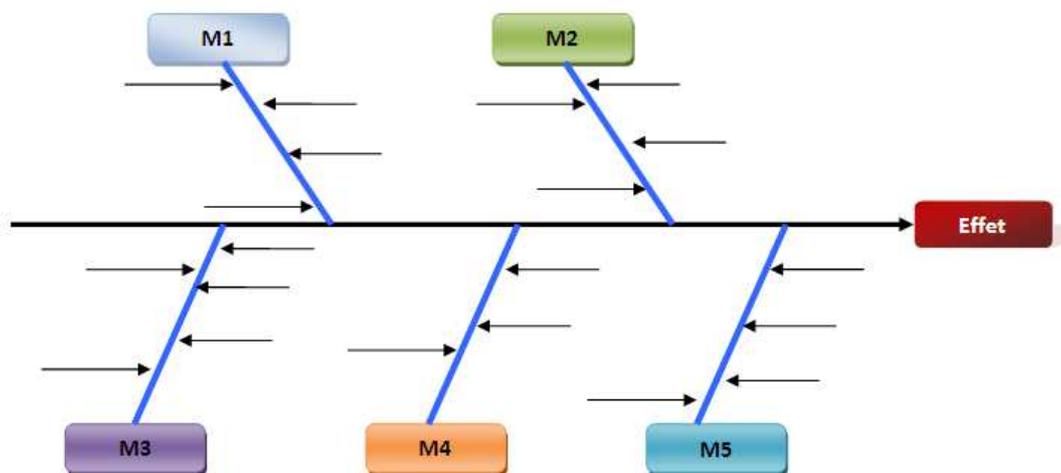
Pour bien éclaircir et spécifier le domaine de chaque paramètres, on procède a faire le diagramme d'ICHIKAWA.

E. Le Diagramme de Causes à Effet Ou Diagramme d'Ishikawa

1. Définition :

C'est un outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier.

Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5M (matière, main d'œuvre, matériel, milieu, méthode)



2. Présentation :

« Définir clairement l'effet sur lequel on souhaite directement agir »

Il est très important de parvenir au consensus sur la définition et les caractéristiques de la question traitée.

- Lister à l'aide de la méthode de 'brainstorming' toutes les causes susceptibles de concerner le problème considéré.
- Il faut bien approfondir et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée.

- Classer par famille toutes les causes d'un problème déterminé

3 à 5 familles = choix raisonnable

Si le nombre de causes par famille est trop important, créez des sous-familles.

Il est important de visualiser, de façon claire, cette relation ordonnée de causes à effet.

3. Construction du diagramme:

- Placer une flèche horizontalement :



- Regrouper les causes potentielles en familles appelés communément les 5M :

Matière : M1. Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés.

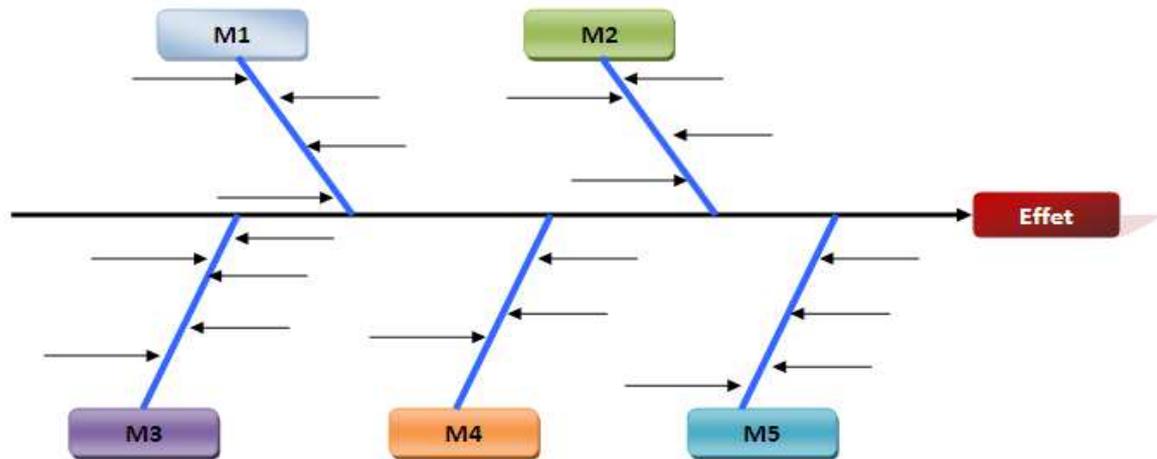
Main d'œuvre : M2. Problème de compétence, d'organisation, de Management.

Matériel : M3. Causes relatives aux Machines, aux équipements et Moyens concernés.

Méthode : M4. Procédures ou modes opératoires utilisés.

Milieu : M5. Environnement physique : lumière, bruit, poussière, localisation, signalétique etc.

- Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale :



Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.

- Inscrire sur des minis flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.
- Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié.

Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger.

4. Application d'ISHIKAWA :

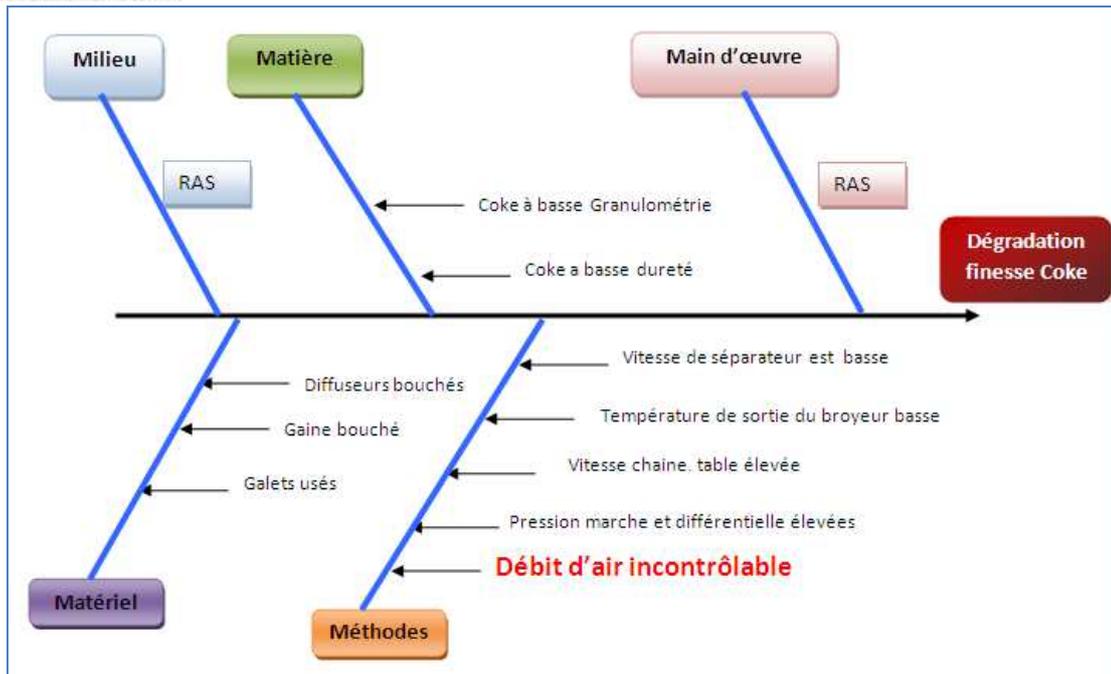


Figure 39 : Application du diagramme d'ISHIKAWA

Pour étudier correctement le débit d'air au niveau du broyeur, nous avons établi un **bilan aéraulique**.

F. Visite profonde à l'atelier broyage et bilan aéraulique :

1. Visite de l'atelier broyage :

1.1. Consignation et procédure d'intervention :

Travailler au sein d'un environnement productif en toute sécurité est une priorité dans **LAFARGE**, une prise de conscience face aux risques, évolue avec les accidents industriels. Dans le but d'éviter tous types de risques liés aux différentes interventions, l'entreprise a mis en place la consignation à titre préalable avant de toucher aux machines et au broyeur sujet de notre étude:

- en premier lieu, on commence par le remplissage d'un formulaire sur le logiciel de consignation dans la salle de contrôle, sur ce formulaire toutes personnes aient droit d'y accéder doit spécifier l'atelier ou elle va exécuter ses interventions ainsi que les équipements sujet de sa visite, il y introduit aussi son immatriculation. Le chargé de conduite ou ce qu'on appelle le responsable de consignation va par la suite valider et accorder la permission à la personne concernée.
- en seconde partie, l'auditeur ou l'intervenant coupe le courant sur l'ensemble des équipements (isolation électrique) qui seront soumis aux différents contrôlés et

verrouille avec un cadenas en présence du chargé de consignation afin de signaler sa présence et son intervention pour éviter tout type de risque pendant son intervention sur le matériel.



Figure 40 : Cadenas de consignation de l'atelier Broyage Coke



Figure 41 : Poste électrique CH3



Figure 42 : Cadenas d'isolation

1.2. Problèmes constatés :

La visite était effectuée sur tout le matériel de l'atelier broyage, on constat des dégradations importantes au niveau des équipements soumis aux différentes sollicitations.

- usure des galets qui augmente le jeu par conséquent diminue la broyabilité du coke.



Figure 43 : Galets usés

- bouchage des diffuseurs ce qui empêche l'injection de l'air chaud dans le broyeur ce qui influe sur le séchage du coke.



Figure 44 : Diffuseurs bouchés

- bouchage de la gaine d'air de nettoyage



Figure 45 : Débouchage de la gaine d'air de nettoyage

D'après la visite nous avons constaté aussi que :

- Etat mécanique de séparateur est correct
- Etat mécanique de la piste est correct
- Etat des chemises des galets est moyen

1.3. Les leviers d'actions :

La faille détectée	Son influence sur la finesse du coke de pétrole	Les actions engagées
Galets usés	Dégradation de la broyabilité	Changement de revêtement
Diffuseurs bouchés	Manque de ventilation	Nettoyage manuel
Bouchage de la gaine d'air de nettoyage	Difficulté de broyage	Débouchage manuel

Tableau 9 : les actions engagées

2. Bilan aéraulique :

2.1. Objectif du bilan aéraulique :

Le bilan aéraulique est une méthode servant à quantifier et validé la qualité d'un confinement suite à une réflexion globale des moyens de ventilation à mettre en œuvre selon la configuration des lieux.

Ce bilan consiste à faire une étude prévisionnelle pour détecter les failles au niveau des flux d'air dans les zones d'écoulement et une réflexion sur le positionnement des entrées d'air, des extracteurs et des sas.

Sous titre de sécurité :

- Il faut signaler que le ventilateur hurriclon des gaz chaud n'est pas mentionné parmi les équipements à consigner pour intervenir à l'intérieur du broyeur.
- il faut signaler que le pourcentage O2 sortie filtre broyeur est à l'ordre de 14% ; une valeur inacceptable dans un milieu inflammable et explosif.

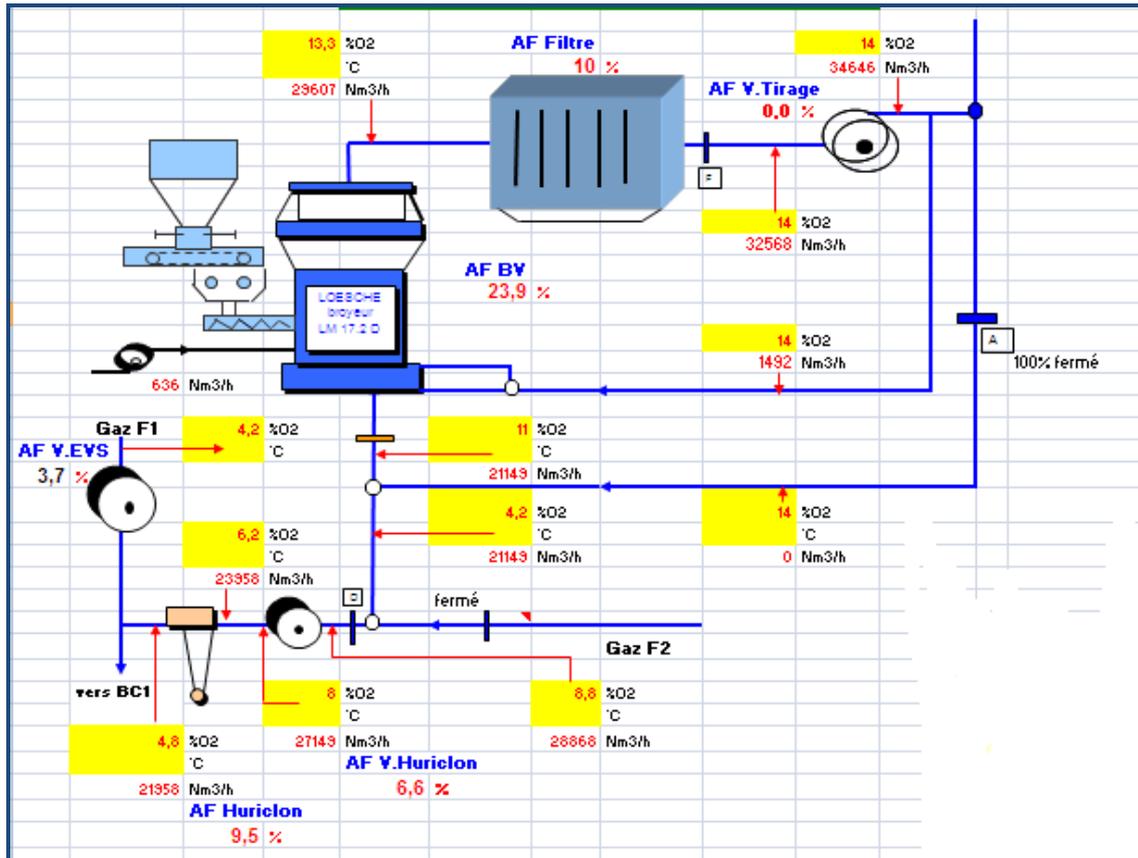


Figure 46 : Synoptique des points de mesure des airs faux

2.2 Tableau comparatif des capteurs procédés :

Date/Heure	T° entrée broyeur		
	Mesure	Indication	Ecart
02/06/2011 15:20	200 °C	195 °C	-5 °C

Date/Heure	T° sortie broyeur		
	Mesure	Indication	Ecart
02/06/2011 15:30	83 °C	76 °C	-7 °C

Date/Heure	Dépression entrée broyeur		
	Mesure	Indication	Ecart
02/06/2011 15:25	151 mmCE	-145 mmCE	-296 mmCE

Date/Heure	DP broyeur		
	Mesure	Indication	Ecart
02/06/2011 15:30	284 mmCE	283 mmCE	-1 mmCE

Date/Heure	Débit d'air sortie filtre		
	Mesure	Indication	Ecart
01/06/2011 11:22	48879 m3/h	38140 m3/h	5572 m3/h

Tableau 10 : Tableau comparatif des capteurs procès

2.3 Les airs faux de l'atelier :

Débit gaz chauds+recirculation calculé (sec)	20303	Nm3/h	
Débit sortie filtre simulé/mesure (sec)	30614	Nm3/h	
O2 entrée broyeur recalculé	11,48	%	
Air faux Broyeur+filtre	36 %	%	
Air faux Broyeur seul	24 %	Référence	<15%
Air faux filtre	10,0 %	Référence	<10%
Air faux ventilateur de tirage ch3	%	Référence	<5%
Air faux total(Atelier)	36 %	Référence	<30%
Air faux vent EVS	4 %	Référence	<30%
Air faux huriclon	9 %	Référence	<5%
air faux vent huriclon	6 %	Référence	<5%

Tableau 11 : Les airs faux de l'atelier

Pour le calcul des airs faux du broyeur on se base sur le ratio suivant :

$$100 * [(oxygène\ entrée\ broyeur - oxygène\ sortie\ broyeur) / (air\ ambiant - oxygène\ entrée\ broyeur)]$$

⇒ Avec l'air ambiant est de 20,9°C

On note que les airs faux du broyeur est très important ; ce qui influe sur la ventilation du broyeur d'une part et la consommation électrique d'autre part.

2.4. Détection des airs faux :



Figure 5.

verts

On peut conclure que :

- le broyeur est sur
- l'air faux de la ga
- l'air faux du broyeur

2.5 Les leviers d'actions :

La faille détectée	Son influence sur la finesse du coke de pétrole	Les actions engagées
Manque d'étanchéité de la porte visite gaine gaz entré	La création des airs faux ce qui influence sur la température et la ventilation du broyeur	Assurer l'étanchéité de la porte visite pour éliminer les airs faux
Manque d'étanchéité de la porte visite de la vise	La création des airs faux ce qui influence sur la température et la ventilation du broyeur	Assurer l'étanchéité de la porte visite pour éliminer les airs faux
Manque d'étanchéité de la	La création des airs faux ce qui influence sur la température et	Assurer l'étanchéité de la porte visite pour éliminer les airs



porte visite filtre	la ventilation du broyeur	faux
Les deux clapets sont ouverts	Baisser la température des gaz entré broyeur	Fermer les clapets

Tableau 12 : les actions engagées

Dans le but de l'amélioration de la finesse du coke de pétrole nous nous sommes aussi intéressés aux actions suivantes :

La faille détectée	Son influence sur la finesse du coke de pétrole	Les actions engagées
La vitesse du séparateur est basse	La diminution de la sélectivité granulométrique	Régler la vitesse à partir du Variateur de vitesse
La température de sortie du broyeur est basse	Influence des les airs faux sur la finesse	Eliminer les airs faux
ΔP élevée	Difficulté de broyage	La réduction du flux des matières d'alimentations
Le ratio du Débit d'air non maîtrisé	Influence sur la ventilation du broyeur	Eliminer les airs fau + la mise en place d'un régulateur o nivo du broyeur

Tableau 13 : Actions engagées

Conclusion



Ce projet de fin d'étude au sein de la société LAFARGE nous a permis de connaître de plus près le monde de la fabrication du ciment, ainsi que d'approfondir nos connaissances dans le domaine du broyage et la technologie de fragmentation. Le but de ce modeste travail était l'amélioration de l'atelier CH3 afin d'optimisation de **la finesse du coke de pétrole**.

L'objectif essentiel du service **PROCEDE** dans l'optimisation de la finesse du **coke de pétrole** est la diminution du cycle de la volatilisation qui était très élevé et qui causait la concrétion des parois des cyclones de l'échangeur par voie sèche.

Le premier volet de notre travail était le diagnostic de l'état initial de l'atelier, la formulation de la problématique, et finalement la détection des leviers d'actions sur lesquelles on peut agir pour pouvoir améliorer et optimiser le fonctionnement de l'atelier. Tout cela a été fait en se basant d'un côté sur des articles scientifiques et de recherches publiés dans ce domaine, et d'un autre côté en discutant nos choix et nos propositions avec l'équipe responsable sur l'atelier.

La deuxième partie de notre travail a été consacré au diagnostic de l'état de l'atelier en général et le broyeur en particulier. A l'aide des bilans aérauliques et du mini audit, dont l'objectif était d'évaluer les performances et le rendement de l'atelier CH3. Nous avons pu comparer les résultats que nous avons obtenus avec ceux des bilans précédents, cela nous a permis ainsi de nous prononcer sur l'évolution des performances du broyeur.

En suite nous sommes passés à l'étape de l'optimisation qui concerne essentiellement les deux facteurs les plus critiques sur la finesse du **coke**. L'objectif essentiel de cette partie est de pouvoir ajuster les paramètres concernés et aussi de diminuer le coût énergétique.

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau 1 : capacité de production des sociétés productives du ciment au MAROC	6
Tableau 2 : Composition chimique du marc d'olives	28
Tableau 3 : Composition élémentaires du FIOUL	30
Tableau 4 : Composition chimique du COKE de PETROLE	32
Tableau 5 : Caractéristiques techniques du broyeur de coke de LAFARGE	36
Tableau 6 : La consommation calorifique de l'usine du mois de JANVIER au mois d'AVRIL	43
Tableau 7 : Caractéristiques et conditionnements des prélèvements des combustibles de LAFARGE	48
Tableau 8 : tableau comparatif des valeurs moyennes des paramètres du broyeur des deux périodes	59
Tableau 9 : Les actions engagées	67
Tableau 10 : Tableau comparatif des capteurs procès	68
Tableau 11 : les airs faux de l'atelier	69
Tableau 12 : Les actions engagées	71
Tableau 13 : Actions engagées	72

Listes des figures

Figure	Page
Figure 1 : La répartition des capacités des différents groupes au MAROC	6
Figure 2 : Répartition du capital de LAFARGE-MAROC	8
Figure 3 : Organigramme de la société LAFARGE	10
Figure 4 : Schéma descriptif de l'obtention du ciment	15
Figure 5 : Schéma général du processus de fabrication du ciment	16
Figure 6 : Foreuse d'extraction des matières premières	17
Figure 7 : Homogénéisation des cuttigns pour l'échantillonnage	17
Figure 8 : Extraction de la matière première	18
Figure 9 : Concasseur HAZMAG	18
Figure 10 : Dépôt circulaire	19
Figure 11 : Hall de pré homogénéisation	19
Figure 12 : Intérieur d'un broyeur à boulets	20

Figure 13 : Four rotatif	21
Figure 14 : Clinker	23
Figure 15 : Transport et expédition du ciment	24
Figure 16 : Des pneus déchiquetés	27
Figure 17 : Stock des grignons d'olives	28
Figure 18 : Du charbon	30
Figure 19 : Aménagement du stock du COKE de PETROLE	31
Figure 20 : Broyeur vertical ou à galets	33
Figure 21 : Synoptique broyeur	35
Figure 22 : Composition du broyeur vertical ou à galets	37
Figure 23 : Vue de dessus d'une intervention de maintenance d'un broyeur vertical	38
Figure 24 : Séparateur 3^{ème} génération	39
Figure 25 : Filtre à manche	41
Figure 26 : Schéma du fonctionnement d'un filtre à manche	41
Figure 27 : Schéma descriptif de la phase cuisson (cyclone)	45
Figure 28 : Etat des concrétions dans les cyclones en fonction de ΔP	45
Figure 29 : Evolution du gaz SO₂ dans les cyclones	45
Figure 30 : Evolution du SO₃ dans les cyclones	46
Figure 31 : Evolution de la finesse du COKE	46
Figure 32 : Schéma descriptif des points de prélèvement du COKE de PETROLE	47
Figure 33 : Prélèvement du COKE de PETROLE	49
Figure 34 : Mesure du poids de l'échantillon	49
Figure 35 : Tamis	49
Figure 36 : Machine vibratoire pour le tamisage	50
Figure 37 : Machine pour la mesure de l'humidité	50
Figure 38 : Histogrammes comparatifs des valeurs moyennes des paramètres entre les différentes périodes signalées	59
Figure 39 : Application du diagramme d'ISHIKAWA	63
Figure 40 : Cadenas de consignation de l'atelier broyage COKE	64
Figure 41 : Poste électrique CH3	64

Figure 42 : Cadenas d'isolation	64
Figure 43 : Galets usés	65
Figure 44 : Diffuseurs bouchés	65
Figure 45 : Débouchage de l gaine d'air de nettoyage	66
Figure 46 : synoptique des points de mesure des airs faux	68
Figure 47 : Porte visite gaine gaz entrée	70
Figure 48 : Manque d'étanchéité	70
Figure 49 : Porte visite de la vis	70
Figure 50 : porte visite filtre	70
Figure 51 : Les deux clapets des cyclones hureclon sont ouverts	71

Annexes





Contrôle des matières d'approvisionnement

Matière	Lieu d'échantillonnage	Type d'échantillon	Poids d'échantillon	Responsable d'échantillonnage	Fréquence de contrôle							Types d'analyses	Opérateur responsable d'analyses	Consignes et seuils			Actions à entreprendre	Service responsable	Personnes à informer	Enregistrement des données	Commentaires					
					1 h	2 h	3 h	4 h	8 h	24 h	Hebdomadaire			Mensuel	Autres	Paramètre						Seuil min.	Consigne	Seuil max.		
Matères premières :																										
Schiste	Sur camion lors de déchargement au Hall de stockage	1 échantillon instantané + 3 autres à tour de rôle entre fournisseurs	min 3 Kg par camion	(OMP) Opérateur matières premières							✓				Humidité	Laborantin Normal	% H2O	<6%	>10%	Aviser les scs des Achats et Gestion de l'exploitation	Scs Gestion de l'exploitation	Responsable qualité Gestionnaire scs exploitation Responsable des Achats	Base des données qualité	Registre "Réception et analyses des matières premières"		
											✓						Analyses chimiques	% CaCO3	≤6%						>8%	Réclamation écrite au fournisseur
											✓							Perte au feu	PF							
Combustibles solides :																										
Combustible solide (Coke de pétrole & charbon)	Hall de déchargement des combustibles	Un échantillon instantané de chaque wagon	500gr par wagon	Responsable déchargement Wagons											Humidité	Laborantin posté	% H2O			Aviser le gestionnaire scs Gestion de l'exploitation	Scs Gestion de l'exploitation	Gestionnaire scs exploitation	Base des données qualité			
		Echantillon instantané	5kg	Laborantin										Par cargaison			Éléments chimiques, PCI, PCS _{max}	Laboratoire extérieur	Spécification des contrats d'achat						Diffusion du rapport d'analyse au gestion d'exploitation	Scs Gestion de l'exploitation



CTEO PITOT CALCULATION SHEET - Y06

Use of the calculation sheet

plant: **MEKNES**
workshop: **LM17**
Condition of the test: **Gaz four1**

Date: **01/06/2011**
Origin of the source: **gaz four**
Measurement point: **air nettoyage côté BK4**

Time: **10:00**

DUCT		minimum of measurement points				0	20	Aeraulic surface	
Circular : DIAMETER	0,16 m	Dynamic Pressure				mmVG	pos' pitot	0,02 m2	
Tapping	0,19 m	1	0,90			0,192 m	Avg. Dyn. Pressure 1,19 Pa		
		2	0,00			0,196 m	RHO w/o dust (wet) 1,128 kg/m3		
Rectangular : WIDHT		3	0,00			0,201 m	RHO with dust (wet) 1,128 kg/m3		
Rectangular : HEIGHT		4	0,20			0,206 m	Velocity 1,24 m/s		
		5				0,211 m	Flow (wet) 0,02 m3/s		
Temperature	27 °C	6				0,216 m	Flow (wet) 0,02 Nm3/s		
Static Pressure	-68,4 mmVG	7				0,223 m	Flow (wet) 0,090 m3/h		
		8				0,230 m	Flow (wet) 0,075 Nm3/h		
Pitot Tube Ratio	0,850	9				0,239 m			
		10				0,252 m	P&T correction 0,8391		
Dust concentration	0,0 g/m3	11				0,288 m			
Dust concentration	0,00 kg/Nm3	12				0,301 m			
		13				0,310 m	Calculation of gas flow at reference conditions		
Dust flow (t/h)	0,000	14				0,317 m	% H2O ref 0,00		
		15				0,324 m	Flow (H2O ref) 0,070 Nm3/h		
Barometric Pressure	94 000,0 Pa	16				0,329 m			
Atmospheric Pressure Ratio	or 0,928	17				0,334 m	% O2 ref 10,00		
Elevation "h"	600 m	18				0,339 m	Flow (H2Oref @ %O2ref) 0,051 Nm3/h		
Atm. Pressure @ "h"	9 588,1 mmVG	19				0,344 m	Flow (H2Oref @ %O2ref) 0,01 Nm3/s		
Atm. Pressure @ "h"	93993,20 Pa	20				0,348 m			
							NB VAL : 4		
							VAL maxi : 0,90		

75% Rule : **Warning : only 50% of measurements are larger than 10% of maximum pressure. bad datas**

GAS COMPOSITION		dry		humid		
M : Gas Molecular Weight (Wet)	M : Gas Molecular Weight (dry)	% H2O	7,00		Gas Density (wet)	1,345 kg/Nm3
30,126 g/mole	31,038 g/mole	% CO dry	0,03	0,03	P&T RHO corr. w/o dust (wet)	1,128 kg/m3
Standard Atmospheric Composition	0,03%	% CO2 dry	15,00	13,95	Gas Density (H2O ref)	1,386 kg/Nm3
	20,93%	% O2 dry	12,90	12,00	P&T RHO corr. w/o dust (H2O ref)	1,163 kg/m3
	0,93%	% Ar dry	0,93	0,86		
	78,10%	% N2 dry		66,16		



CTEO PITOT CALCULATION SHEET - V06						Use of the calculation sheet	
plant: MEKNES			Date: 01/06/2011			Time: 09:35	
workshop: LM17			Origin of the source: gaz four				
Condition of the test: Gaz four1			Measurement point: sortie filtre				
DUCT		minimum of measurement points		8	20	Aeraulic surface 0,71 m ²	
Circular : DIAMETER	0,95 m	Dynamic Pressure		mmVG		pos' pitot	Avg. Dyn. Pressure 164,55 Pa
Tapping	0,19 m	1	2,40	17,70		0,202 m	RHO w/o dust (wet) 0,897 kg/m³
		2	17,60	17,70		0,227 m	RHO with dust (wet) 0,897 kg/m³
Rectangular : WIDHT		3	17,60	17,80		0,254 m	
Rectangular : HEIGHT		4	19,40	1,70		0,282 m	Velocity 19,15 m/s
		5	187,60			0,313 m	Flow (wet) 13,58 m ³ /s
Temperature	80 °C	6	12,20			0,347 m	Flow (wet) 9,05 Nm ³ /s
Statio Pressure	-692,29 mmVG	7	17,40			0,384 m	Flow (wet) 48 879 m ³ /h
		8	19,60			0,428 m	Flow (wet) 32 568 Nm³/h
Pitot Tube Ratio	1,000	9	16,20			0,481 m	
		10	15,70			0,559 m	P&T' correction 0,6663
Dust concentration	0,0 g/m³	11	5,20			0,771 m	
Dust concentration	0,00 kg/Nm³	12	4,20			0,849 m	
		13	10,80			0,903 m	Calculation of gas flow at reference conditions
Dust flow (t/h)	0,000	14	16,80			0,946 m	% H2O ref 0,00
		15	17,50			0,983 m	Flow (H2O ref) 30 614 Nm ³ /h
		16	15,70			1,017 m	
Barometric Pressure	94 000,0 Pa	17	14,90			1,048 m	% O2 ref 10,00
Atmospheric Pressure Ratio	or 0,928	18	16,40			1,076 m	Flow (H2Oref @ %O2ref) 16 609 Nm ³ /h
Elevation "h"	600 m	19	18,10			1,103 m	Flow (H2Oref @ %O2ref) 4,61 Nm ³ /s
Atm. Pressure @ "h"	9 588,1 mmVG	20	17,90			1,128 m	
Atm. Pressure @ "h"	93993,20 Pa						
				NB VAL :	24		
				VAL maxi :	187,60		
75% Rule : Warning : only 12,5% of measurements are larger than 10% of maximum pressure. bad datas							
GAS COMPOSITION				dry	humid		
M : Gas Molecular Weight (wet)	M : Gas Molecular Weight (dry)	% H2O	6,00			Gas Density (wet)	1,346 kg/Nm³
30,155 g/mole	30,930 g/mole	% CO dry	0,03	0,03		P&T' RHO corr. w/o dust (wet)	0,897 kg/m³
Standard Atmospheric Composition	0,03%	% CO2 dry	13,80	12,97		Gas Density (H2O ref)	1,381 kg/Nm ³
	20,93%	% O2 dry	15,00	14,10		P&T' RHO corr. w/o dust (H2O ref)	0,920 kg/m ³
	0,93%	% Ar dry	0,93	0,87			
	78,10%	% N2 dry		66,03			



MEKNES

Date : 01/06/2011

Time : 09:45

LM17

Origin of the source : gaz four

Air atmosphérique

Measurement point : air barrage

JCT

		minimum of measurement points		0	20
		Dynamic Pressure		mmVG	pos' pitot
0,16 m		1	14,30		0,192 m
0,19 m		2	11,80		0,196 m
		3	9,40		0,201 m
		4	7,40		0,206 m
		5	7,10		0,211 m
29 °C		6	6,00		0,216 m
25,2	mmVG	7	4,80		0,223 m
		8	2,70		0,230 m
1,000		9	2,20		0,239 m
		10	1,40		0,252 m
0,0 g/m ³		11			0,268 m
0,00 kg/Nm ³		12			0,301 m
		13			0,310 m
0,000		14			0,317 m
		15			0,324 m
94 000,0 Pa		16			0,329 m
or		17			0,334 m
600 m		18			0,339 m
9 588,1 mmVG		19			0,344 m
93993,20 Pa		20			0,348 m
			NB VAL :	10	
			VAL maxi :	14,30	

Aeraulic surface	0,02 m ²
Avg. Dyn. Pressure	59,43 Pa
RHO w/o dust (wet)	1,087 kg/m ³
RHO with dust (wet)	1,087 kg/m ³
Velocity	10,46 m/s
Flow (wet)	0,21 m ³ /s
Flow (wet)	0,18 Nm ³ /s
Flow (wet)	0,757 m ³ /h
Flow (wet)	0 636 Nm ³ /h
P&T' correction	0,8409
Calculation of gas flow at reference conditions	
% H ₂ O ref	0,00
Flow (H ₂ O ref)	0 636 Nm ³ /h
% O ₂ ref	10,00
Flow (H ₂ Oref @ %O ₂ ref)	0 002 Nm ³ /h
Flow (H ₂ Oref @ %O ₂ ref)	0,00 Nm ³ /h

75% Rule : correct dynamic pressure data distribution

COMPOSITION

		dry	humid
M : Gas Molecular Weight (dry)	% H ₂ O	0,00	
28,957 g/mole	% CO dry	0,00	0,00
ospheric Composition 0,03%	% CO ₂ dry	0,00	0,00
20,93%	% O ₂ dry	20,90	20,90
0,93%	% Ar dry	0,93	0,93
78,10%	% N ₂ dry		78,17

Gas Density (wet)	1,293 kg/Nm ³
P&T' RHO corr. w/o dust (wet)	1,087 kg/m ³
Gas Density (H ₂ O ref)	1,293 kg/Nm ³
P&T' RHO corr. w/o dust (H ₂ O ref)	1,087 kg/m ³

Calcul Air faux Atelier LM17 Du: 28/03/08

Boucler le calcul

Données à saisir

O2 arrivée gaz chauds	4,2	%
O2 entrée broyeur après recirculation	11	%
O2 sortie broyeur	13,3	%
O2 sortie filtre	14	%
O2 refoulement ventilateur	14	%
Débit air de nettoyage*2 (sec)	1492	Nm3/h
Débit air de barrage(petit ventilateur)	636	Nm3/h
Débit gaz sortie filtre (sec)	30614	Nm3/h
%H2O gaz sortie filtre	6	%
%H2O gaz chauds entrée LM17	4	%
O2 entrée vent EVS	4,2	%
O2 entrée huriclon	4,8	%
O2 sortie huriclon	6,2	%
O2 entrée vent huriclon	8	%
O2 sortie vent huriclon	8,8	%

Résultats

Débit gaz chauds+recirculation calculé(sec)	20303	Nm3/h
Débit sortie filtre simulé/mesure (sec)	30614	Nm3/h
O2 entrée broyeur recalculé	11,48	%
Air faux Broyeur+filtre	36 %	%
Air faux Broyeur seul	24 %	Référence <15%
Air faux filtre	10,0 %	Référence <10%
Air faux ventilateur de tirage ch3	%	Référence <5%
Air faux total(Atelier)	36 %	Référence <30%
Air faux vent EVS	4 %	Référence <30%
Air faux huriclon	9 %	Référence <5%
air faux vent huriclon	6 %	Référence <5%



Webliographie

<http://www.youtube.com/watch?v=ZMAziENW2Mg&feature=related>

http://www.lafarge.ma/lafarge/index_lafarge.jsp

<http://www.lafarge.ma/lafarge/fr/acces-direct/Annuaire.jsp>

<http://www.infociments.fr/betons/composition/constituants/ciment>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>



Bibliographie

- Guide de l'atelier CH3
- Les combustibles
- Les résultats des analyses du coke
- Guide Synoptique usine **LAFARGE**