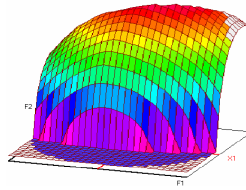


Année Universitaire : 2011-2012



Master Sciences et Techniques CAC Agiq
Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion
industrielle de la qualité

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

*Etude de la régularité du cru du
ciment par des méthodes
statistiques*

Présenté par:

BAKKASS SOUKAINA

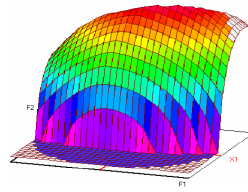
Encadré par:

- JALAL Abdelhakim LAFARGE
- KHALIL Fouad FST Fès

Soutenu Le 18 Juin 2012 devant le jury composé de:

- M^r M.EL.ASRI
- M^r A.BEN-TAMA
- M^r E.H.ALILOU
- M^r F.KHALIL

Stage effectué à : LAFARGE Ciments Meknès



Master ST CAC Agiq

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

Nom et prénom: **BAKKASS SOUKAINA**

Année Universitaire : **2011/2012**

Titre: **Etude de la régularité du cru du ciment par des méthodes statistiques.**

Résumé

Le sujet de mon projet de fin d'études était une grande réussite pour moi, car il m'a permis de mettre en application un ensemble de concepts et d'outils statistiques relatifs à la gestion de la qualité. Il m'a aussi permis de réaliser plusieurs expériences et manipuler plusieurs appareils de la technologie cimentière. Ce projet a aussi constitué un important apport au service qualité de LAFARGE CIMENTS Meknès, puisqu'il a permis d'une part de trouver une solution à l'une des causes majeures de l'irrégularité du cru qui est la gestion des poussières et d'autre part de s'assurer de la stabilité des matières premières et de la fiabilité des échantillonneurs à la sorti BCs.

Mots clés: Cru-matières premières-poussières-échantillonneurs

Table des matières

Introduction.....1

PREMIERE PARTIE: CONTEXTE GENERAL DU PROJET	
CHAPITRE 1: Présentation de l'organisme d'accueil	
1.	Aperçu général sur le secteur cimentier au Maroc 2
1.1.	Historique 2
1.2.	Le secteur cimentier Marocain 2
2.	LE groupe LAFARGE 3
3.	Présentation de LAFARGE usine de Meknès 4
3.1	Historique 4
3.2	Situation géographique..... 4
3.3	Fiche signalétique..... 5
3.4	Organigramme..... 6
3.5	L'environnement à LAFARGE Meknès 7
3.6	La sécurité à LAFARGE Meknès 7
CHAPITRE 2 : Processus de fabrication du ciment	
1.	Description des produits fabriqués par LAFARGE Meknès 8
1.1	Nature et Caractéristiques des constituants des ciments 8
a)	Clinker 8
b)	Calcaire 8
c)	Gypse..... 8
1.2	les produits fabriqués par LAFARGE 9
1.2.1	CPJ35 9
1.2.2	CPJ45 9
1.2.3	CPJ55 9
2.	le processus de fabrication du ciment 10
2.1	Carrière..... 10
2.2	Pré Homogénéisation 13
2.3	Broyage cru 12
2.4	Homogénéisation..... 13
2.5	Cuisson..... 13
2.6	Broyage de ciment..... 14
2.7	Stockage et expédition 15
DEUXIEME PARTIE: REALISATION DU PROJET	
CHAPITRE 3 : Définition et analyse des causes probables de la non régularité du cru	
1.	Annonce de la problématique du projet 16
2.	Le cru 16
3.	Définition et analyse des causes probables de la non régularité du cru 19
3.1	Définition 19
3.2	Les préalables à la construction d'un diagramme de cause à effet 19
3.3	Elaboration du diagramme d'ISHIKAWA 20
CHAPITRE 4: Etude de la stabilité des matières premières et gestion des poussières	
1.	Etude de la stabilité des matières premières 22

1.1	Etude de la stabilité des matières de correction	22
1.2	Etude de la stabilité du cru dosé.....	23
1.3	Etude de la stabilité des doseurs de correction.....	24
2.	Gestion des poussières.....	25
2.1	Description de la problématique	25
2.2	Etude de l'impact des poussières sur le cru sorti BC.....	27
2.3	L'impact de l'envoi des poussières directement au four lors des BCs en arrêts ..	29
2.4	Solution proposée	29
	a) Définition de MATLAB.....	30
	b) Le programme proposé	30
CHAPITRE 5: Etude de la stabilité des échantillonneur		
1.	Etude de la stabilité des échantillonneur	32
1.1	Vérification des échantillonneur	32
	a) Description	32
	b) Vérification du bon fonctionnement des échantillonneur.....	33
1.2	Echantillonnage et test d'homogénéité de l'échantillon	34
1.3	Echantillonnage et hétérogénéité	35
	1.3.1 L'erreur d'estimation globale	36
	a) Erreur fondamentale d'échantillonnage.....	36
	b) Erreur d'extraction	37
	c) Erreur analytique.....	37
	d) Erreur de préparation	40
CONCLUSION GENERALE		46
Références Bibliographiques.....		
Références Webographiques.....		
ANNEXES.....		
A: La clinkérisation		
B: Résultats des contrôles d'arrivée des matières de correction		
C: Graphe illustrant l'influence des poussières sur LSF et la consigne schiste.....		
D: Résultats de la vérification du cycles de l'échantillonneur		
E: Résultats de la FX des échantillons du test d'homogénéité		

Introduction

Lafarge Maroc, entreprise leader des matériaux de construction, s'organise autour d'une vision partagée par l'ensemble des collaborateurs sur une ambition commune avec la volonté d'atteindre l'excellence.

En ce sens, le groupe LAFARGE Maroc en général et l'usine de Meknès en particulier s'engage à être l'entreprise la plus performante, la plus engagée pour assurer la sécurité des personnes, le respect de l'environnement et surtout la plus appréciée des clients par la qualité de ses produits et de ses services.

Ainsi, en terme de maîtrise technique de la qualité des produits de ciment, l'usine de Meknès veille à tous les niveaux de la ligne de production sur la constitution du ciment et procède à des ajouts correctifs pour garantir la qualité requise par le client.

Pour fabriquer le meilleur clinker ou ciment possible et dans les meilleures conditions de marche, il faut donc un cru adapté chimiquement aux objectifs qualité, et suffisamment régulier pour que la cuisson dans le four soit elle-même stable et régulière.

Fabriquer un bon cru demande la mise en œuvre des moyens, des techniques d'analyses, des objectifs qualités et l'organisation du contrôle. Ainsi et pour maîtriser le procédé du Cru, LAFARGE Ciments et plus précisément l'Usine de Meknès a introduit un système de contrôle pour la maîtrise du procédé au niveau de l'atelier du cru afin d'en améliorer en continu la régularité et la stabilité.

Ce présent mémoire permettra, à travers sa première partie, d'effectuer un diagnostic destiné à l'organisme d'accueil ; en débutant par sa présentation, et en passant par l'explication du processus de fabrication du ciment.

La seconde partie parcourra, par le biais de quatre chapitres, la réalisation du projet, la définition et l'analyse des causes probables de la non-régularité du cru, étude des matières premières et gestion des poussières, finalement l'étude des échantillonneurs.

1. Aperçu général sur le secteur cimentier au Maroc

1.1 Historique

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.

C'est à partir de 1912 que le ciment commençât à être utilisé au Maroc, d'abord pour certaines réparations, puis pour les constructions principalement à Casablanca.

Ainsi, il fut décidé en 1913, l'implantation de la première cimenterie à Casablanca avec une capacité de production annuelle de 10 000 tonnes. L'accroissement des besoins nationaux en ciment a engendré l'extension de l'usine de Casablanca et la création de nouvelles unités.

De nos jours, le Maroc produit environ 24 millions tonnes / an, assurant ainsi son autosuffisance depuis 1982.

1.2 Le secteur cimentier Marocain

Le secteur cimentier marocain est caractérisé par la présence de quatre entreprises adossées à quatre grands groupes internationaux: LAFARGE MAROC, CIMENTS DU MAROC, HOLCIM et ASMENT. La figure suivante montre la répartition géographique de celles-ci au niveau national.



Figure 1: Répartition géographique des cimenteries au niveau national

2. LE groupe LAFARGE

Le groupe LAFARGE est le numéro un mondial des matériaux de construction, il rassemble 80000 collaborateurs dans 76 pays et a réalisé un chiffre d'affaire de 16 milliards d'euros en 2009. Il exerce des activités dans le ciment, les bétons, les granulats, et dans les plâtres.



Figure 2: LAFARGE au niveau mondial

LAFARGE Maroc développe des produits et services adaptés aux besoins des utilisateurs finaux: entreprises de bâtiment et travaux publics, producteurs de béton prêt à l'emploi, fabricants de produits en béton, ciment, sable et graviers...etc.

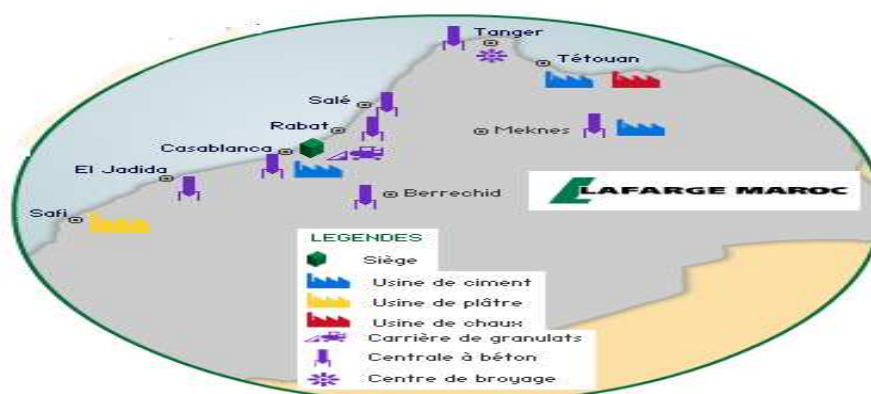


Figure 3: Répartition géographique des cimenteries LAFARGE au niveau national

LAFARGE Maroc est constituée de plusieurs usines : Bouskoura, Meknès, Tanger, Tétouan (deux sites) et Safi. Elle englobe le secteur avec **41.5%** de part de marché. A travers ces deux usines de Bouskoura et de Meknès, LAFARGE- Maroc produit près du tiers de la capacité de production totale du secteur.

3. Présentation de LAFARGE usine de Meknès

3.1 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 Ciments et faisait partie du groupe international LAFARGE.

Au démarrage de l'usine, la production de clinker du seul four installé était de 300 tonnes par jour, soit moins de 100000 tonnes par an. Depuis, plusieurs améliorations techniques ont été réalisées pour augmenter le niveau et les performances de production.

LAFARGE Meknès est aujourd'hui la troisième cimenterie en terme de capacité et en terme de consommation énergétique.

3.2 Situation géographique

La cimenterie de Meknès se trouve au Nord-Est de la ville à proximité immédiate de Hay Soussi et non loin de la route principale Meknès-Fès.

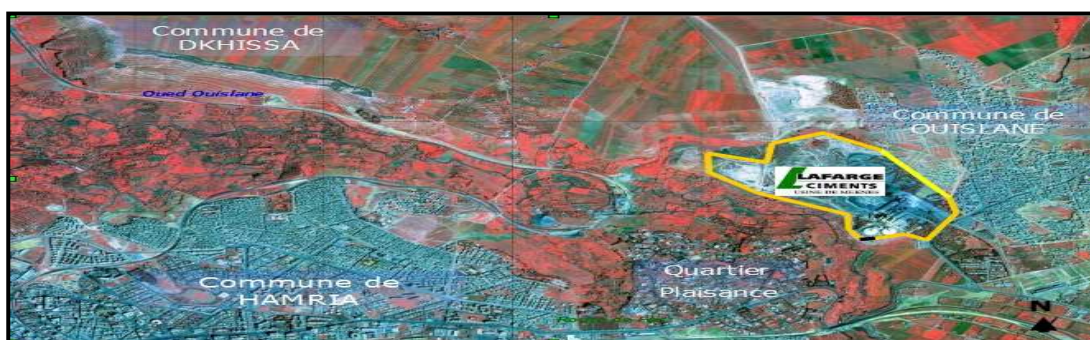


Figure 4: Situation géographique de Lafarge Meknès

3.3 Fiche signalétique

- ❖ **Dénomination** : LAFARGE Ciments (Usine de Meknès)
- ❖ **Siège social** : Km 8, route de Fès, BP : 33 Meknès ;
Standard : 05-35-52-26-44/45/46, Fax : 05-35-54-93-07
Direction usine : 05-35-54-92-93, Fax : 05-35-54-92-94
- ❖ **Nature juridique** : Société anonyme
- ❖ **Capital social** : 476 430 500 DH
- ❖ **Répartition du capital** : LAFARGE 50% et ONA 50%
- ❖ **Produits fabriqués** : Ciment portland avec ajouts **CPJ45** en sac et en vrac.
Ciment portland avec ajouts **CPJ35** en sac.
Ciment portland avec ajouts **CPJ55** en vrac.
- ❖ **Effectif du personnel** : 280, répartis comme suit :

Cadres	: 13
Agents de maîtrise (AGM)	: 55
Ouvriers +techniciens	: 21
Sous traitants	: 191

3.4 Organigramme

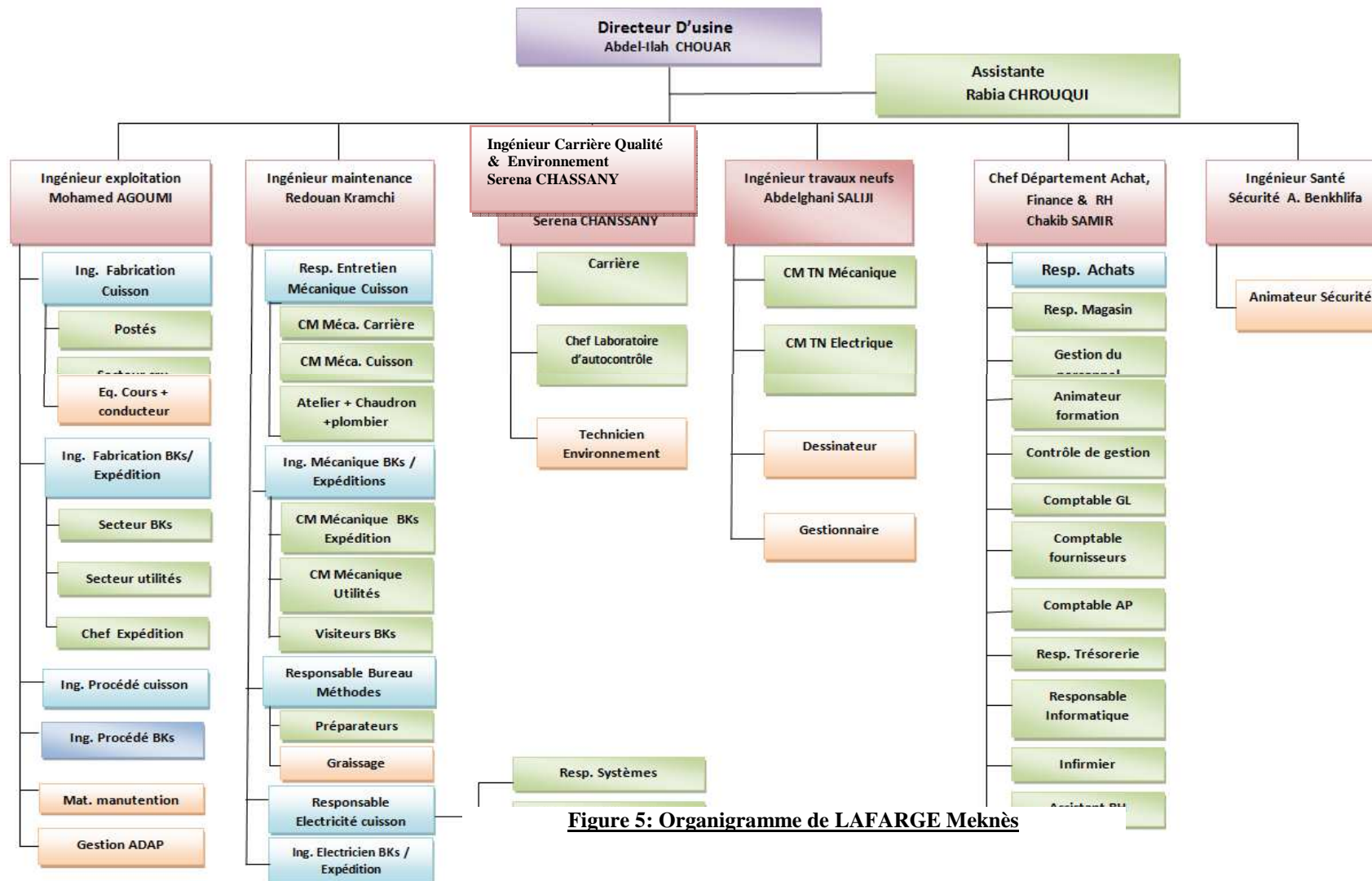


Figure 5: Organigramme de LAFARGE Meknès

3.5 L'environnement à LAFARGE Meknès

De nos jours, la protection et la mise en valeur de l'environnement représentent une composante incontournable du développement des entreprises. Pour LAFARGE Maroc, la protection de l'environnement répond d'abord à une exigence éthique. Elle part de la conviction qu'il n'est pas de croissance durable sans conciliation de la performance économique et du respect de l'environnement.

L'usine de Meknès s'est engagée en novembre 2000, dans la mise en place d'un Système de Management Intégrale (SMI) conforme au modèle de référence conçu par l'organisation internationale de standardisation (ISO 14001).

3.6 La sécurité à LAFARGE Meknès

LAFARGE adopte actuellement une nouvelle stratégie pour assurer la sécurité, et protéger la santé des travailleurs.

Toute personne qui travaille pour LAFARGE est en droit de disposer d'un environnement de travail sain, en toute sécurité. En retour, chacun doit également démontrer, par un engagement actif et une responsabilité visible, que la santé et la sécurité sont des valeurs fondamentales.

Lafarge a pris plusieurs mesures pour éviter tout danger probable, à savoir :

- ❖ La circulation à l'intérieur de l'usine;
- ❖ Le port des EPI ;
- ❖ L'hygiène et conditions du travail ;
- ❖ Les risques d'électrocution ;
- ❖ Les risques liés aux machines tournantes et risques mécaniques ;
- ❖ Les risques liés à la manipulation des produits chimiques ;
- ❖ Les risques de chute en hauteur ;
- ❖ La consignation = Un cadenas, une personne, une source d'énergie.

Ce laboratoire est divisé en plusieurs départements, agencés de telle sorte à assurer une bonne réception, identification et conservation des échantillons ainsi que la réalisation de tous les essais.

1. Description des produits fabriqués par LAFARGE Meknès

1.1 Nature et Caractéristiques des constituants des ciments



a) Clinker

Le clinker utilisé dans la fabrication des ciments est un clinker Portland caractérisé comme suit :

%C3S + %C2S	%CaO/%SiO2	%MgO
≥ 66%	≥ 2	≤ 5

Tableau 1: Caractéristiques du clinker

b) Calcaire

Le calcaire, utilisé comme constituant principal dans une proportion excédant 5% en masse, a les caractéristiques suivantes :

%CaCO3	Teneur en argile	Teneur en matières organiques (TOC)
≥ 70%	≤ 2%	≤ 0,5%

Tableau 2: Caractéristiques du calcaire d'addition

c) Gypse

Le gypse utilisé comme régulateur de prise, est caractérisé comme suit :

%SO3
≥ 38

Tableau 3: Caractéristique du gypse

1.2 Les produits fabriqués par LAFARGE Meknès

Pour répondre aux besoins spécifiques de ses clients, LAFARGE Maroc met à leur disposition une large gamme de ciments gris : CPJ 35, CPJ 45 et CPJ 55.

1.2.1 CPJ 35 (Ciment certifié NM)

Le CPJ 35 est un Ciment portland avec Ajouts, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 65%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse.

Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 35 doit être supérieure à 22.5MPa.

1.2.2 CPJ 45 (Ciment certifié NM)

Le CPJ 45 est un Ciment Portland avec Ajouts. Il doit contenir un pourcentage minimum en Clinker de 72%, le reste étant constitué d'ajouts comme le calcaire et le gypse.

Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 32.5MPa.

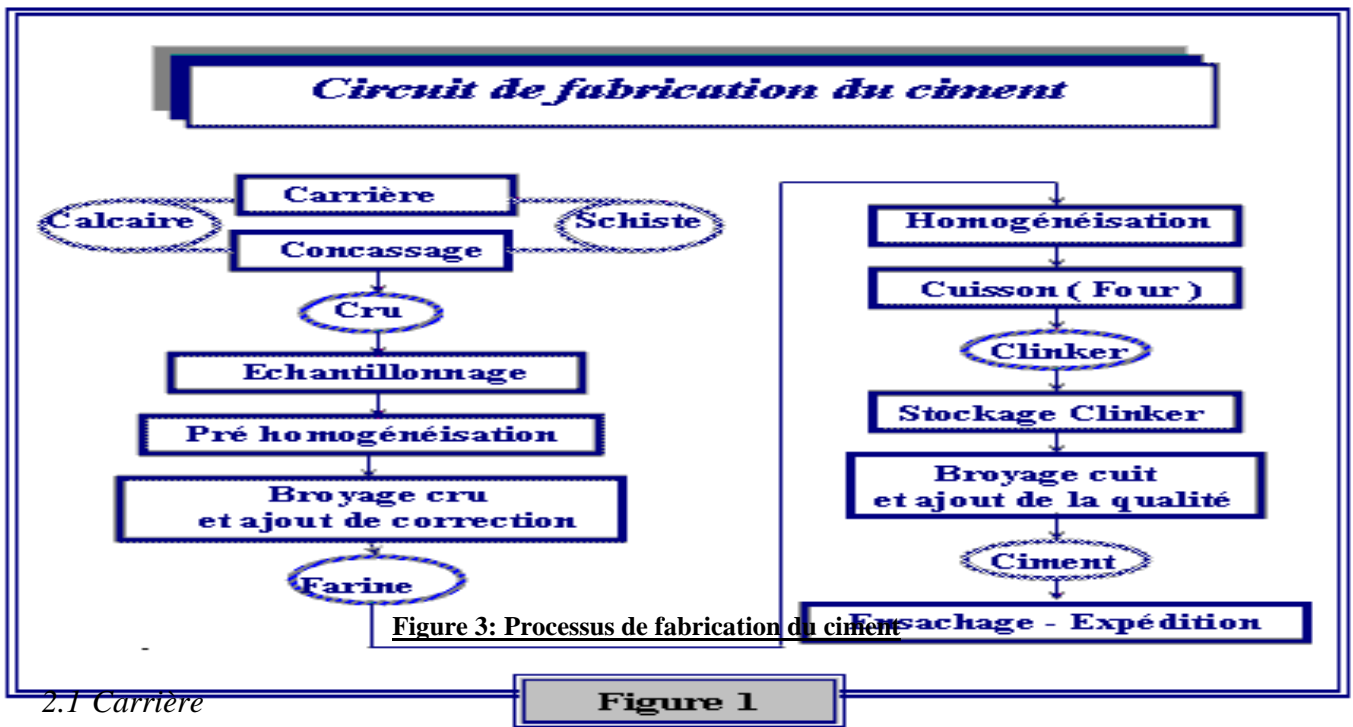
1.2.3 CPJ 55 (Ciment non certifié)

Le CPJ55 est un Ciment Portland avec Ajouts composé principalement de clinker et de calcaire, il doit contenir un pourcentage minimum en clinker de 83%. Sa résistance à 28 jours doit être supérieure à 48 MPa.

2. Le processus de fabrication du ciment

Il existe deux lignes de productions du ciment à LAFARGE-CIMENT Usine de Meknès, qui sont presque identiques. Le type de procédé qui est utilisé à l'usine est la voie sèche dont on fabrique un cru en sec (poudre) qui est introduit dans une tour de préchauffage.

De la carrière à l'ensachage la matière première du ciment suit des étapes différentes qui sont des transformations physique et chimique. La figure ci-dessous résume les différentes étapes pour les deux lignes de production à l'usine Meknès.



Du fait de la complexité géologique de la carrière qui est situé à 5,6 Km de l'usine, des mélanges de zones sont nécessaires pour l'obtention d'un cru dosé.



Figure8: la carrière

L'exploitation se fait sur un étage et comporte 4 phases principales :

- ❖ L'abattage à l'explosif par des mines profondes verticales ou par ripage avec les engins ;
- ❖ Le transport des matériaux abattus vers les deux concasseurs ;
- ❖ Le concassage des matériaux ;
- ❖ Le transport de la matière concassée vers l'usine par transporteur à bandes.

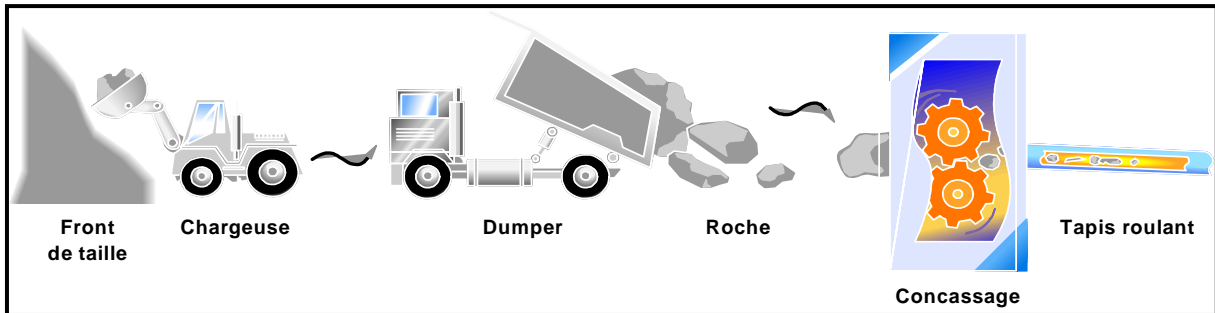


Figure 9: Première phase de la production: extraction et concassage

2.2 Pré Homogénéisation

Chimiquement, les matières de carrière sont souvent variables et il s'avère nécessaire de les mélanger pour éviter les variations brusques qui ont un impact néfaste sur la cuisson. C'est en fait le rôle de la pré homogénéisation : un tas se confectionne en superposant les calcaires et les argiles afin d'obtenir une répartition quasi-uniforme.

Un stock de pré homogénéisation est en général constitué de 2 tas (un en construction et l'autre en consommation) de matière concassée de granulométrie 30 mm, Le tonnage des tas peut varier de 10 000 à 100 000 tonnes chacun.

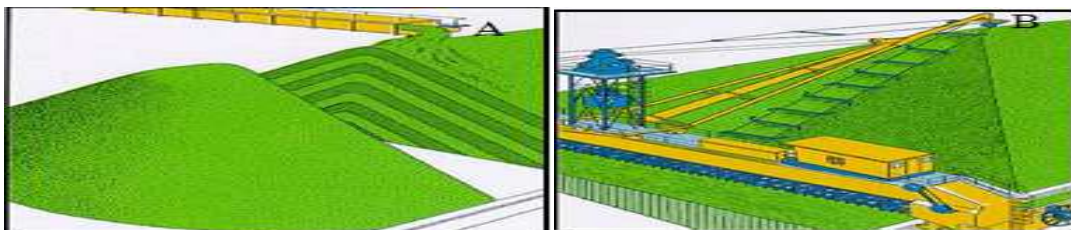


Figure 10: présentation des tas (A) : tas en construction (B) : en consommation



Figure 11: hall pour la pré-homogénéisation

L'extraction de la matière est faite par un gratteur (transporteur à godets), la matière est raclée par des herses au niveau de toute la surface d'attaque du tas. Ce raclage permet d'avoir un mélange homogène, appelé cru dosé, de l'ensemble des cordons réalisés lors de la constitution du tas. La matière est envoyée par un ensemble de transporteurs jusqu'à la trémie cru dosé du broyeur cru.

2.3 Broyage cru

L'opération du broyage est assurée par des galets qui sont actionnés par des vérins hydrauliques, monté et descente. Ils viennent écraser la matière sur une piste munie d'un mouvement de rotation moyennant un réducteur vertical. Le séchage et le transport de la matière broyée se fait à l'aide des gaz chauds provenant du four. La séparation des particules, suffisamment broyées, de celles nécessitant encore du broyage, se fait moyennant un séparateur placé au dessus des galets. Ainsi, le cru provenant de la pré-homogénéisation est alors réduit en poudre (farine de granulométrie de 30 mm vers 100µm).



broyeur cru

L'usine de Meknès dispose de deux broyeurs verticaux de type luesch LM27-30 à 3 galets avec une capacité qui dépasse 120 t/h et une puissance de 1200kw.

2.4 Homogénéisation

Après broyage, le cru est expédié, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation qui assurent à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine de capacité :

Silo 1 : 7500 tonnes.

Silo 2 : 5000 tonnes.

Figure 13: Silo d'homogénéisation

Cette homogénéisation permet d'alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.



2.5 Cuisson

Il s'agit d'un procédé par voie sèche. Les combustibles utilisés à la tuyère sont : principalement du coke de pétrole, en marche normale des fours, et du Fuel Haute Viscosité (FHV) lors de l'allumage.

A la sortie du silo d'homogénéisation, la farine est introduite par voie pneumatique en tête d'une tour de préchauffage à cinq étages et de 70 m de hauteur, dite E.V.S. Elle circule le long de cinq cyclones, à contre-

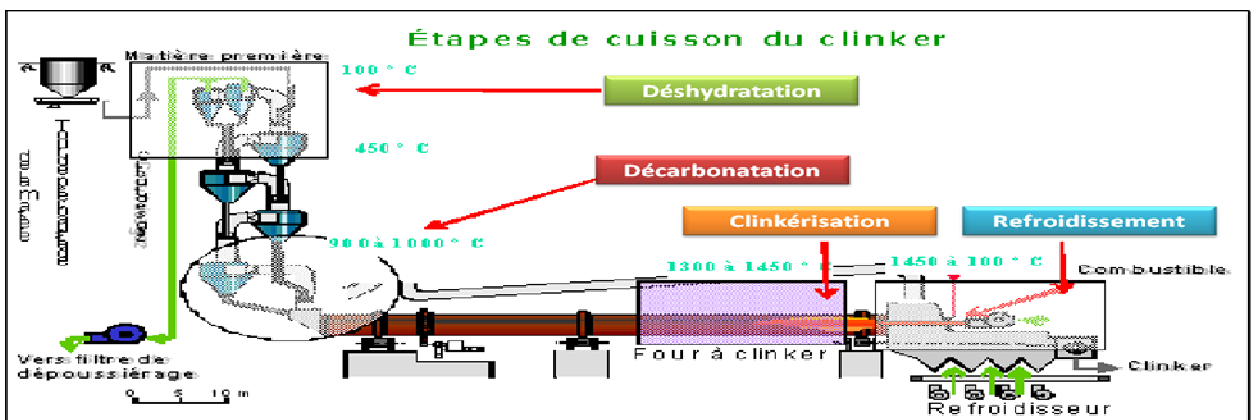


Figure 5: Les étapes de cuisson du clinker

courant des gaz chauds ascendants du four, l'évacuation de ces gaz étant assurée par le ventilateur de tirage évoqué précédemment. Il s'effectue alors un échange thermique le long de la tour qui s'accompagne des phénomènes suivants :

- ❖ Entre 250 et 750°C : déshydratation.
- ❖ Au-delà de 750°C : décarbonatation partielle de la farine.

L'usine dispose de deux fours rotatifs légèrement inclinés.



Figure 6: Le four

La réaction qui se produit dans le four est la clinkerisation ([voir Annexe A](#)). Elle a lieu entre 1200 et 1500°C et elle donne naissance à une phase liquide formée de C3A et C4AF, et à des phases solides formées de C2S et C3S.

2.6 Broyage de ciment

Une fois refroidi, le clinker est stocké dans un hall d'une capacité de 20000 t, équipé de deux ponts roulants. Le clinker est broyé dans un broyeur à boulet avec des matières d'ajouts, qui sont le calcaire et le gypse qui est un régulateur de prise.

L'atelier de broyage de l'usine est équipé de 3 broyeurs à boulets nommés BK3, BK4 et BK5.

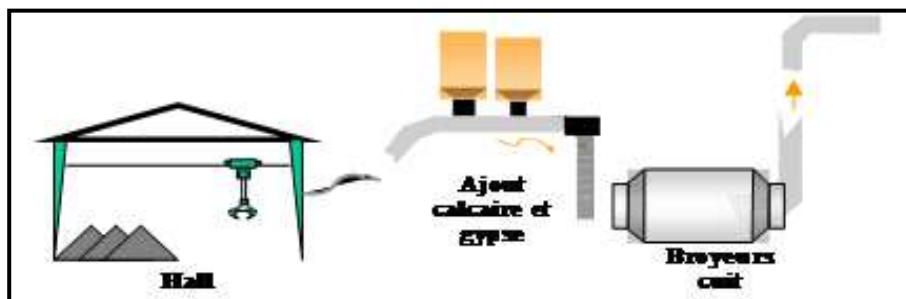


Figure 7: Broyage du ciment

2.7 Stockage et expédition

A l'aide des pompes pneumatiques, le ciment ainsi produit est envoyé vers les silos de stockage final, ils sont au nombre de sept.

L'ensachage du ciment est assuré par trois ensacheuses rotatives à huit becs et par trois ensacheuses en ligne. La livraison du ciment se fait par camion ou voie ferrée.

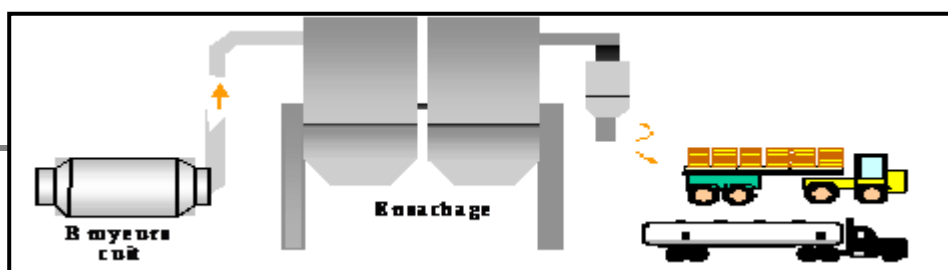


Figure 8: Expédition du ciment

1. Problématique du projet

QMC ou Quality Mix Control, est un logiciel LAFARGE pour la gestion et le contrôle de la qualité du mélange cru. Ce logiciel calcule, principalement, les proportions optimales des matières premières (Calcaire, Schiste, Bauxite, Minerai de fer), afin que la composition du cru soit la plus proche possible des critères de qualités spécifiés. Ainsi, QMC permet à partir de l'analyse chimique de l'échantillon du cru pris à la sortie du broyeur, à intervalles réguliers (2 heures), de calculer et d'envoyer les proportions optimales aux doseurs des matières premières de façon à atteindre les consignes qualités recherchées.

En bref, QMC optimise la capacité de l'usine à atteindre les objectifs de qualité pour la composition du cru et à maintenir la régularité dans le mélange qu'elle fabrique.

Ce logiciel élabore des cartes de contrôle pour suivre les critères de qualité (LSF , MS , A/F) afin de réguler le mélange à la sortie du broyeur. Toutefois, des non-conformités sont détectées fréquemment. Ces non-conformités sont dues à un ensemble de causes indépendantes et très variées. Avant de procéder à la recherche et à l'analyse de ces causes je dois tout d'abord définir le cru puisqu'il constitue mon objet d'étude.

2. LE CRU

La préparation du « cru » consiste à mélanger et broyer les matières premières de manière à obtenir un produit ayant une composition et une finesse prédéfinies. Une préparation optimale du cru pour la fabrication du ciment consiste à alimenter la ligne de cuisson avec une farine dont la qualité et l'homogénéité permettent une production économique de ciments de haute qualité. Il est donc impératif d'avoir une parfaite connaissance des matières utilisées (matières premières) afin de choisir, en fonction de leurs caractéristiques, le procédé de production et les techniques adéquates de pré homogénéisation, broyage et analyse.

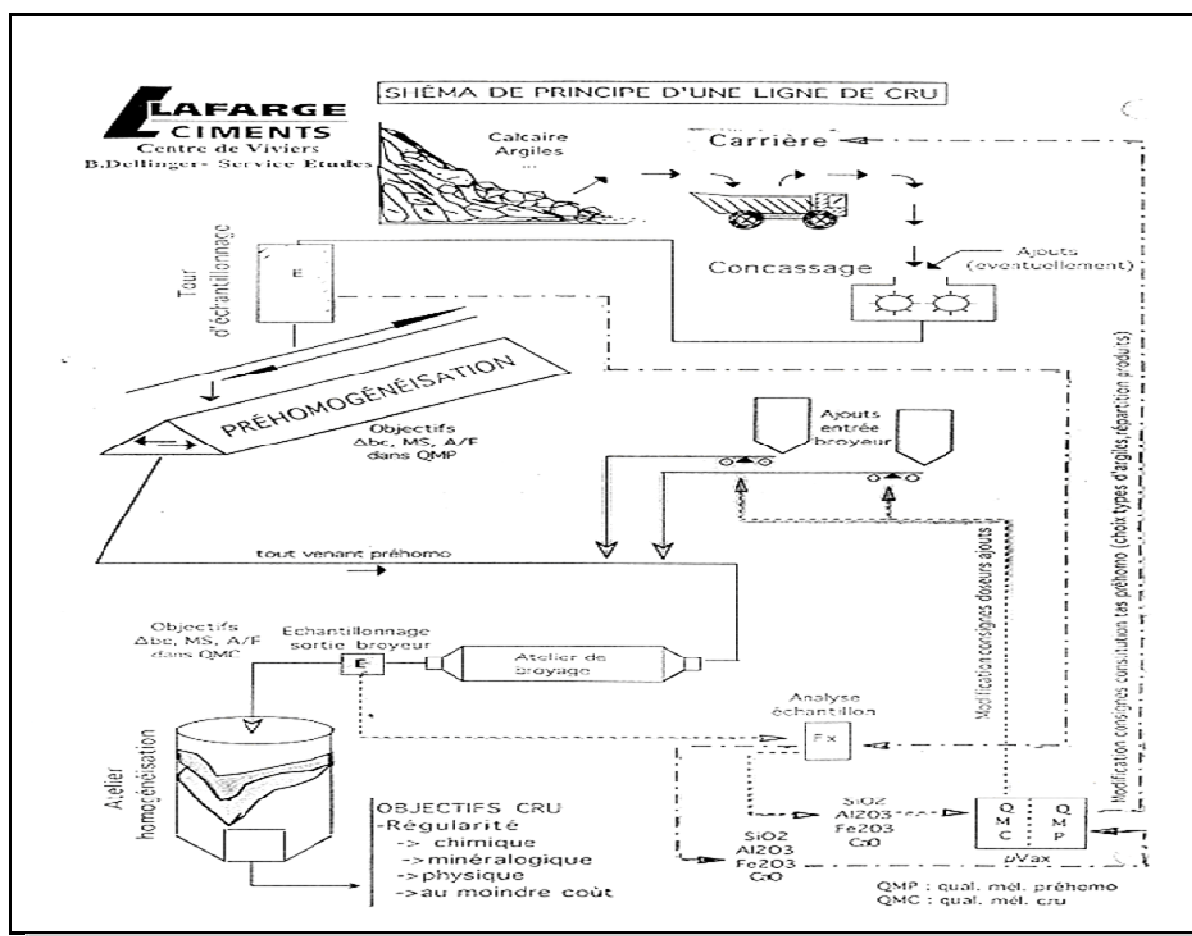


Figure 18: Schéma de principe d'une ligne de « Cru »

Les oxydes principaux de la composition chimique du cru sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Nom	Nom usuel	Symbole chimique	Symbole cimentier	% (dans le clinker)
Oxyde de silicium	Silice	SiO ₂	S	20-24

Oxyde d'aluminium	Alumine	Al₂O₃	A	3-6
Oxyde ferrique	Oxyde de fer	Fe₂O₃	F	1-3
Oxyde de calcium	Chaux	CaO	C	63-67

Tableau 4: les oxydes principaux de la composition chimique du cru

La qualité finale du cru est évaluée par des modules, c'est-à-dire des valeurs calculées à partir de la composition chimique. On définit par exemple :

- ❖ Le module de saturation en chaux (LSF) :

$$LSF = \frac{100CaO}{2 \cdot 85SiO_2 + 1.65Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3}$$

- ❖ le module silicique (MS) :

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

- ❖ le module alumino-ferrique (A/F) :

$$A/F = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

3. Définition et analyse des causes probables du non-régularité

Pour exposer toutes les causes possibles de la non-régularité et les paramètres influençant l'atelier du cru, j'ai utilisé le diagramme cause-effet d'ISHIKAWA.

3.1 Définition du diagramme d'ISHIKAWA

Le diagramme cause-effet appelé aussi diagramme d'ISHIKAWA ou 5M est un outil graphique utilisé dans la gestion de la qualité et qui permet d'exposer, sous forme d'une vue d'ensemble, toutes les causes possibles d'un problème. Le diagramme nous permet aussi d'organiser les relations combinatoires entre les causes. Et il consiste à classer les causes identifiées d'un effet en des sous familles et par la suite donner une représentation claire de ce classement qui soit lu par tous de la même manière.

Parmi les diverses catégories de facteurs qui affectent la qualité d'une opération on a tendance à favoriser cinq : main-d'œuvre, matériel, matière, méthodes et milieu.

3.2 Les préalables à la construction d'un diagramme de cause à effet

- ✓ La construction du diagramme d'Ishikawa est basée sur un travail de groupe. Il est important de former une équipe de travail pluridisciplinaire et de faire participer Chaque membre ;
- ✓ Pratiquer auparavant un brainstorming et trouver toutes les causes possibles au problème. Chacun doit émettre ses opinions librement sur les origines possibles ;
- ✓ Sélectionner les causes principalement responsables du défaut ou du problème ;
- ✓ Classer les causes liées au problème posé.

3.3 Elaboration du diagramme d'ISHIKAWA

En ce basant sur le principe de ce diagramme, j'ai pu regrouper ces causes en des sous familles et réaliser le diagramme ci-dessous :

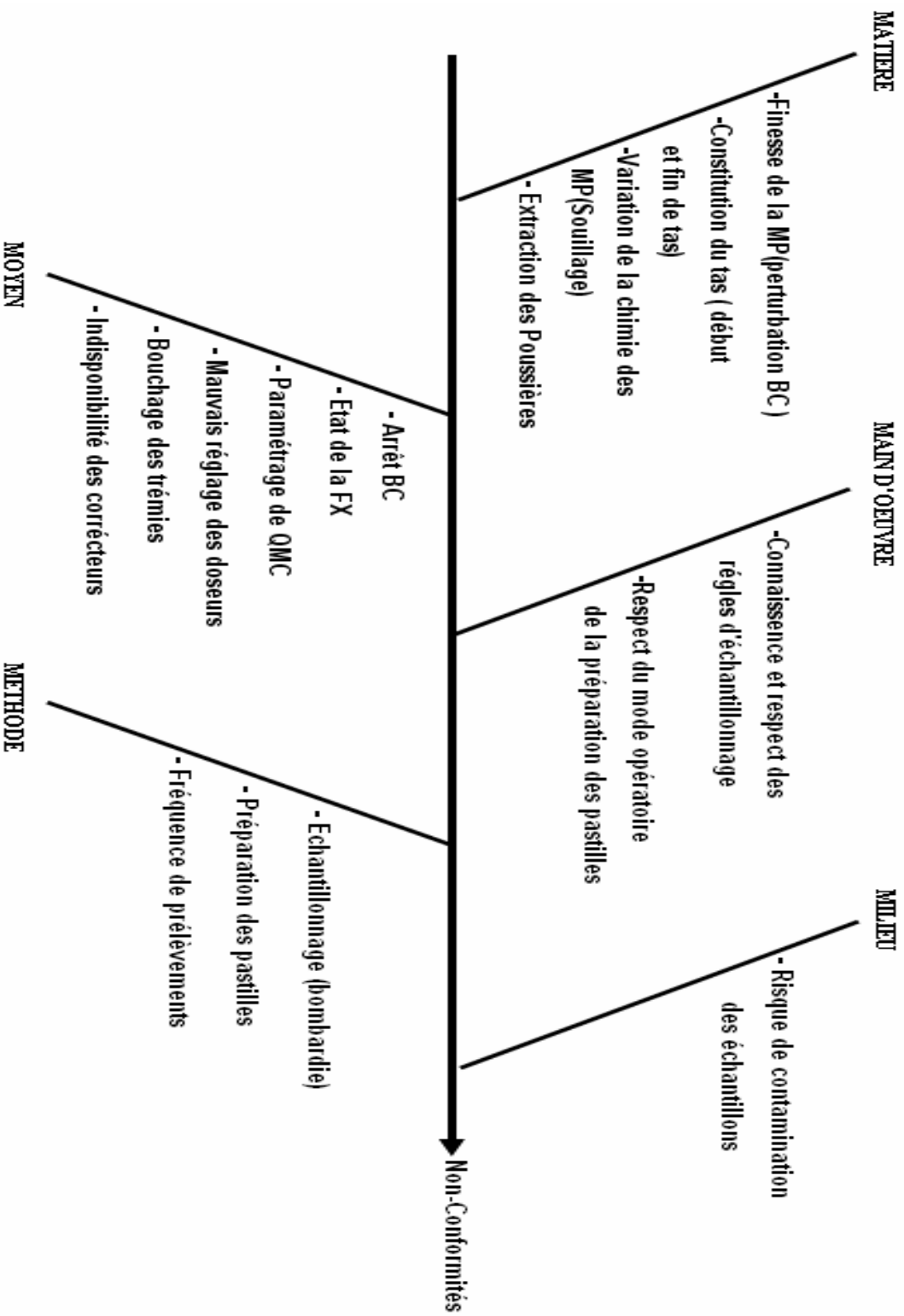


Figure 9 : Diagramme d'ISHIKAWA élaboré

Certaines causes ont été analysées et éliminées telles :

- ✚ les perturbations et les marches instables des broyeurs.
- ✚ Le problème du souillage.
- ✚ Bouchages des trémies de corrections.
- ✚ paramétrages de QMC.
- ✚ phénomène des bouts de tas.

Les causes qui ont fait l'objet de mon étude sont :

- ✚ la non-conformité des matières premières et les injections des poussières.
- ✚ Les conditions de fonctionnement des échantillonneurs à la sortie BCs.

L'étude de ces principales causes sera étalée dans les deux chapitres suivants.

1. Etude de la stabilité des matières premières :

1.1 Etude de la stabilité des matières de correction

La stabilité des matières de correction est un facteur déterminant de la stabilité du cru. Ces matières sont approvisionnées de l'extérieur. Le laboratoire effectue régulièrement des contrôles sur ces matières à l'arrivage, le poids de l'échantillon ne doit pas être inférieur à 5 kg prélevés dans différents points, et les compare avec les seuils d'alerte avant de les stockées dans la carrière. Le tableau 5 donne les exigences qualité des matières de correction.

Désignation	Valeurs contractuelles	Seuil d'alerte	Non-conformité
Minerai de fer	Fe2O3 > 55	48 ≤ % Fe2O3 ≤ 55	48 <
Schistes	CaCO3 ≤ 6	6 < CaCO3 < 8	CaCO3 > 8
Bauxite	Al2O3 ≥ 55%	48% ≤ Al2O3 < 55%	Al2O3 < 48%

Tableau 5: Valeurs des exigences qualité des matières de correction

Les résultats des analyses de l'arrivage sont donnés dans les tableaux (6 ; 7 ; 8).

(Voir Annexe B)

✓ Le Schiste

Schiste	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO
Moyenne	57,37	21,94	7,86	0,99
Écart type	0,995	0,779	0,447	0,538
taux de variation	1,73	3,55	5,68	54,53

Tableau 6 : Analyses chimiques du schiste du mois de février 2012

✓ Le Minerai de Fer

Minerai de fer	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO
Moyenne	26,94	5,2	55,2	1,82
Écart type	1,23	1,13	0,96	0,97
taux de variation	4,55	21,77	1,74	53,4

Tableau 7 : Analyses chimiques du Minerai de Fer du mois de février 2012

✓ Bauxite

Bauxite	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO
Moyenne	9,46	55,03	18,70	1,03

Écart type	0,719	0,939	1,404	0,338
taux de variation	7,59	1,71	7,50	32,92

Tableau 8 : Analyses chimiques de la Bauxite du mois de septembre 2011

Interprétation des résultats :

Les résultats des tableaux (6 ; 7; 8) montrent que les matières premières de correction sont stables, avec un taux de variation de l'élément majeur en chaque matière qui ne dépasse pas 1,75 inférieure à 5%.

1.2 Étude de la stabilité du cru dosé

Le cru dosé représente presque 96% de la matière première broyée, alors la moindre fluctuation dans sa chimie influence considérablement la chimie et la régularité du cru, La constitution des tas se fait par simulation informatique à base des analyses chimiques des cuttings obtenues par forage dans la carrière, le but de cette simulation est d'atteindre les cibles fixées pour le tas, et par les analyses chimiques des échantillons pris de la tour d'échantillonnage de la reprise .

Pour contrôler la régularité de la reprise du cru dosé, on est sensé faire un essai à haute fréquence : prendre un échantillon du cru dosé entrée broyeur toute les 5 mn à raison d'avoir 40 échantillons.

Malheureusement, l'exigence rigoureuse des règles de sécurité ne le permet pas actuellement, Ce procédé de contrôle sera mis en application lorsque les conditions seront favorables. Mais actuellement ce cru dosé ne présente pas de fortes fluctuations sur le cru sortie BCs.

1.3 Étude de la stabilité des doseurs de correction

Après avoir calculé les valeurs optimales le QMC envoie les nouvelles proportions des matières de correction aux doseurs, Ceux-ci sont des doseurs pondéraux à bande roulante.



Figure 20 : Photo du doseur

Ferrite

Pour assurer le bon fonctionnement des doseurs, un contrôle est effectué par le service régulation selon le planning suivant :

	Contrôle électrique	Contrôle physique
--	----------------------------	--------------------------

Doseur schiste BCs	Une fois/ mois	Une fois / 2 mois
Doseur MF BCs	Une fois / mois	Une fois / 2 mois
Doseur Bauxite BCs	Une fois / mois	Une fois / 2 mois

Tableau 9 : Planning de contrôle des doseurs de correction

Une étude déjà réalisé pour vérifier la fiabilité des doseurs de correction a montré que ces derniers sont stables.

Conclusion :

Cette étude a montré que les matières de correction, le cru dosé et les doseurs de correction n’influent pas sur la régularité du cru sortie BCs.

2. Gestion des poussières

2.1 Description de la problématique

Les poussières sont des particules très fines entraînées par les gaz soutirés du four. Avant la certification ISO 14001, ces poussières étaient rejetées directement dans l’air via une cheminée, néanmoins les exigences environnementales ont imposé un taux de rejet des poussières très faible. Pour répondre aux normes, l’usine de Meknès a installé un système de filtration des poussières. Celui-ci est constitué d’une tour de conditionnement, un filtre à manche pour la ligne1 et un filtre hybride pour la ligne 2.

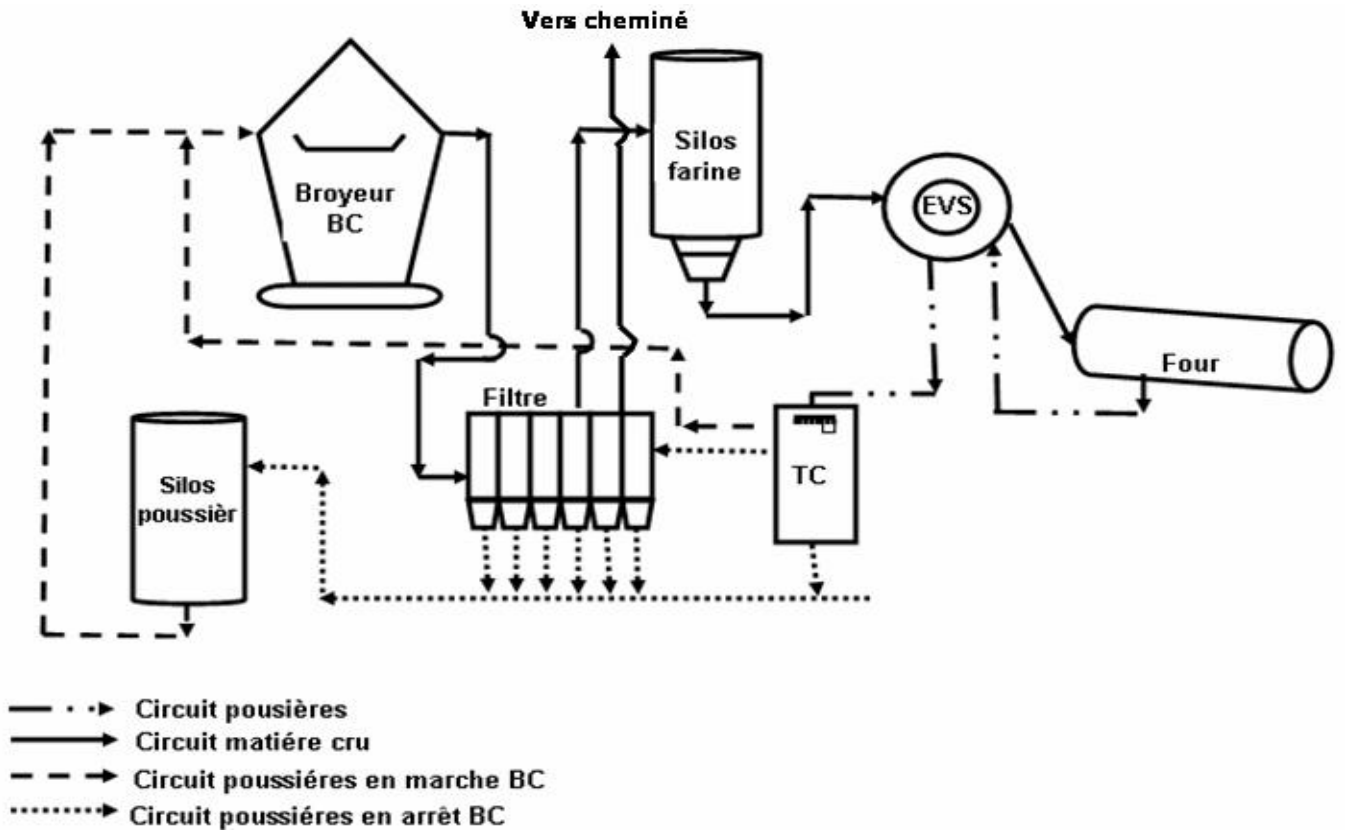


Figure 21 : Flow-sheet du circuit des poussières

Les poussières sont entraînées avec les gaz de soutirage du four, ensuite elles sont acheminées vers la tour de conditionnement. Le flow-sheet ci-dessus (Figure 21) illustre les circuits poussières en détail et dans tous les cas :

- ✓ Pendant les heures de marche des BCs, les poussières sont acheminées directement et sans refroidissement vers les broyeurs.
- ✓ En cas d'arrêt des BCs, les poussières subissent un refroidissement dans la tour de conditionnement. Celle-ci fonctionne à pulvérisation d'eau. Ainsi, ces poussières vont être envoyées vers le silo poussières pour quelles soient recyclées après démarrage du BCs.

Les tours de conditionnement servent principalement à conditionner les gaz, les refroidir suffisamment pour ne pas endommager le filtre amont. Lors du refroidissement des gaz des poussières se précipitent au bas de la tour. Ces dernières sont systématiquement renvoyées vers le silo poussière en cas d'arrêt du BC.

Le débit des poussières est contrôlé par une vanne modulante couplée à un doseur, Le Débit varie selon l'ouverture, c'est ainsi qu'on peut contrôler le débit d'extraction des poussières vers les BCs.



Figure 22 : Vanne modulante BC1



Figure 23 : doseur poussières BC1

Le problème de la gestion des poussières s'impose dans deux cas :

- Le premier : le silo poussière est plein, ainsi les opérateurs sont obligés d'envoyer les poussières en grand débit vers les BCs. Ces poussières qui ne sont pas prises en compte par QMC, lors du calcul de l'optimisation, influencent la fiabilité de l'information reçue par QMC et par conséquent la correction apportée au cru. Ce qui pousse les opérateurs à imposer des corrections manuelles, qui ne sont pas forcément les corrections optimales, pour minimiser l'impact de l'extraction des poussières vers les BCs sur les critères de pilotage du cru.

De ce fait l'extraction des poussières ne se fait ni régulièrement ni parallèlement à l'activité des BCs.

- Le deuxième : quand les BCs sont en arrêts, il y a un risque de remplir le silo poussières et donc un risque de débordement. Lorsque ce cas survient l'usine gère ce problème en envoyant ces poussières directement au silo d'homogénéisation ce qui influe sur le cru.

2.2 Etude de l'impact des poussières sur le cru sortie BCs

Pour illustrer l'impact de l'extraction des poussières lors du débordement, nous allons étudier l'influence de celles-ci sur les valeurs de LSF, MS et A/F. Pour ce faire, nous allons prendre une analyse moyenne de ces poussières ainsi qu'une analyse quelconque du cru sortie BC1 qui est proche de la cible et on va calculer les valeurs de LSF, MS et A/F avec différents débits de poussières, mais à débit constant du broyeur.

Le tableau suivant illustre l'impact des poussières sur le cru à la sortie du BC1.

Débit des poussières tonnes / heure	Influence LSF	Influence MS	Influence A/F
1	0,63	-0,01	0,00
2	1,26	-0,01	0,00
3	1,87	-0,02	0,01

4	2,48	-0,02	0,01
5	3,08	-0,03	0,01
6	3,68	-0,03	0,02
7	4,27	-0,04	0,02
8	4,85	-0,04	0,02
9	5,43	-0,05	0,03
10	6,00	-0,05	0,03
11	6,56	-0,06	0,03
12	7,12	-0,06	0,04
13	7,67	-0,06	0,04
14	8,21	-0,07	0,04
15	8,75	-0,07	0,04
16	9,29	-0,08	0,05
17	9,81	-0,08	0,05
18	10,34	-0,09	0,05
19	10,85	-0,09	0,06
20	11,36	-0,10	0,06

Tableau 10 : Impact des poussières sur le cru à la sortie BC1

Pour illustrer d'avantage l'influence des poussières, les données de ce tableau sont représentées sur le graphe suivant :

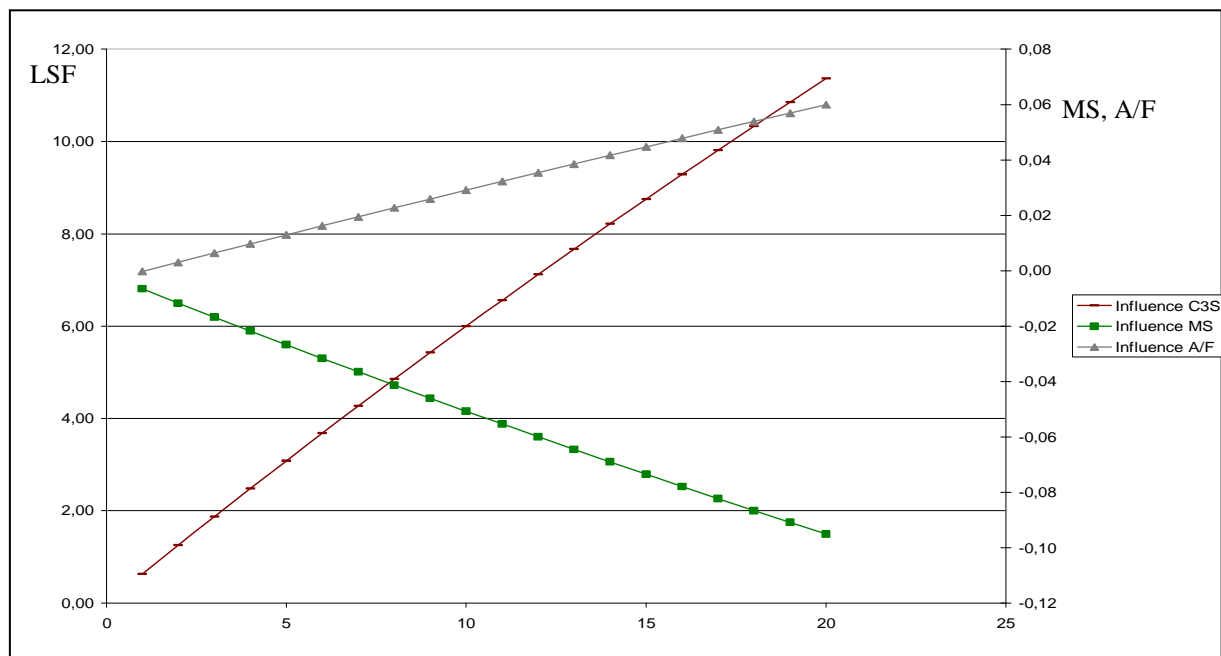


Figure 24 : Graphe illustrant l'impact des poussières sur le cru sorti BC1

D'après le graphe ci-dessus, il est clair que l'extraction des poussières a une influence considérable sur le LSF et moindre sur MS et A/F.

Par exemple, pour un débit des poussières de 20 t/h on remarque que :

- ✓ Le LSF augmente de 11 points.
- ✓ Le MS diminue de 0.1 point.
- ✓ Le A/F augmente de 0.06 point.

Pour montrer que l'extraction des poussières qui ne se fait régulièrement lors des BCs en marche influe sur la régularité du cru , on va étudier l'influence de celles-ci sur le module LSF et la consigne de schiste. Pour ce faire, on a pris des analyses moyenne du cru sortie BC1 de la période du 07/01/2012 au 15/01/2012 et on a tracé les trois courbes qui démontrent la variation du LSF et du schiste en fonction du débit des poussières.

D'après le graphe ([Voir Annexe C](#)), il est clair que l'extraction des poussières a une influence considérable sur le LSF et moindre sur le schiste.

Par exemple, pour deux journées successives on a :

- ✓ Le 10/01/2012 sans extraction de poussières un LSF de 99,69 et une consigne de schiste de 1,27
- ✓ Le 11/01/2012 avec une extraction de 10 tonnes de poussières un LSF de 100,06 et une consigne de schiste de 0,82.

2.3 L'impact de l'envoi des poussières directement au four lors des BCs en arrêts :

Les calculs suivants ont été réalisés à partir des pesées poussières BC1 on et BC1 off, de la chimie des poussières et de la chimie de l'entrée four.

Hypothèse Entrée four (BC On)			Hypothèse Entrée four (BC Off)	
entrée four			entrée four	
2,47	MS		2,45	
1,62	A/F		1,62	
-0,48	ΔBC		-1,94	
80,10	C3S		84,60	
102,94	LSF		105,15	

Tableau 11 : L'impact sur l'entrée four sur la ligne 1

Remarque :

Les calculs montrent qu'il ne devrait pas y avoir d'impact significatif sur le MS et A/F. En revanche, lors de l'arrêt du BC, on devrait observer une baisse du Dbc d'environ 1.5, ce qui devrait générer une augmentation d'environ 4.5 points de C3S.

2.4 Solution proposée :

Pour éviter la surcharge ou le débordement du silo poussières et avoir leur extraction régulière tout au long de la marche des BCs, j'ai envisagé à mettre en application un programme De MATLAB.

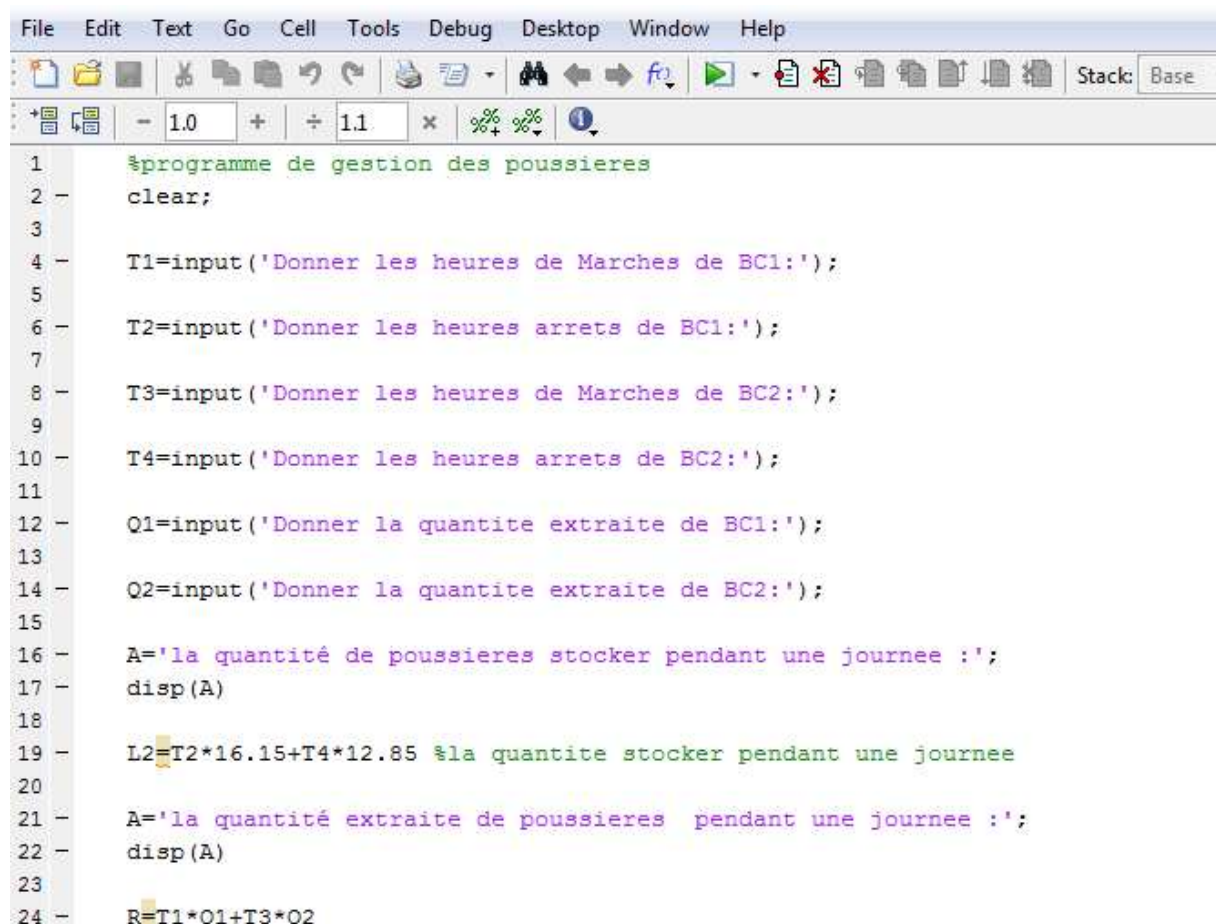
a) Définition de MATLAB :

MATLAB→ est un système interactif de programmation scientifique pour le calcul numérique et la visualisation graphique basé sur la représentation matricielle des données dont le nom est dérivé de Matrix Laboratory. Il est utilisé pour développer des solutions nécessitant une très grande puissance de calcul.

MATLAB se présente avant tout comme un langage de commande dont la caractéristique est d'être interprété ; il permet donc d'utiliser simplement des structures de données et d'écrire rapidement des programmes assez complexes.

b) Le programme proposé :

Le programme proposé est le suivant :



```
1 %programme de gestion des poussières
2 clear;
3
4 T1=input('Donner les heures de Marches de BC1:');
5
6 T2=input('Donner les heures arrêts de BC1:');
7
8 T3=input('Donner les heures de Marches de BC2:');
9
10 T4=input('Donner les heures arrêts de BC2:');
11
12 Q1=input('Donner la quantité extraite de BC1:');
13
14 Q2=input('Donner la quantité extraite de BC2:');
15
16 A='la quantité de poussières stocker pendant une journée :';
17 disp(A)
18
19 L2=T2*16.15+T4*12.85 %la quantité stocker pendant une journée
20
21 A='la quantité extraite de poussières pendant une journée :';
22 disp(A)
23
24 R=T1*Q1+T3*Q2
```

```
25
26 - A='la difference du temps entre BC1 et BC2 pendant une journee :';
27 - disp(A)
28
29 - E=T4-T2
30
31 - A='la quantité stocker une journee :';
32
33 - Z=L2-E*Q1
34
35 - disp(A)
```

Conclusion

Ce programme a été apprécié par les responsables qui envisagent le mettre en application pour maîtriser la gestion des poussières.

1. Étude de la stabilité des échantillonneurs :

1.1 Vérification des échantillonneurs

a) Description

La principale source des données qui aident à la décision dans la gestion de la qualité du cru est l'échantillonnage à la sortie des broyeurs. Les échantillonneurs utilisés sont de marque BOMBARDIERI avec vis sans fin

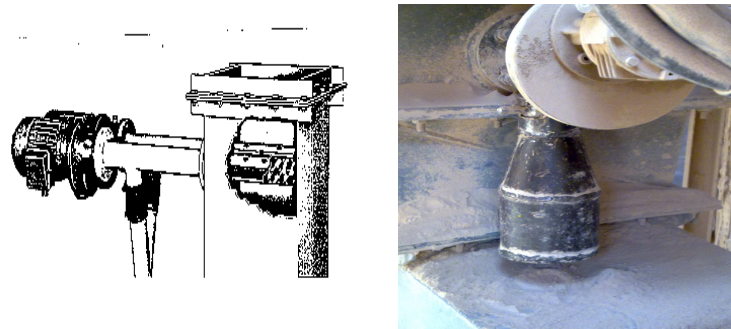


Figure 25 : Schéma d'un échantillonneur avec vis sans fin

L'échantillonneur à vis reste l'un des plus courants dans les cimenteries :

- ✓ Un tube avec une fente pour capter une section du flux.
- ✓ Une vis fait sortir l'échantillon vers l'extérieur.

Et on définit :

- ✓ **Incrément** : Un groupe de particules extraites du lot dans une opération unique.
- ✓ **Échantillon** : Une partie du lot obtenu par la réunion de plusieurs incréments.

Le type d'échantillonnage utilisé pour le cru est :

- ✓ **Échantillonnage semi-composite** : un échantillon composé d'incrément multiples pour une partie de la période d'échantillonnage.

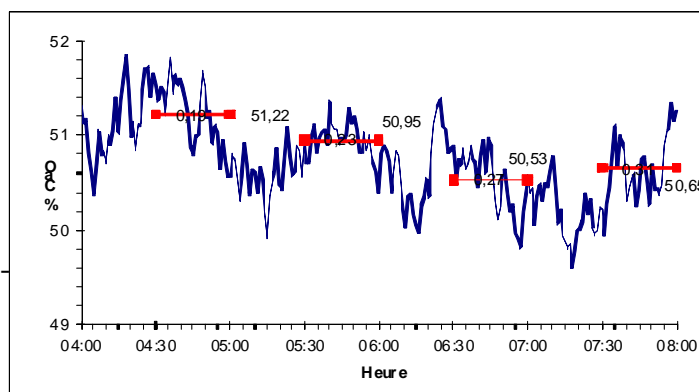




Figure 26 : Échantillonnage semi-composite

Dans notre cas, les échantillonneurs BOMBARDERI fonctionnent en mode semi-composite durant les dernières 30 minutes de toutes les deux heures, selon le cycle suivant :

Broyeur	Prélèvement	Purge	Pause	Total	Nombre d'incréments
BC1	60s	60 s	30s	150s	12
BC2	45s	30s	45s	120s	15

Tableau 42 : cycle des échantillonneurs BOMBARDERI

b) Vérification du bon fonctionnement des échantillonneurs

Les vérifications que nous avons effectuées sur les échantillonneurs sont les suivantes :

- ✓ Vérification du cycle d'échantillonnage du point de vu mécanique
([Voir Annexe D](#))
- ✓ Vérification des pots de récupération.

Les résultats de la vérification montrent que les échantillonneurs à la sortie des broyeurs fonctionnent correctement, et ne présentent aucun problème mécanique.

Nous recommandons d'assurer l'étanchéité des échantillonneurs, surtout pour les pots de récupération de la matière.



1.2 Echantillonnage et test d'homogénéité de l'échantillon

Dans bien des cas, l'objet dont nous cherchons à évaluer la composition moyenne du lot est trop étendu pour pouvoir, dans son ensemble, être soumis à l'analyse. Nous devons alors avoir recours à un échantillon, souvent de masse infime, sur lequel l'analyse est effectuée par procuration.

Pour tester l'homogénéité de notre échantillon, nous avons effectué un essai de répétabilité sur 30 incréments issus de la farine sortie BC2 dans un court intervalle de temps, chaque minute sans aucune correction processus pendant la durée de l'expérience.

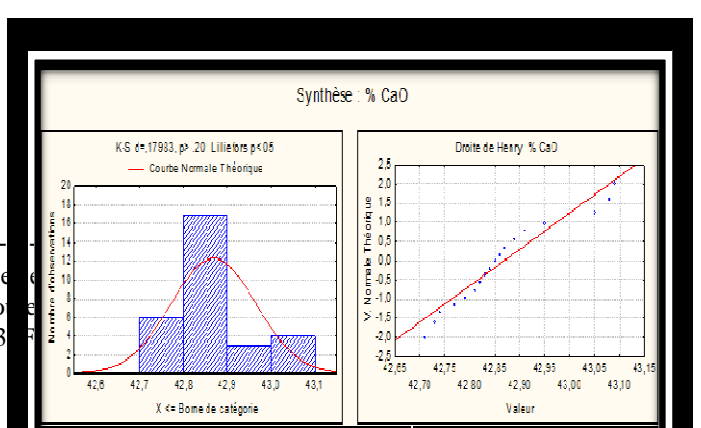
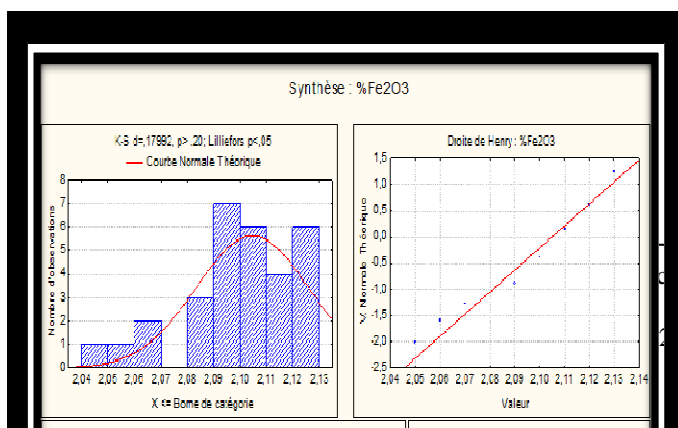
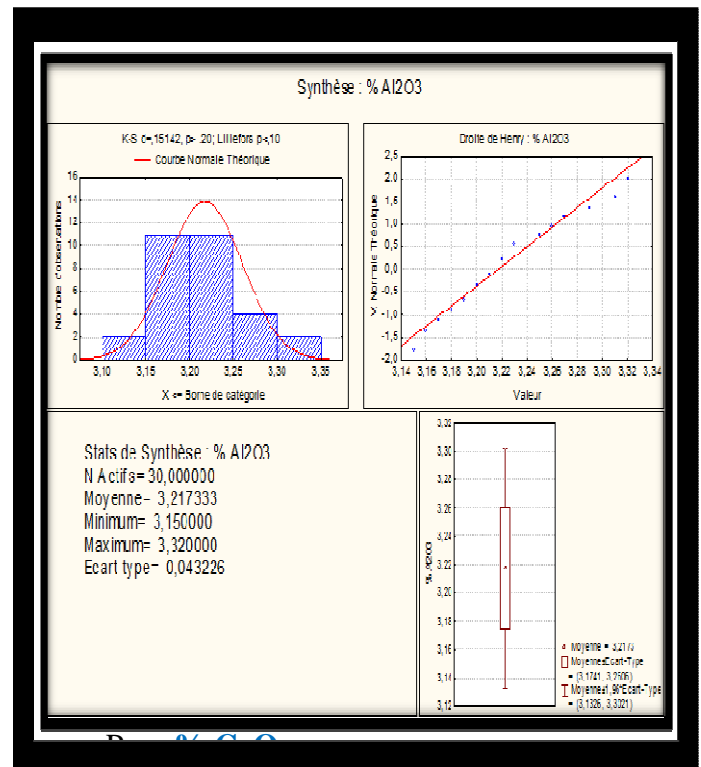
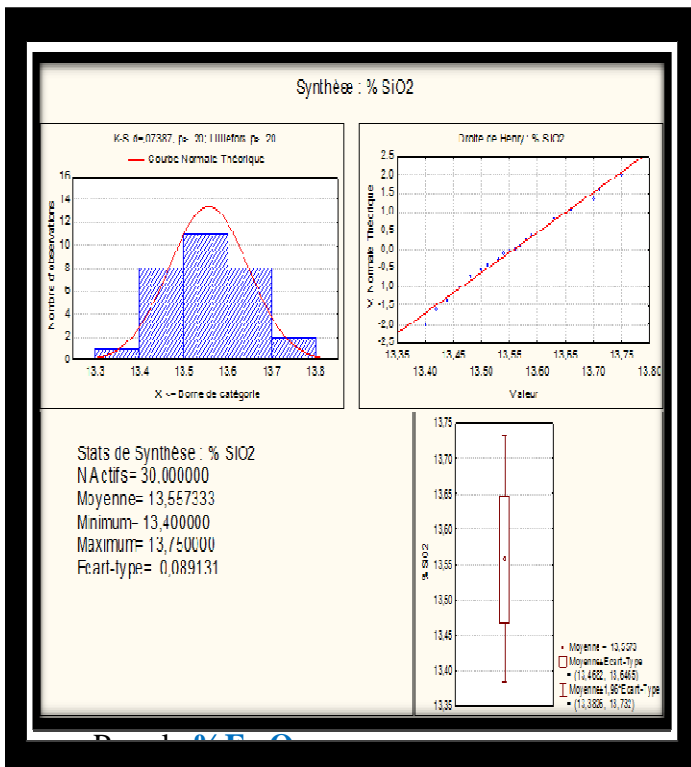
Les résultats de cet essai sont regroupés dans le tableau (Voir Annexe E).

Pour traiter statistiquement ces données, on a utilisé un outil d'analyse statistique de gestion et de représentations graphiques des données nommé STATISTICA.

Les graphes obtenus pour chaque élément majeur sont comme suite :

Pour le % SiO_2 on a :

Pour le % Al_2O_3 on a :





Nous remarquons que toutes les courbes sont gaussiennes et suivent donc la loi normale excepté celle du %Fe₂O₃ qui représente une faible déviation et que les éléments sont très proche de la moyenne avec un taux de variation acceptables nous pouvons dire alors de notre échantillon est homogènes.

1.3 Echantillonnage et hétérogénéité

La dualité homogénéité/hétérogénéité n'est pas d'essence qualitative mais quantitative : l'homogénéité est le zéro de l'hétérogénéité, un zéro qui constitue d'ailleurs une limite inaccessible en pratique.

C'est l'hétérogénéité de toute matière qui génère toutes les erreurs d'échantillonnage et interdit d'assimiler celui-ci à une simple technique de manutention. Ces erreurs peuvent être englobées dans une seule erreur, dite erreur d'estimation globale.

Cette hétérogénéité peut être définie par une méthode statistique dite variogramme que l'usine compte appliquer prochainement.

1.3.1 L'erreur d'estimation globale

L'Erreur d'Estimation Globale (EEG) est la différence entre la qualité réelle du lot et la qualité indiquée par l'échantillon :

Avec

$$EEG = \frac{aS - aL}{aL}$$

aL = qualité du lot L

aS = qualité d l'échantillon S



Cette erreur est composée de quatre erreurs indépendantes, ainsi on peut écrire :

$$EEG = EFE + PE + AE + EE$$

Avec

- ✓ EFE : Erreur fondamentale d'échantillonnage ;
- ✓ EE : Erreur d'extraction ;
- ✓ PE : Erreur de préparation ;
- ✓ AE : Erreur analytique.

a) Erreur fondamentale d'échantillonnage

Il existe enfin une erreur sans modification de l'état physique de la matière : l'erreur fondamentale d'échantillonnage. Elle est liée étroitement à l'hétérogénéité de constitution de la matière et correspond à une limite idéalement atteinte lorsque toutes les particules (ou fragments) ont une chance égale d'être prélevées dans l'échantillon. De plus, elle est inversement proportionnelle à la masse d'échantillon prélevée. Seule l'erreur fondamentale d'échantillonnage peut être estimée assez simplement par un calcul a priori issu de la théorie de Pierre Gy.

Pour chaque prélèvement, cette erreur est calculée par la formule de GY :

$$EFE = \left(K \times \frac{d^3}{Ms} \right)^{1/2}$$

Avec :

EFE : l'erreur fondamentale, en %. Il s'agit d'une erreur relative.

K : constante d'échantillonnage.

d : diamètre de la particule (en centimètre) au-dessus de laquelle nous avons 5 % de la matière supérieure à (*d*). En fait, il s'agit de l'ouverture d'un tamis qui retient 5 % de la matière.

MS : poids de l'échantillon récupéré, en grammes.

NB : Une bonne estimation conventionnelle de *K* pour la matière à la sortie des BCs est 0,001.

Avec les conditions actuelles d'échantillonnage à la sortie des broyeurs :

- ✓ Une granulométrie de l'ordre de 200 μm .
- ✓ Le poids des échantillons récupérés est de l'ordre de 1500 - 2000 g.



On peut estimer que l'erreur relative fondamentale d'échantillonnage est négligeable.

b) Erreur d'extraction

L'erreur d'extraction ou erreur de ségrégation est due essentiellement à un mauvais enlèvement physique de l'incrément, elle dépend de l'utilisation d'un bon dispositif d'échantillonnage et des bonnes pratiques d'échantillonnage.

D'après les résultats de l'échantillonnage à haute fréquence (chaque 1 mn) à la sortie du BC2, le poids récupéré dans chaque incrément est constant et suit une loi linéaire de forme :

$Y = 227,45 X - 15,716$ avec un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,9996$ comme le montre le graphe ci-après :

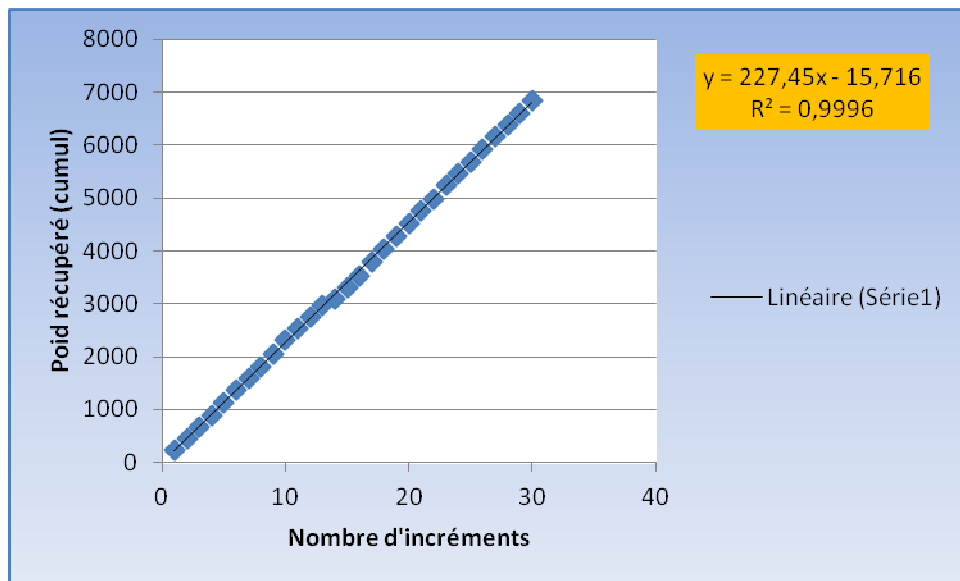


Figure 27 : Graphe du poids récupéré en fonction du nombre d'incrément

Généralement, il est difficile d'évaluer ce type d'erreur reliée directement à l'échantillonneur, mais à la lumière des résultats de l'essai à haute fréquence, et vu le bon fonctionnement actuel des échantillonneurs on peut estimer que l'erreur d'extraction est minime devant les autres erreurs.

c) Erreur analytique :

Le laboratoire dispose d'un spectromètre à fluorescence X, OXFORD, MDX 1080, qui permet d'analyser simultanément les éléments suivants : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , K_2O et Na_2O et les critères de pilotage : LSF, MS, A/F.

L'erreur analytique est essentiellement due au mauvais étalonnage de la MDX (FX). Afin de s'assurer de l'existence ou de la non existence de cette erreur, nous avons fait un essai de répétabilité sur la MDX (FX) : nous avons passé un échantillon standard 21 fois dans la FX. Les résultats obtenus sont illustrés dans les deux tableaux suivant :



<i>Nbre de répétition</i>	SiO₂(%)	Al₂O₃(%)	Fe₂O₃(%)	CaO(%)
Ech cru Ref N°1	13,35	3,28	2,1	42,86
Ech cru Ref N°2	13,33	3,28	2,1	42,86
Ech cru Ref N°3	13,35	3,27	2,1	42,86
Ech cru Ref N°4	13,34	3,28	2,1	42,85
Ech cru Ref N°5	13,35	3,28	2,1	42,88
Ech cru Ref N°6	13,36	3,28	2,1	42,85
Ech cru Ref N°7	13,34	3,27	2,1	42,85
Ech cru Ref N°8	13,34	3,3	2,11	42,82
Ech cru Ref N°9	13,36	3,3	2,11	42,82
Ech cru Ref N°10	13,34	3,3	2,11	42,8
Ech cru Ref N°11	13,36	3,3	2,11	42,82
Ech cru Ref N°12	13,36	3,3	2,11	42,86
Ech cru Ref N°13	13,34	3,29	2,11	42,82
Ech cru Ref N°14	13,35	3,3	2,11	42,82
Ech cru Ref N°15	13,37	3,3	2,11	42,8
Ech cru Ref N°16	13,33	3,31	2,11	42,77
Ech cru Ref N°17	13,36	3,29	2,11	42,8
Ech cru Ref N°18	13,36	3,31	2,11	42,79
Ech cru Ref N°19	13,34	3,29	2,1	42,82
Ech cru Ref N°20	13,36	3,3	2,11	42,78
Ech cru Ref N°21	13,36	3,29	2,11	42,79
Moyenne	13,35	3,29	2,11	42,82
écart type	0,01140	0,01195	0,00498	0,03108
taux de variation	0,085	0,363	0,236	0,073

Tableau 5 : Résultats de l'essai de répétabilité de la MDX

Les données de l'échantillon standard approuvées par le laboratoire sont :

	SiO₂(%)	Al₂O₃(%)	Fe₂O₃(%)	CaO(%)
Moyenne	13,18	3,28	2,08	42,84
Lim sup	13,47	3,45	2,17	44,26



Lim Inf	12,89	3,11	1,99	41,42
----------------	-------	------	------	-------



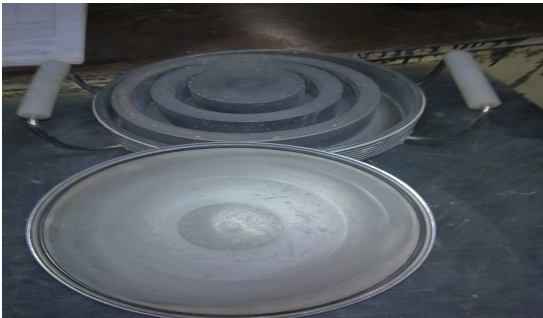
Tableau 14 : les données de l'échantillon standard

Les résultats de cet essai montrent que la MDX (FX) est en bon état car les moyennes trouvées sont acceptables, avec des erreurs relatives sur les éléments (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO) qui ne dépassent pas 0,4% (inférieure 1%), on peut dire que l'erreur analytique est négligeable.

d) Erreur de préparation :

L'erreur de préparation quant à elle, est due à la contamination et la modification de la matière particulaire lors de la préparation des pastilles dans le laboratoire.

La préparation des échantillons est assurée par quatre équipes de personnes composées chacune de deux et qui disposent du matériel suivant :

Matériel	Image
Une Balance analytique	
2 broyeurs de labo de type Broyeurs de laboratoire FRITSCH dotés chacun d'une minuterie pour régler le temps de broyage à l'optimum.	
Deux charges broyantes	

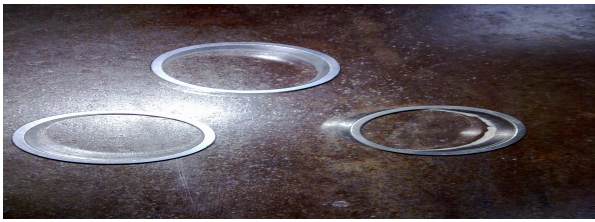

12 Anneaux	
1 presse SODEMI, permettant de préparer des pastilles à une pression de 20 tonnes.	

Tableau 15 : Matériels utilisés pour la préparation des pastilles

Sachant qu'une étude déjà faite concernant la fiabilité du matériel a montré que celui-ci ne contamine pas l'échantillon, il reste à vérifier la compétence des opérateurs. Pour cela, nous avons effectué un essai de préparation (Voir Annexe F) sur 20 échantillons à base du même échantillon (farine sortie BC2) préparés par deux opérateurs. Les résultats obtenus sur les éléments majeurs sont comme suit :

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO
Moyenne	13,39	3,35	2,10	42,87
Ecart-type	0,072	0,031	0,016	0,058
% TV	0,538	0,921	0,744	0,134

Tableau

16 : Résultats de l'essai des deux opérateurs de préparation

Ces résultats des deux opérateurs doivent être comparés avec un autre essai (essai témoin, réalisé par un laborantin selon le mode opératoire, avec la même matière de celle de l'essai précédent).

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO
Moyenne	13,39	3,35	2,10	42,88
Ecart-type	0,057	0,022	0,010	0,030
% TV	0,426	0,657	0,496	0,070

Tableau

17 : Résultats de l'essai témoin de préparation



En effectuant un test d'égalité des espérances (observation pairée) par l'utilitaire d'analyse d'Excel, on remarque que les moyennes trouvées par l'essai des deux opérateurs et les moyennes trouvées par le témoin sont égaux. Donc, on peut conclure que l'erreur de l'opérateur ou de la préparation est négligeable.

Conclusion

L'étude précédente montre que l'échantillonnage s'effectue normalement et donne de bons résultats donc il n'a aucune influence sur l'irrégularité du cru.



CONCLUSION

Durant la période de mon stage au sein de LAFARGE Meknès, les responsables m'ont proposé d'aborder une étude sur la régularité du cru. Dans cette optique, je me suis dévouée à la compréhension du processus de fabrication du ciment afin de dégager la procédure à suivre pour la réalisation du projet.

Pour fabriquer le meilleur clinker ou ciment possible et dans les meilleures conditions de marche, il faut donc un cru adapté chimiquement aux objectifs qualité. L'irrégularité occasionnelle de ce cru m'a poussé à effectuer une analyse pour déterminer les causes majeures et actuelles des non-conformités de ce dernier. Pour ce faire j'ai opté, dans un premier temps, pour une analyse par les 5M pour élaborer le diagramme cause-effet dit diagramme d'ISHIKAWA. Ensuite, je me suis focalisée sur l'étude des matières premières, celle des échantillonneurs à la sorti BCs et de la gestion des poussières.

Cette recherche m'a poussé à élaborer un programme MATLAB pour trouver une solution à la gestion des poussières et à appliquer un ensemble de concepts et d'outils statistiques pour s'assurer de la conformité des matières premières et de la fiabilité des échantillonneurs sorti BCs.

Au terme de ce travail, je peux conclure que LAFARGE Usine de Meknès dispose d'un outil de gestion puissant. Cependant, La mise en pratique des propositions données aux responsables des deux services procédés et qualité suite à mon projet peut aider à rendre l'atelier du cru plus performant.



Références Bibliographiques

- ❖ Rapport de stage de fin d'étude de Mourad LAQBAQBI effectué à LAFARGE ciment usine de Meknès: " Les paramètres utilisés suivant la qualité ciblée" –Faculté poly disciplinaire de Taza, Année : 2010;
- ❖ Rapport de stage de fin d'étude de Driss TABOUDA et Redwan HANDAL effectué à LAFARGE Ciments usine de Meknès: "Optimisation des paramètres de QMC" ENIM-Rabat, Année : 2006;
- ❖ Rapport annuel 2011 du groupe LAFARGE Maroc ;
- ❖ Cours des statistiques, 2^{ème} année, option chimométrie et analyse chimique (CACAGIQ) ;
- ❖ Document LAFARGE Canada : "A guide for the interpretation of variographic experiments";

Références Webographiques

- ❖ [http://www.aliapur.fr/media/files/RetD_new/Conferences_Publications/Aliapur -
Prelevement et echantillonnage des granulats.pdf](http://www.aliapur.fr/media/files/RetD_new/Conferences_Publications/Aliapur_-_Prelevement_et_echantillonnage_des_granulats.pdf);
- ❖ <http://www.techniques-ingenieur.fr>;
- ❖ <http://www.lafarge.com>;
- ❖ <http://www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch13/prob/5214899-fra.htm>;
- ❖ <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=4721>;
- ❖ <http://www.lavallab.com/fran/echantillonnage-en-ligne.htm>;
- ❖ http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux.html.