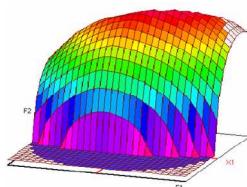




Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma



Année Universitaire : 2014-2015



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

Optimisation d'un échantillonnage représentatif des Cuttings

Présenté par:

ZERRI Nassima

Encadré par:

Mr. ELMANSOURI Hamid (LAFARGE Meknès)
Pr. BALI Hamza (FSTF)

Soutenu Le 23 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Pr. H. BALI
- Pr. A. BOULAHNA
- Pr. O. SQALI

Stage effectué à : LAFARGE Meknès

Remerciement



Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes qui m'ont soutenu et qui sont intervenues dans la réussite de ce projet de fin d'étude.

Au terme de mon stage de fin d'étude, j'exprime mes remerciements à **Mr. Hamid ELMANSOURI** mon encadrant de stage, pour m'avoir donné l'opportunité de passer ce stage, et pour ces directives et sa conduite dont il m'avait épargné à chaque fois qu'il était sollicité.

Ma gratitude s'adresse également à **Pr. BALI** pour son encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l'intérêt avec lequel il a suivi la progression de mon travail, pour ses conseils efficaces et ses judicieuses directives tout au long de la période de projet.

Merci à tous le corps professoral de la FST et à toute l'équipe de LAFARGE Meknès qui ont contribué directement ou indirectement à l'aboutissement de mon projet.

Mes remerciements vont vers Mrs les membres de jury en particulier Mme O. SQALLI et A. BOULHNA.

Enfin, je ne peux pas clore cette page de remerciements sans évoquer mes parents, mes proches et tous ceux avec qui, j'ai passé ces dernières années, je leur suis très redevable.

*« S'il n'y avait pas d'hiver,
le printemps ne serait pas si agréable
Si nous ne goûtions pas à l'adversité,
la réussite ne serait pas tant appréciée »*

Anne Bradstreet

Sommaire

| | |
|--|----|
| PREMIERE PARTIE | 6 |
| I. Aperçu général sur le secteur Cimentier au Maroc..... | 8 |
| II. Description des produits fabriqués par LAFARGE Meknès..... | 12 |
| III. Contrôle de la Qualité | 18 |
| 1. Organigramme du service Qualité..... | 18 |
| 2. Description des équipements du laboratoire | 19 |
| DEUXIEME PARTIE: | 21 |
| <i>ETUDE DU SUJET</i> | 21 |
| I. Introduction probléma | 22 |
| II. Présentation du sujet..... | 23 |
| 1. Etude du contexte régional:..... | 23 |
| 2. Etude des fronts de taille : | 23 |
| III. Déroulement des expériences..... | 28 |
| 1. Préparation des pastilles :..... | 28 |
| 2. Analyse chimique :..... | 28 |
| IV. Résultats et Discussions | 30 |
| V. Identification des causes explicative de l'écart entre l'échantillon due au Cuttings et l'échantillon due à la tour d'échantillonnage. | 33 |
| 1. La variation des trois modules A/F , MS et LSF pour les 10 trous..... | 34 |
| 2. Variation de LSF des couches de même trou..... | 35 |
| 3. Résultats des analyses de LSF au niveau de chaque couche :..... | 36 |
| 4. Variation du LSF au niveau de chaque couche | 37 |
| VI. Méthode d'échantillonnage : | 37 |
| 1. Résultats des analyses par méthode de prélèvement :..... | 38 |
| 2. Méthode d'échantillonnage : | 38 |
| VII. Résultats des analyses de LSF moyen Cuttings & LSF de la tour d'échantillonnage avec différente probabilité..... | 39 |
| VIII. Validation de la méthode : | 41 |
| 1. Résultats des analyses : | 41 |
| 2. Analyse des résultats : | 42 |
| Conclusion générale..... | 43 |
| Références | 44 |
| Annexe..... | 45 |
| Résumé..... | 50 |

INTRODUCTION

Face à une population mondiale et à un développement croissant, la Cimenterie a une importance vitale pour le logement et les infrastructures de base, elle joue un rôle clé dans le développement économique, la réduction de la pauvreté des pays émergents, les besoins pour la construction des bâtiments et des infrastructures de communication.

LAFARGE est l'entreprise qui occupe une position de 1^{er} plan dans chacune de ses activités. Avec 71000 collaborateurs, le groupe est présent dans 70 pays.

Au Maroc depuis 1913, LAFARGE Maroc a bâti son leadership au fil des années pour devenir le leader national des matériaux de construction à travers ses 4 métiers :

Le **Ciment**, les **BétonsetGranulats**, le **Plâtre** et la **Chaux**.

Ce travail présente des résultats d'une étude d'un plateau situé au Nord-Est de la ville de Meknès, unité de paysage à dominante de calcaire situé immédiatement dans la carrière '**ouledrahou**' de l'usine LAFARGE Meknès.

Dans ce travail on va s'intéresser aux échantillons du Cuttings de la carrière et de l'échantillon du Cru.

Ce mémoire développe en particulier :

- Les analyses chimiques de fluorescence présentant les différents pourcentages d'éléments présents dans les Cuttings.
- Les interprétations des analyses chimiques qui ont été réalisées par la fluorescence (après une préparation des pastilles issues des sondages successifs).

Pour chaque fosse, les observations sur le terrain ont permis de caractériser verticalement et latéralement plusieurs horizons caractérisés par la prédominance d'un ou plusieurs critères macroscopiques : couleur, calcaire, texture et structure.

Pour comprendre la relation entre ces phases (ou horizons) plusieurs observations ont été faites sur des pastilles analysées par des rayons X (suivant la méthode de la fluorescence). Ce qui aboutit à des déterminations minéralogiques et obtention des pourcentages présents dans les pastilles.

La première partie traite une des options de la société LAFARGE Meknès, une définition du Ciment et de ces qualités, ainsi que la méthode de la fabrication de la matière première jusqu'à l'ensachage.

Dans la deuxième partie, les différentes données et résultats obtenus sont intégrés et discutés ainsi qu'une interprétation des courbes de la différenciation des sols en fonction de leur composition et leurs analyses chimiques.

Glossaire

| Mot | Définition |
|-----------------------|---|
| A/F | Module Aluminoferrique qui règle la proportion massique entre C3A et C4AF. |
| APC | Association Professionnelle des Cimenteries. |
| BK | Broyeur de Clinker. |
| C2S | Silicate bi calcique ou Bélite, est un composant du Clinker. |
| C3S | silicate tricalcique ou Alite, est le constituant principal du Clinker. |
| C4AF | Aluminoferritetétracalcique ou Ferrite, composant principal du Clinker qui a tendance à noircir le Ciment. |
| Clinker | Composant du Ciment ayant la forme d'un module cristallisé résultant de la cuisson, dans un four de calcination, d'un mélange dosé de calcaire et d'argile. |
| Clinkerisation | Cuisson, dans un four de calcination, d'un mélange dosé de calcaire et d'argile, provoquant la formation de Ciment. |
| Coke | Résidu solide provenant de la distillation du charbon à températures élevées (supérieures à 800°C). |
| CPJ | Ciment Portland avec ajout de constituants secondaires. |
| Cru | Produit du broyage et du mélangeage des éléments constituant, avant cuisson, le Ciment. |
| Dbc | Delta brut du cru (Δ_{bc}), est un indice qui permet de prévoir la quantité massique nécessaire en chaux pour combiner les éléments S, A et F en C3S et C3A et C4AF. |
| MS | Module Silicique qui représente le rapport massique entre les silicates (C3S + C2S) et l'aluminate et l'aluminoferrite (C3A + C4AF). |
| Q-PQ-MKS | Dossier Plan Qualité du service Qualité de LAFARGE Usine de Meknès. |
| Rc28 | Abréviation désignant la résistance du mortier à 28 jours. |
| TOC | Teneur du calcaire en matières organiques. |

*PREMIERE PARTIE:
CONTEXTE GENERAL DU SUJET*

Cette partie donne une vue générale sur la société LAFARGE Meknès, à travers laquelle je présente :

🌀 **L'organisme d'accueil de la société**

🌀 **Le processus de fabrication du Ciment**

🌀 **La qualité à LAFARGECiment**

CHAPITRE 1: Présentation de l'organisme d'accueil, le Processus de fabrication et la qualité du Ciment

Le présent chapitre a pour but de présenter d'une manière générale LAFARGE Ciments (usine de Meknès) ainsi que le processus de fabrication du Ciment : de l'extraction et concassage à la carrière jusqu'à l'expédition du produit final.

I. Aperçu général sur le secteur Cimentier au Maroc.(ii)

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 commença 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.

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, les Plâtres, les produits de spécialités et dans les bios activités. Il occupe la place de numéro 2 mondial sur le marché du Ciment avec 57 usines réparties dans plus de 15 pays.

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.

LAFARGE Maroc est constitué de plusieurs usines : Bous Koura, Meknès, Tanger, Tétouan. Il englobe le secteur avec **41.5%** de part de marché. A travers ces deux usines de Bous Koura et de Meknès, LAFARGE- Maroc produit près du tiers de la capacité de production totale du secteur.

3. Présentation de LAFARGE usine de Meknès

a. 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 capacité et en terme consommation énergétique.

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

❖ Organigramme de LAFARGECiments de Meknès :

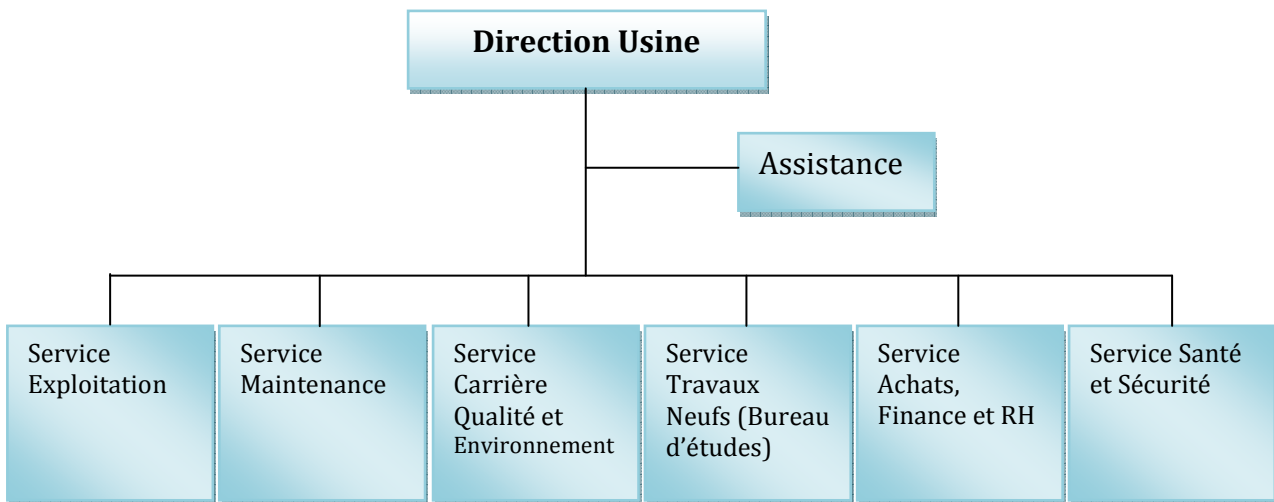


Figure 1 : Organigramme de LAFARGECiments Meknès.

Le processus de fabrication de Ciment nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches, qui sont :

- ❖ Service fabrication.
- ❖ Service procédé système.
- ❖ Service du contrôle de qualité.
- ❖ Service commercial.
- ❖ Service finance et gestion.
- ❖ Service sécurité.
- ❖ Service ressources humaines.
- ❖ Service formation.
- ❖ Service bureau de méthodes.
- ❖ Service maintenance mécanique.
- ❖ Service maintenance électrique et régulation.

c. L'environnement à LAFARGE Meknès (ii)

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).

d. Définition du Ciment :

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 Clinker est obtenu à partir d'une cuisson (décarbonatation des calcaires et la clinkérisation du produit) du produit cru (farine) qui est obtenu par un broyage fin des matières premières composées essentiellement de calcaires et d'argiles.

De la carrière à l'ensachage, la matière première du Ciment suit des étapes différentes qui sont des transformations physiques et chimiques ;

- ❖ **Préparation du cru**, par l'exploitation de la carrière et le concassage, ainsi l'échantillonnage et la pré-homogénéisation. Ensuite broyage du cru et l'homogénéisation.
- ❖ **Du cru au Clinker**, obtenu après le préchauffage, la pré-calcination puis la clinkérisation.
- ❖ **Du Clinker au produit fini** ; cette étape consiste en un broyage du Ciment, et finalement l'ensachage et l'expédition

a. Nature et Caractéristiques des constituants des Ciments



figure 2 résume les éléments qui entrent dans la Constitution du Ciment

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

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) |
| ≥ 75% | ≤ 2% | ≤ 0,5% |

Tableau 2: Caractéristiques du calcaire d'addition

Gypse

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

| | |
|-------------|------|
| %SO3 | ≥ 38 |
|-------------|------|

Tableau 3: Caractéristique du gypse

II. Description des produits fabriqués par LAFARGE Meknès(iii)

La capacité de production du site de Meknès dépasse les 1,3 millions de tonnes par an.

1. 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 gris³ : CPJ 35, CPJ 45 et CPJ 55.

- **CPJ 35 (Ciment certifié NM⁴)**

Le CPJ 35 est un Ciment Portland⁵ 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 26MPa.

- **CPJ 45 (Ciment certifié NM⁵)**

Le CPJ 45 est un Ciment Portland avec Ajouts. Il doit contenir un pourcentage minimum en Clinker de 65%, plus 450 g d'un adjuvant à la teneur g/t

Parmi les principales caractéristiques garanties par la norme, la Rc28 du CPJ 45 doit être supérieure à 36MPa.

- 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 74% plus 450g d'un adjuvant. Sa résistance à 28 jours doit être supérieure à 48 MPa.

2. Le processus de fabrication du Ciment.

La fabrication du Ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise d'outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

Le Ciment est un liant hydraulique, c'est à dire une matière inorganique finement moulue qui se prend en masse avec l'eau (en formant une pâte qui durcit par suite de réaction et processus d'hydratation). Après durcissement, le Ciment conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

C'est un mélange constitué de quatre éléments principaux que l'on trouve dans le sol sous forme de calcaire et d'argile : la chaux, la silice, l'alumine et l'oxyde de fer, portés à température très élevée (1450°), puis brusquement refroidis à l'air et broyés avec des constituants secondaires (gypse, laitier, cendres volantes...).

De la carrière jusqu'à l'ensachage, la matière première du Ciment suit des étapes différentes qui sont des transformations physiques et chimiques :

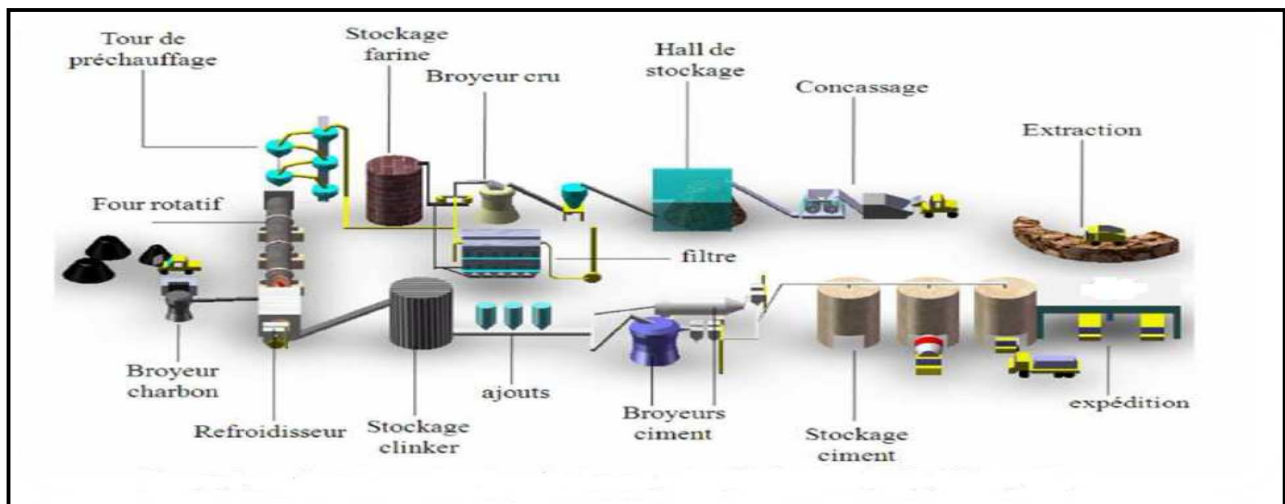


Figure 3: chaîne de production du Ciment

a. Carrière :

La carrière est située à 5km de l'usine, la matière première est extraite sur des fronts de 8 à 15 mètres par abattage et tirs de mines.

b. Transport :

Les matières premières sont transférées par des camions

c. Concassage :

Les matières premières sont concassées et ramenées aux dimensions inférieures à 120 mm ce qui permet de réaliser un premier mélange permettant de régulariser la granulométrie du cru et réduire la consommation d'énergie pendant le broyage, après concassage les matières première sont transportées à l'usine par un tapis roulant où elles sont stockées et homogénéisées.

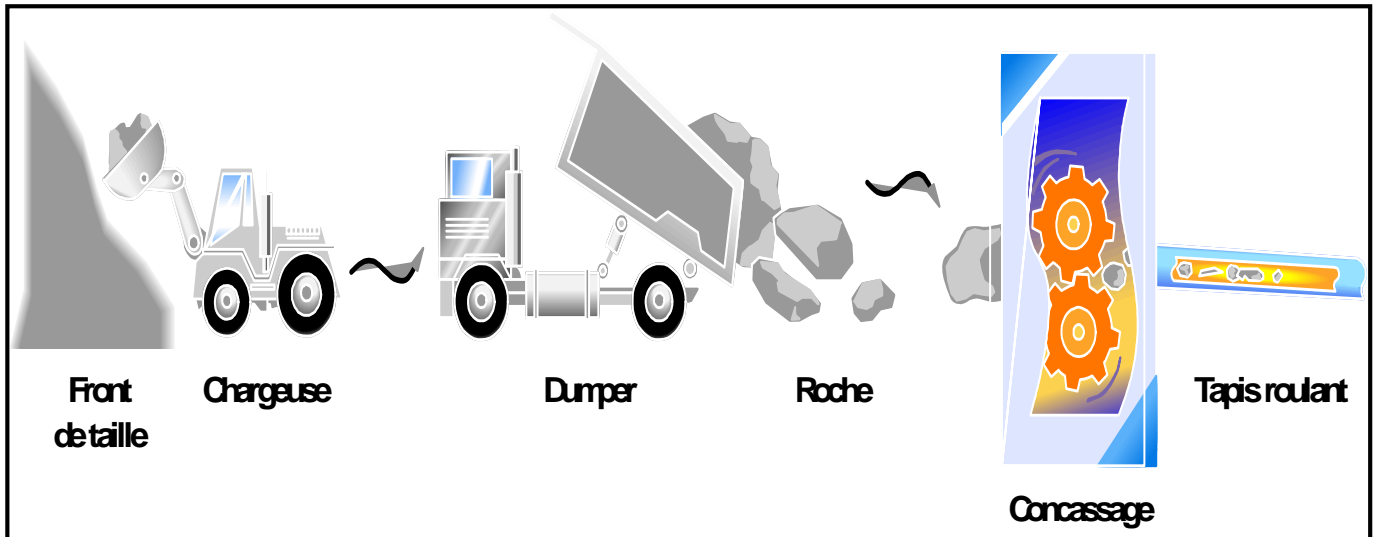


Figure 4: Première phase de la production: extraction et concassage

d. 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 pré-homogénéisation.

e. Le 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, nécessite encore du broyage, ce dernier se fait moyennant un séparateur placé au-dessus des galets.

Ainsi, le cru provenant du pré-homogénéisation est alors réduit en poudre (farine). L'usine de Meknès dispose de deux broyeurs verticaux :

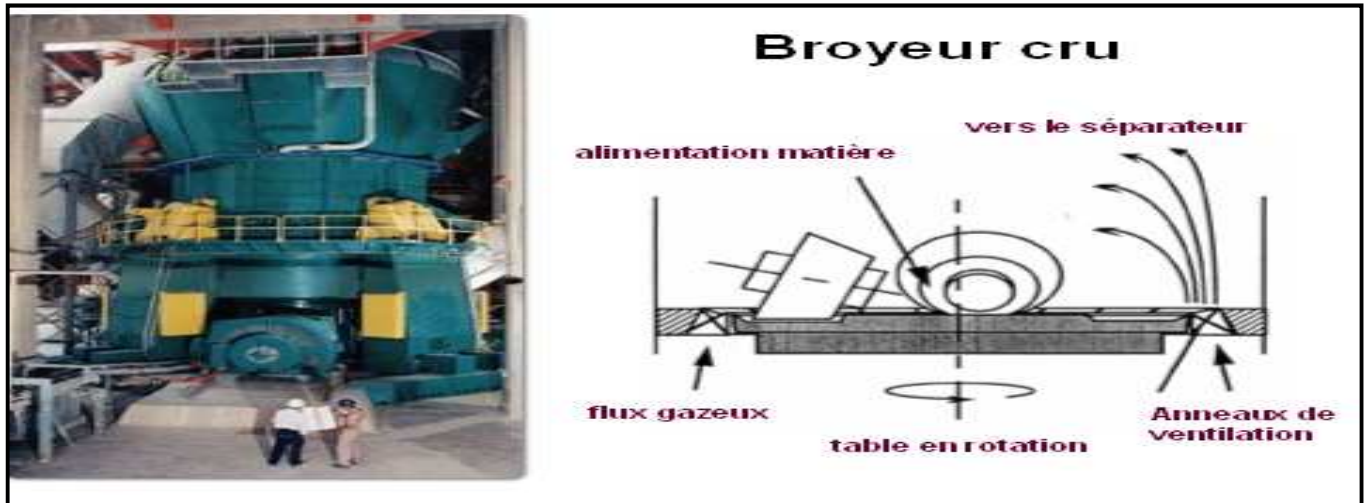


Figure 5: Broyeur cru

f. Homogénéisation :

Après broyage, le cru est expédié, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation de capacité 7500 tonnes et 5000 tonnes.

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

g. Cuisson :

Il s'agit d'un procédé par voies 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.

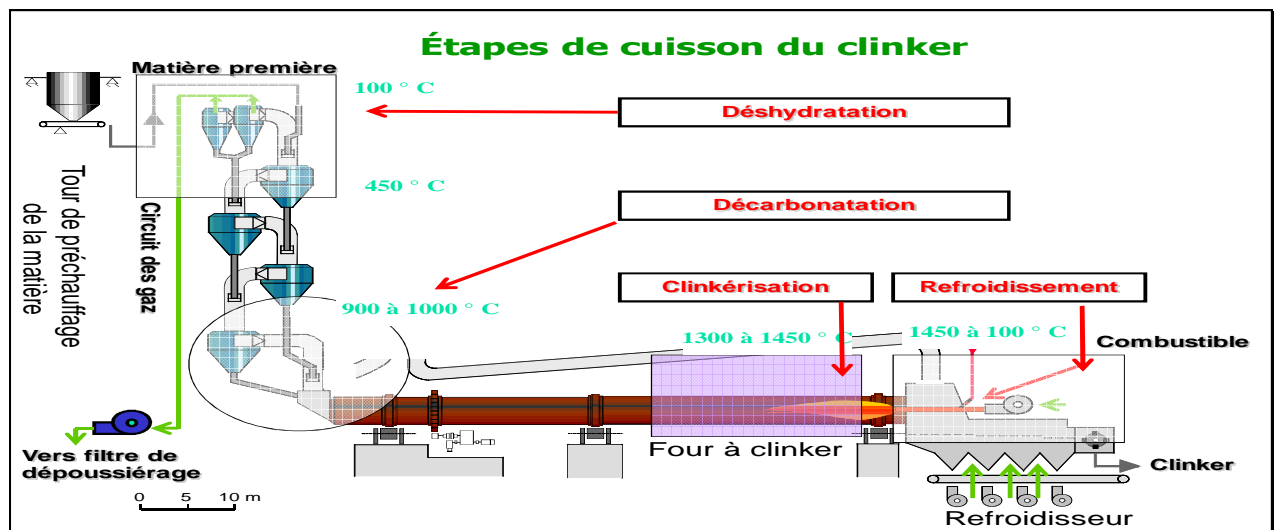


Figure6: Les étapes de la cuisson du Clinker

C'est le Procédé dans lequel la farine est introduite directement dans le four sous forme pulvérulente.

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.

Elle circule le long de cinq cyclones, à contre-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 :

Déshydratation

De 100 à 200°C départ de l'eau libre.

De 400 à 600°C départ de l'eau combinée.

Décarbonatation

Au-delà de 750°C, le cru s'échauffe jusqu'à une température de l'ordre de 950 °C, à cette température intervient la décarbonatation de la phase calcaire :



De cette réaction résulte la formation de la chaux CaO indispensable pour la formation des différentes phases de Clinker.

Clinkerisation

A la sortie du préchauffeur, la farine arrive dans le four rotatif où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation.

La chaux vive et les oxydes provenant des argiles (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 entre autres) réagissent d'abord en milieu solide, lentement, jusqu'à l'apparition vers 1200°C d'un liquide provenant de la fusion des phases les moins réfractaires. Grâce à lui, les réactions s'accroissent et le C3S (phase essentielle du Clinker du point de vue des résistances) se forme.

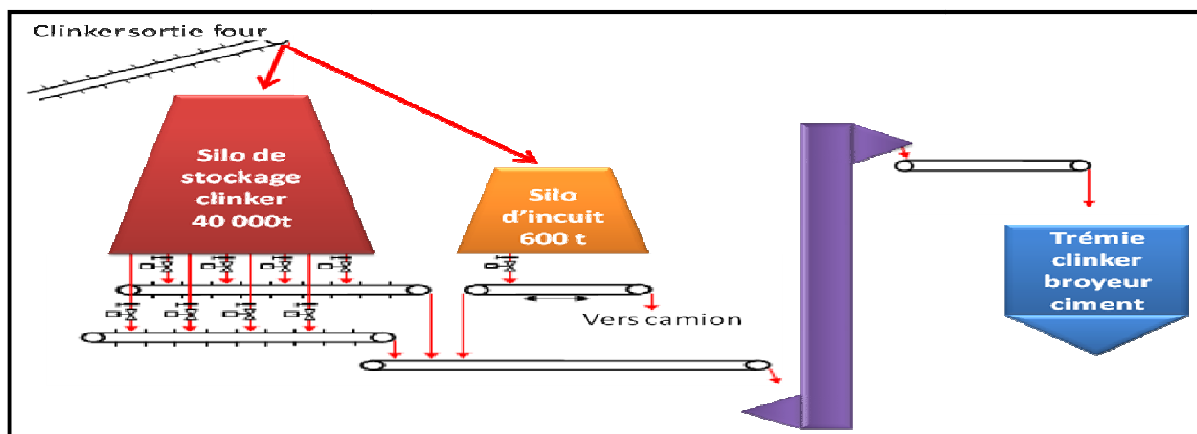


Figure7 : Circuit du Clinker

Le Clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives (Clinkerisation) permettant :

- La décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive)

- La scission de l'argile en silice et alumine
- La combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux pour former des silicates et des aluminates de chaux.

h. Le refroidissement :

A la sortie de four s'effectue un refroidissement rapide pour éviter la transformation des réactions ci-dessus dans le sens inverse .

i. Broyage de Ciment :

Une fois refroidi, le Clinker est stocké dans un hall d'une capacité de 20 000 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 (régulateur de prise).
L'atelier de broyage de l'usine est équipé de 3 broyeurs à boulets nommés BK3, BK4 et BK5.

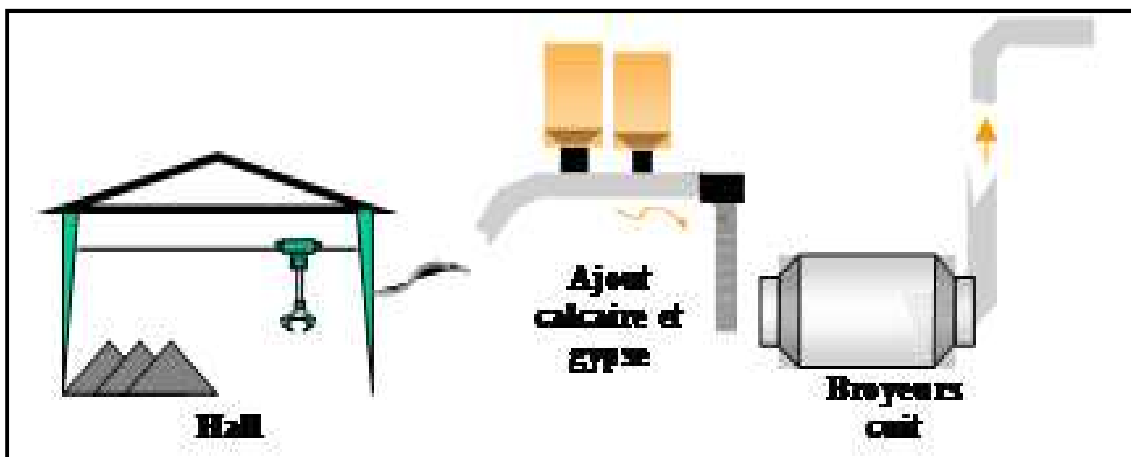


Figure 8 :Broyage du Ciment

j. 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 par voie ferrée.

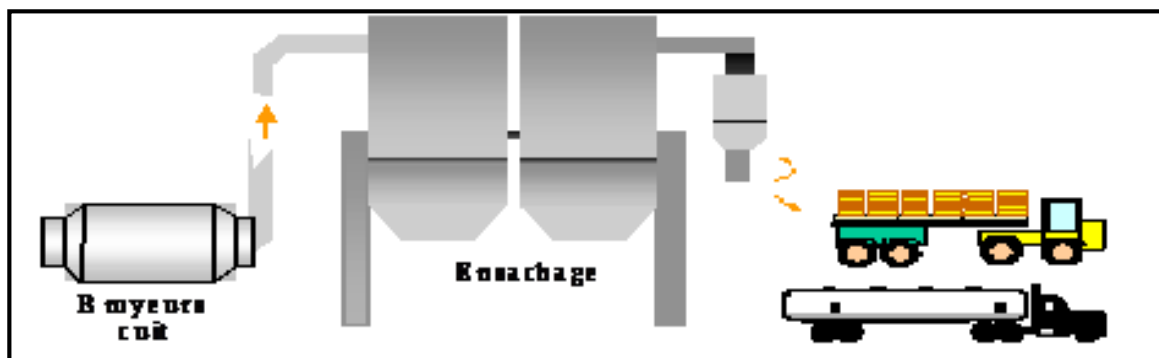


Figure 9 : Expédition du Ciment

III. Contrôle de la Qualité

Conformément aux normes marocaines en vigueur relatives au Ciment (NM 10.1.004 et NM 10.1.005) et à la circulaire fixant les modalités pratiques d'attribution de cette marque, la Direction LAFARGE Ciments Usine de Meknès s'engage à respecter ces textes.

Ainsi, les rôles majeurs du service qualité sont :

- ❖ Observer toutes les spécifications des normes visant les produits fabriqués ;
- ❖ Veiller à l'application des mesures prises pour assurer la qualité des produits intermédiaires (Cru, Clinker, Ciments) ;
- ❖ Exercer les contrôles définis par la norme sur les produits finis (autocontrôle), ainsi que ceux qui lui incombent au titre de la circulaire relative à la marque de conformité aux normes marocaines relatives au Ciment ;
- ❖ Définir les dispositions et les contrôles nécessaires pour assurer la permanence de la qualité du matériel d'essais et la fiabilité des résultats ;
- ❖ Faciliter la tâche des agents de vérification dans l'exercice de leurs fonctions.

1. Organigramme du service Qualité

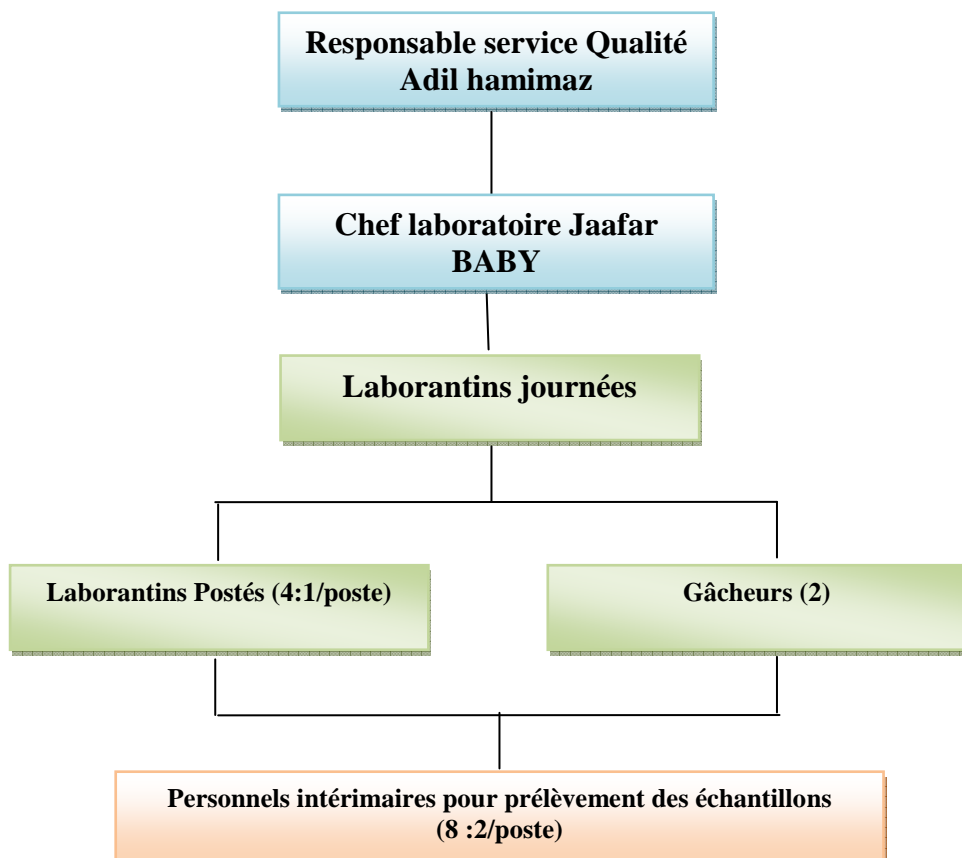


Figure10 : Organigramme du service qualité

2. Description des équipements du laboratoire

LAFARGE Ciments, Usine de Meknès est dotée d'un laboratoire possédant tous les équipements nécessaires à la réalisation des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'à l'expédition du produit fini et ce conformément aux normes en vigueur et aux besoins de la clientèle. Le personnel de 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 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.

3. Analyses chimiques

a. Analyse par fluorescence X

L'usine dispose de deux spectromètres de fluorescence X : BRUKER S8 TIGER et OXFORD MDX 1080. Ils permettent l'analyse simultanée des éléments suivants : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , K_2O et Na_2O .

Un ensemble d'équipements annexes est mis en place pour assurer la préparation des échantillons. (3)

b. Analyse par la chimie classique

Dans le but d'assurer une alternative en cas de panne du spectromètre de fluorescence X ainsi que la réalisation des essais non permis par la fluorescence X, l'usine a prévu un département pour des analyses par méthodes physiques ou chimie classique .

4. Essais Physiques et Mécaniques

Un département fonctionnant dans les conditions climatiques prévues par les normes en vigueur est doté de tous les équipements nécessaires au déroulement des essais physiques et mécaniques. Ces équipements sont entretenus, vérifiés et étalonnés systématiquement.

a. Essais Sous-traités

Tel que décrit dans le paragraphe description du laboratoire de contrôle, l'usine dispose de tous les moyens nécessaires à la réalisation des essais stipulés par les normes en vigueur, à l'exception du retrait sur les Ciments et de la teneur en matières organiques (TOC) sur les constituants qui sont sous-traités.

b. Les Moyens Techniques d'approvisionnement, de Stockage et de Conditionnement

Afin de maintenir la qualité et la régularité des Ciments produits, plusieurs dispositions sont prises par l'usine. En ce qui concerne l'alimentation des broyeurs, les doseurs (Clinker, calcaire et gypse) sont asservis les uns avec les autres de telle sorte que si l'un des doseurs s'arrête ou affiche un défaut de matière entraîne automatiquement l'arrêt des autres doseurs.

Le changement de qualité du Ciment à l'ensachage est régi par une procédure nommée Q-PQ-MKS-108.

L'entretien et le suivi des vannes des ateliers *cuits*¹⁰n°3, n°4 et n°5 sont réalisés d'une façon planifiée et font l'objet d'un programme d'entretien préventif décomposé en systématique et conditionnel. Une équipe d'entretien est chargée d'exécuter les différentes opérations de ce programme et de veiller au bon fonctionnement de ces vannes dans le but d'éviter le mélange des qualités de Ciment.

La méthode de maintenance adoptée est basée essentiellement sur la visite prédictive. Le bureau des méthodes tient en charge la gestion de cette maintenance via le logiciel MAXIMO.

c. Distribution et Points d'échantillonnages

Les prélèvements sont opérés à la sortie des silos ou sur sacs. Sur chaque échantillon du Ciment, on procède à la détermination de l'ensemble des caractéristiques prévues par la logique de contrôle citée dans le dossier technique et le plan qualité de l'usine.

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE DU SUJET

A travers cette partie, nous présentons tout d'abord la problématique de notre étude, puis la méthode de déroulement des expériences. Nous analysons par la suite les résultats obtenus à partir des essais au niveau du laboratoire.

④ **Présentation du sujet.**

④ **Déroulement des expériences.**

④ **Résultats et discussions**

I. Introduction problématique

Pour produire le Ciment qui est un produit de base élaborée, l'industrie Cimentière a dû optimiser sa matière première au niveau de la préhomogénéisation.

Dans ce contexte, une problématique se pose : l'échantillon moyen des Cuttings est différent de celui obtenu par la tour d'échantillonnage (qui représente les tas de pré-homogénéisation), alors, la question qui se pose dans le cadre de notre sujet:

Sur quoi faut-il agir pour garantir un bon Cuttings qui doit représenter le tas de la préhomogénéisation ?

L'étude du projet a été réalisée en se basant sur 4 étapes principales de la démarche :

- 1- Analyser les échantillons obtenus par Cuttings et celui obtenu par la tour d'échantillonnage ;
- 2- Faire des analyses statistiques pour avoir la différence entre les échantillons ;
- 3- Dégager les facteurs influençant l'écart entre les échantillons ;
- 4- Proposer la méthode la plus fiable pour avoir une matière première représentative (moins d'écart) ;

II. Présentation du sujet

Avant d'exposer le contexte de mon sujet, je vais décrire dans ce chapitre, la méthode de prélèvement de la matière première puisqu'elle constitue notre objet d'étude. Ensuite, je présenterai la méthode d'analyse chimique qui s'effectue sur les échantillons et leur résultats

1. Etude du contexte régional:

a. Cadre géomorphologique :

L'usine LAFARGE et ses gisements sont situés dans le bassin lacustre tertiaire de Fès-Meknès qui constitue la plaine du saïs et le plateau de Meknès.

Le bassin de Meknès- Fès forme la partie centrale du sillon sud-rifain, ce dernier appelé aussi "couloir sud-rifain" qui s'est formé au miocène occidentale et du causse moyen atlasique.

Le bassin de Meknès -Fès est encadré par :

- L'oued baht à l'ouest
- Le Sebou à l'est
- Les rides pré rifaines au nord
- Le rebord du causse moyen-atlasique.

La zone étudiée est constituée par un plateau au centre, entaillé sur les bordures par les vallées de l'oued Zifera l'Est, de l'oued Chara au nord, et de l'oued Ouislane à l'ouest et au sud-ouest. Ces vallées ouvertes déterminent une ligne d'érosion et découvrent le substratum marneux miocène du bassin lacustre plio-quadernaire. Au nord-est, les calcaires constituent par endroit une falaise de 20m de hauteur au niveau du douar Al Khaloua.

2. Etude des fronts de taille :

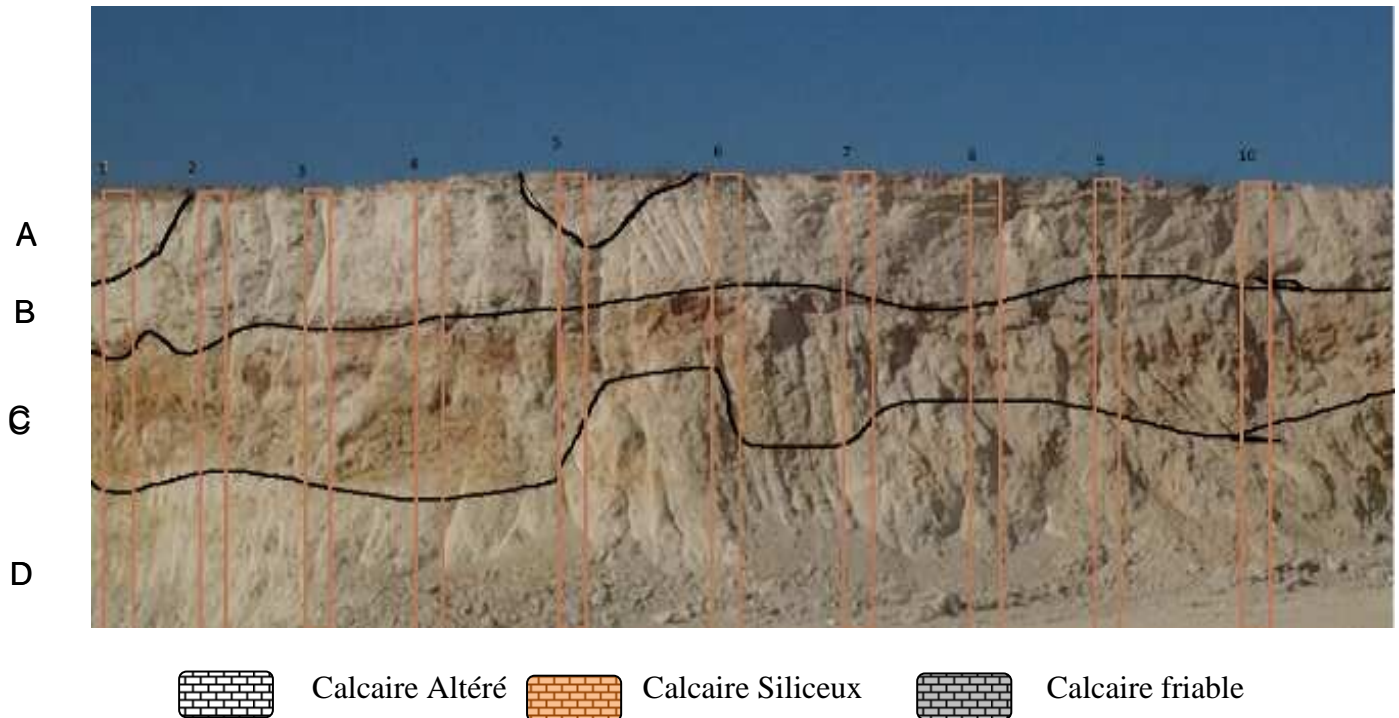
L'étude géologique des fronts et la prise d'échantillons des fronts de taille des différents panneaux de la carrière ont été procédées par des observations minutieuses notamment du point de vue lithologique, granulométrique et consistance des couches, afin de délimiter des niveaux plus ou moins homogènes.

Nous avons travaillé sur : « la zone D EST ».

Vu l'hétérogénéité des matières premières l'usine prend des dispositions particulières pour l'exploitation de la carrière telle que la division du gisement en panneaux de 60m.

Notre étude est faite par couches sur 10 trous et avec différentes probabilités.

Figure 11: Zone D Est



Le logo stratigraphique réalisé dans la zone "D Est" est exploité sur une puissance de 8m montrant de la base vers le sommet l'alternance des différents couches de la base vers le sommet :

- Une couche de calcaire friable de couleur grisâtre.
- Une couche de calcaire siliceux.
- Une couche de calcaire altérée au niveau supérieur de la zone.

Pour chaque trou l'échantillonnage et l'analyse sont fait par couches tout en gardant l'échantillon moyen du trou.

3. Préparation de la matière première (iii)

a. Carrière :

Une carrière se définit à partir de la substance extraite et non à partir du mode d'exploitation (aérien ou souterrain). Une carrière est donc le lieu d'exploitation de pierres, de sables et de minéraux non métalliques, ni carbonifères.

Les matières premières de LAFARGE Meknès sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert.

Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50 mm Ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux même de l'extraction.



Figure 12: Carrière Zone D

b. Foration :

Foration : c'est l'opération qui consiste à forer les trous de mine dans le rocher, on utilise couramment des machines hydrauliques.

La Foration est définie par son diamètre, sa profondeur et son inclinaison par rapport à la verticale.

C'est une technique comme étant la première étape de la chaîne cinématique dans la carrière de Meknès.

Elle consiste à réaliser des trous dans un terrain dur pour y mettre de l'explosif dans le but de le fragmenter.

L'exécution de ces trous doit être faite suivant une maille bien déterminée tout en respectant la hauteur à forer.



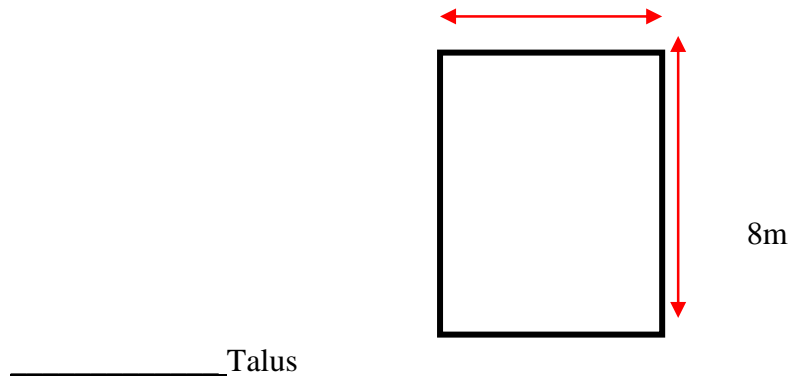
Figure 11:Forreuse

La précision avec laquelle ces paramètres sont respectés aura une grande influence sur les résultats des tirs.

-

- Front : C'est une surface sensiblement verticale qui limite le massif rocheux à abattre et en arrière de laquelle on implante la Foration.
- Banquette : c'est la distance qui sépare le trou de mine du front.
- Maille : on appelle maille le quadrilatère formé par la succession de deux trous et leur projection sur le front.

La maille est la grandeur caractéristique du plan de tir elle s'exprime en m2.
2,70m



- Diamètre de Foration : c'est le diamètre du taillon qui permet de forer le trou destiné à recevoir l'explosif.



Figure 12: Trou réalisé par foreuse Figure 13: Taillon 89,tige 45

- Espacement : c'est la distance séparent deux trous successifs d'une même rangé.

c. Etape Cuttings :

Après la foration d'un trou de mine, la matière est aspirée dans deux sacs, pour la matière poudre et l'autre pour les granulats de taille moyenne.



Figure 14: Matière poudre



Figure 15: Granulat de taille moyenne

La matière obtenue sera mélangée dans un diviseur qui doit être bien nettoyé pour éviter la contamination par une autre matière.



Figure 16: Diviseur

L'échantillon est ensuite renverser dans des sacs accompagné de toute référence de sondage (date-zone d'étude-numéro de panneau-numéro de trou) pour faciliter les analyses chimiques.

III. Déroulement des expériences

Au sein de LAFARGE, le laboratoire assure le contrôle de la matière depuis la carrière jusqu'à l'expédition et intervient si nécessaire à chaque étape de fabrication pour obtenir un Clinker ayant des propriétés fixes.

Nous décrivons dans ce chapitre la méthodologie suivie pour effectuer les analyses sur l'ensemble des échantillons de la zone D au laboratoire.

1. Procédure de constitution d'échantillon moyen :

- Prélever 100 grammes de matière de chaque échantillon.
- Mélanger ces prises d'échantillons pour constituer un échantillon moyen journalier.
- Concasser, homogénéiser et quarter afin d'obtenir un échantillon représentative.
- Prendre 3 échantillons aléatoires de la réception journalière.

a. Préparation des pastilles :

Pour déterminer le pourcentage des éléments majeur par la fluorescence X une préparation des pastilles doit être faite à l'avance.

- Séchage d'échantillon dans un four d'une température de 105.
- Concassage de l'échantillon dans un concasseur.
- Peser 15g de l'échantillon concassé.
- Ajouté 2 comprimés de HERZOG.
- Peser 6 g de l'échantillon pour presser une pastille dans une presse hydraulique.
- Nettoyer le fond de la pastille avec le pinceau pour éviter la pollution de l'appareil FX.



Figure 17:Compresseur de pastille

b. Analyse chimique :

Après que les pastilles sont transportées au laboratoire des analyses chimiques.

L'usine dispose d'un spectromètre de fluorescence X OXFORD, MDX 1080. Il permet l'analyse simultanée des éléments suivants : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , K_2O et Na_2O .

fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X (FX, ou XRF pour *X-ray fluorescence*) est une technique permettant l'analyse élémentaire, c.-à-d. que l'on peut savoir quelle quantité on a de tel ou tel atome, mais on ne sait pas sous quelle forme chimique. Cette technique utilise des phénomènes physiques qui ont été découverts et développés dans le domaine de la physique quantique (effet photoélectrique, émission spontanée, diffraction des rayons X).

Cette technique permet de mesurer des échantillons très variés : minéraux, métaux, huiles, eau, Ciments, polymères, verres... Cependant, elle ne peut pas mesurer les éléments légers (faible numéro atomique Z) : la mesure de l'hydrogène H, du lithium Li et du béryllium Be est impossible, celle du bore B, du carbone C, de l'azote N, de l'oxygène O et du fluor F est délicate.

Trois indices permettent de caractériser un cru :

Module LSF :

C'est une cible nominale utilisée pour déterminer le pourcentage de la chaux libre demandée pour obtenir une production d'une qualité bien déterminée.

Ce module est calculé par la méthode suivante :

$$LSF = \frac{100 * CaO}{2,8 * SiO_2 + 1,18 * Al_2O_3 + 0,65 * Fe_2O_3}$$

- Si $LSF > 100$: il y'a trop de chaux et l'excès se trouve sous forme de chaux libre qui est trop dangereuse pour le Ciment, car elle ne se combine pas et conduit au gonflement du Ciment.
- Si $LSF < 100$: il n'y a pas assez de chaux pour se combiner avec la silice, l'alumine et l'oxyde de fer, qui vont rester libre dans le Clinker et par conséquent diminuer sa résistance.

Module MS :

C'est une cible nominale utilisée pour déterminer le pourcentage de la silice demandée pour obtenir une production d'une qualité bien déterminée.

- $MS = S / A + F$

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

A et F sont des agents de fusion, grâce auxquels la formation de la phase liquide commence. S'il y en a peu, MS sera élevé et la cuisson sera ensuite difficile.

Module A/F :

C'est un module qui règle la proportion massique entre C3A et C4F pour obtenir une production d'une qualité bien déterminée.

- Il règle la proportion entre C3A et C4AF. Sa formule est :

$$A/F(\%) = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

- Les valeurs industrielles sont en général comprises entre 1,3 et 2,2.

IV. Résultats et Discussions

Nous présentons dans cette partie, tous les résultats d'analyses des échantillons de chaque trou de la zone D.

1. Tableau des résultats d'analyses de la zone D

| Zone D | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | (%) CaCO3 |
|---------|----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Trou 1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 89,19 |
| Trou 2 | 6,013 | 1,731 | 0,862 | 49,982 | 89,25 |
| Trou 3 | 5,990 | 1,717 | 0,788 | 50,107 | 89,48 |
| Trou 4 | 8,242 | 1,895 | 0,768 | 48,518 | 86,64 |
| Trou 5 | 5,479 | 1,421 | 0,686 | 50,743 | 90,61 |
| Trou 6 | 5,893 | 1,607 | 0,726 | 50,280 | 89,79 |
| Trou 7 | 8,000 | 2,359 | 1,050 | 48,073 | 85,85 |
| Trou 8 | 8,503 | 1,977 | 0,780 | 48,181 | 86,04 |
| Trou 9 | 9,294 | 2,102 | 0,798 | 47,657 | 85,10 |
| Trou 10 | 8,332 | 1,824 | 0,724 | 48,619 | 86,82 |

On prend en considération la hauteur et la densité de chaque couche

- La relation qui permet de calculer l'échantillon reconstitué est :

$$Echantillon\ reconstitué = \frac{\sum_A^D Coefficient * Elément\ analysé}{\sum_A^D Coefficient}$$

Avec Coefficient = hauteur * densité

| Zone D | Echantillon Aléatoire | | | Echantillon reconstitué | | |
|---------|-----------------------|-------|-------|-------------------------|------|--------|
| | A/F | MS | LSF | A/F_1 | MS_1 | LSF_1 |
| Trou 1 | 2,137 | 2,522 | 248,6 | 2,07 | 2,69 | 225,41 |
| Trou 2 | 2,008 | 2,32 | 257,1 | 2,01 | 2,42 | 261,97 |
| Trou 3 | 2,178 | 2,391 | 259,5 | 2,06 | 2,39 | 259,48 |
| Trou 4 | 2,467 | 3,095 | 188,0 | 2,02 | 2,47 | 261,47 |
| Trou 5 | 2,07 | 2,601 | 290,6 | 2,13 | 2,58 | 233,19 |
| Trou 6 | 2,215 | 2,526 | 266,5 | 2,17 | 2,59 | 228,66 |
| Trou 7 | 2,247 | 2,347 | 185,9 | 2,48 | 3,07 | 155,86 |
| Trou 8 | 2,536 | 3,084 | 180,8 | 2,56 | 3,25 | 139,51 |
| Trou 9 | 2,635 | 3,205 | 164,2 | 2,60 | 3,38 | 140,35 |
| Trou 10 | 2,519 | 3,270 | 187,3 | 2,50 | 3,55 | 161,99 |

Pour vérifier la différence entre l'échantillon moyen des Cuttings et l'échantillon de la tour d'échantillonnage, on vérifie tout d'abord la différence entre l'échantillon aléatoire et l'échantillon reconstitué.

- On applique le test de Student pour tester la différence entre les deux moyennes.

| | Moyenne | | | Ecart type | | |
|-------------------------|---------|-------|--------|------------|-------|--------|
| | A/F () | MS () | LSF () | A/F () | MS () | LSF () |
| Echantillon Aléatoire | 2,3 | 2,74 | 222,85 | 0,22 | 0,36 | 45,61 |
| Echantillon reconstitué | 2,26 | 2,84 | 206,78 | 0,24 | 0,47 | 51,50 |

Nous calculerons **une statistique t de Student** à partir des données et nous déterminerons la probabilité de cette valeur à l'aide de la distribution de Student :

$$v = n1 + n2 - 2 \quad v = 10 + 10 - 2 = 18 \text{ degrés de liberté (avec } n1=10 \text{ et } n2= 10).$$

Cette distribution nous permettra de savoir si la probabilité de rencontrer notre valeur de t sous H0 est plus grande ou plus petite que notre seuil α . Nous prendrons alors la décision d'accepter ou de rejeter H0.

Déclaration des hypothèses :

- H0 : la moyenne des échantillons aléatoires X1 est conforme au moyenne des échantillons reconstitués X2.
- H1 : la moyenne des échantillons aléatoires X1 est significativement différente au moyenne des échantillons reconstitués X2 .

La statistique calculée est :

$$t_{cal} = \frac{|X2 - X1|}{\sqrt{\frac{s^2_1}{n1} + \frac{s^2_2}{n2}}}$$

a. Tableau des résultats :

| | Test de student | | |
|-------|-----------------|-------------|-------------|
| | A/F () | MS () | LSF () |
| t cal | 0,41 | 0,69 | 0,74 |

La valeur critique lue dans la table de student (pour $\alpha=5\%$) est t crit= 2,109.

Dans les trois modules :

On a $t_{cal} < t_{critique}$ alors la différence entre les deux moyennes n'est pas significative on accepte donc l'hypothèse H_0 .

Puisque il n'y a pas de différence entre l'échantillon aléatoire et l'échantillon reconstitué, on applique le test de Student seulement sur l'échantillon aléatoire et l'échantillon réel (tour d'échantillonnage) pour tester la différence entre les deux moyennes.

| | Moyenne | | | Ecart type | | |
|-----------------------|---------|-------|--------|------------|-------|--------|
| | A/F () | MS () | LSF () | A/F () | MS () | LSF () |
| Echantillon Aléatoire | 2,3 | 2,74 | 222,85 | 0,22 | 0,36 | 45,61 |
| Echantillon réel | 1,86 | 2,44 | 264,06 | | | |

Déclaration des hypothèses :

- H_0 : la moyenne des échantillons aléatoires X_1 est conforme au standard d'échantillon réelm.
- H_1 : la moyenne des échantillons aléatoires X_1 est significativement différente au moyenne d'échantillon réelm.

La statistique calculée est :

$$t_{cal} = \frac{|X_1 - m|}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

b. Tableau des résultats :

| | Test de student | | |
|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| | A/F () | MS () | LSF () |
| t cal | 6.40 | 2.73 | 2.86 |

La valeur critique lue dans la table de student pour un risque d'erreur $\alpha=5\%$ est $t_{crit} = 2,262$

Dans les trois modules :

On a $t_{cal} > t_{critique}$ alors la différence entre les deux moyennes est significativement différente.

c. Conclusion :

On conclu que l'échantillon obtenu par Cuttings est différent de celui obtenu par la tour d'échantillonnage.

V. Identification des causes explicative de l'écart entre l'échantillon due aux Cuttings et l'échantillon due à la tour d'échantillonnage.

Pour rechercher et analyser les causes engendrant ce problème j'aurais recours au diagramme causes-effets ou encore diagramme Ishikawa qui permet de classer les idées, faire disparaître les redondances et faire apparaître les éventuels oublis.

Diagramme causes_effet

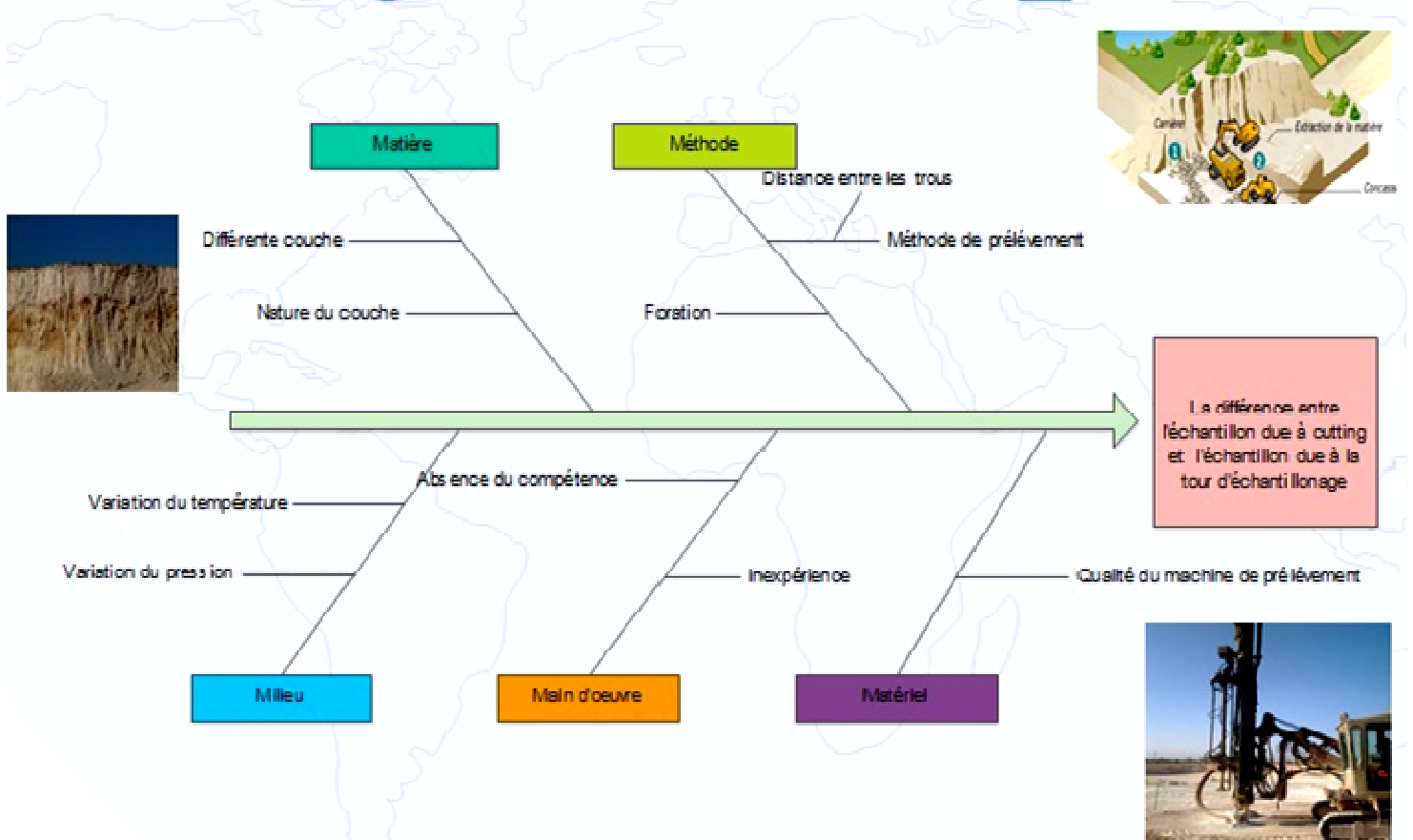


Figure 23 : diagramme d'ISHIKAWA

Le travail présent, s'intéresse à différentes trous ainsi qu'à leur composition.

Pour dégager les facteurs qui influencent la différence entre les trous, on va étudier la variation des trois modules dans les différents trous.

1. La variation des trois modules A/F, MS et LSF pour les 10 trous

a. Variation du module A/F pour les 10 trous

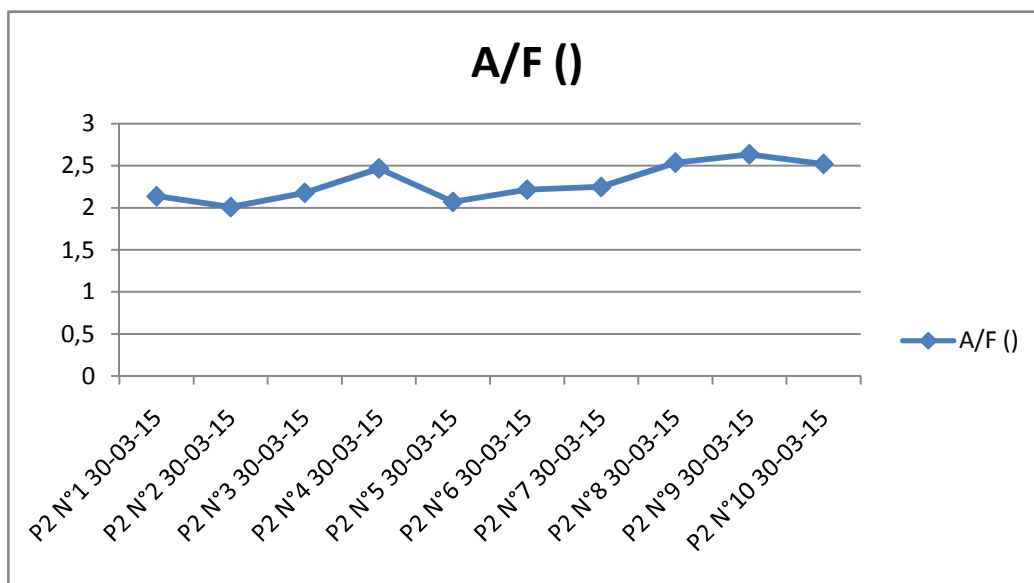


Figure 24: Présentation graphique de variation du A/F

D'après la représentation graphique on observe une variation du A/F entre les trous variée entre 2 à 2.7.

b. Variation du module MS pour les 10 trous

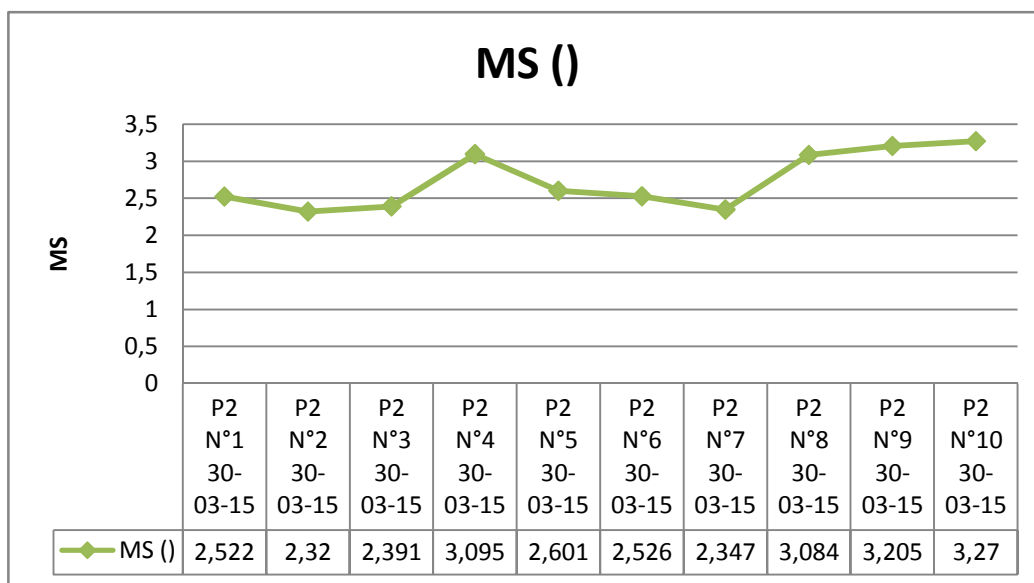


Figure 25 : Présentation graphique de variation du MS

D'après la représentation graphique on observe une variation du MS entre les trous.

c. Variation du module LSF pour les 10 trous

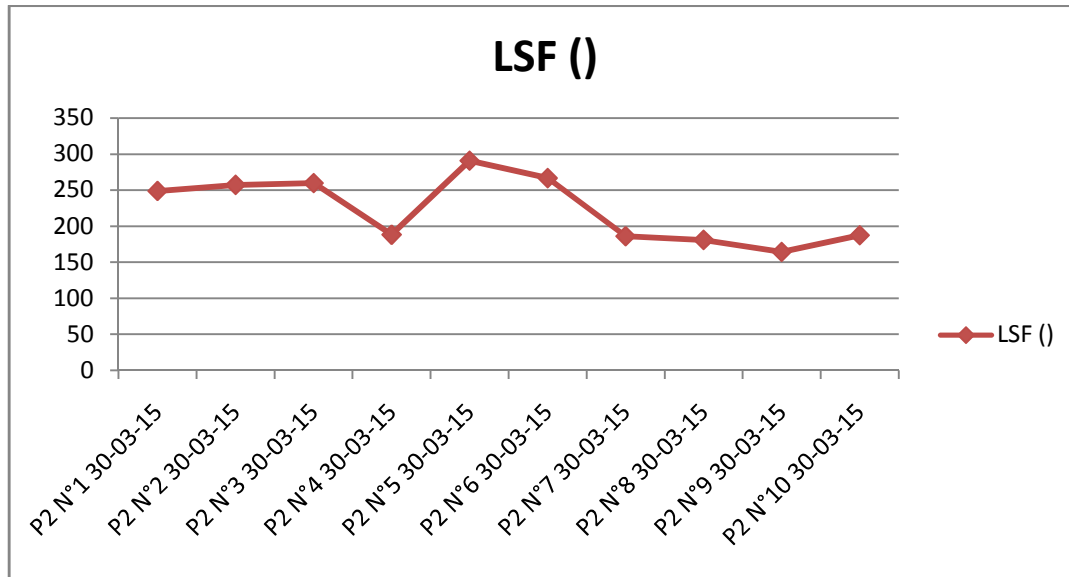


Figure 26 : Présentation graphique de variation du LSF

D'après la représentation graphique du module LSF on constate qu'il y a une grande variation entre les différents trous.

d. Conclusion :

D'après les représentations graphiques précédentes, on conclut que la variation entre les trous est causée par la différence des trois modules (LSF, MS, A/F) dans les différents trous.

On s'intéresse seulement à la variation du LSF.

Pour dégager les facteurs influençant cette variation, on va étudier la variation de LSF dans les couches du même trou et au niveau de chaque couche.

2. Variation de LSF des couches de même trou.

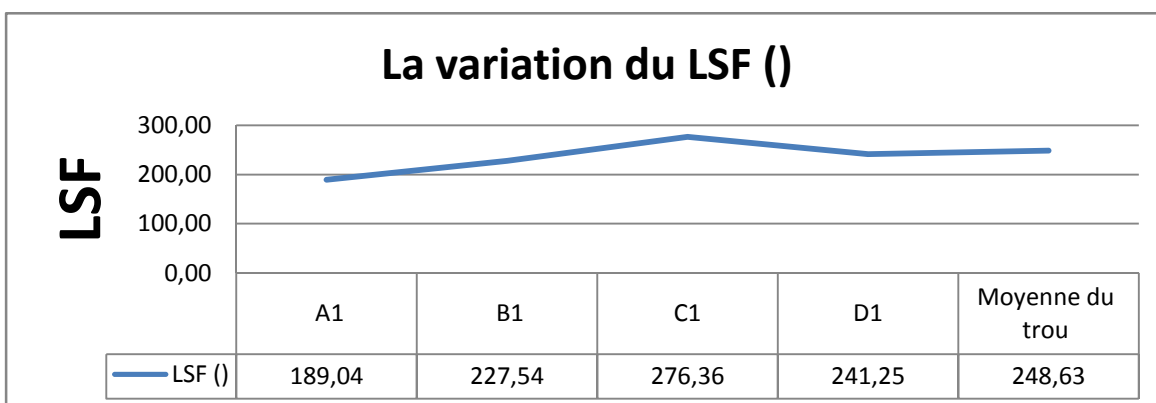


Figure 27 : Présentation graphique de variation du LSF des couches de même trou

D'après la représentation graphique du module LSF pour les différentes couches du même trou on constate qu'il y a une variation entre les différentes couches. On conclut que la différence entre les trous est causée par la différence des couches constituant chaque trou.

3. Résultats des analyses de LSF au niveau de chaque couche:

| | Couche A des différents trous | LSF () |
|--------|-------------------------------|---------|
| Zone D | P2 A°1 | 189 |
| | P2 A°5 | 237 |

| | Couche B des différents trous | LSF () |
|--------|-------------------------------|---------|
| Zone D | P2 B°1 | 227,5 |
| | P2 B°2 | 294,4 |
| | P2 B°3 | 397,2 |
| | P2 B°4 | 292,7 |
| | P2 B°5 | 261,4 |
| | P2 B°6 | 240,4 |
| | P2 B°7 | 128,7 |
| | P2 B°8 | 105,8 |
| | P2 B°9 | 115,4 |
| | P2 B°10 | 116,5 |

| | Couche C des différents trous | LSF () |
|--------|-------------------------------|---------|
| Zone D | P2 C°1 | 276,3 |
| | P2 C°2 | 228,4 |
| | P2 C°3 | 325,8 |
| | P2 C°4 | 454,0 |
| | P2 C°5 | 266,7 |
| | P2 C°6 | 304,1 |
| | P2 C°7 | 120,2 |
| | P2 C°8 | 112,4 |
| | P2 C°9 | 116,6 |
| | P2 C°10 | 138,2 |

| | Couche D des différents trous | LSF () |
|--------|-------------------------------|---------|
| Zone D | P2 D°1 | 241,3 |
| | P2 D°5 | 207,3 |

4. Variation du LSF au niveau de chaque couche

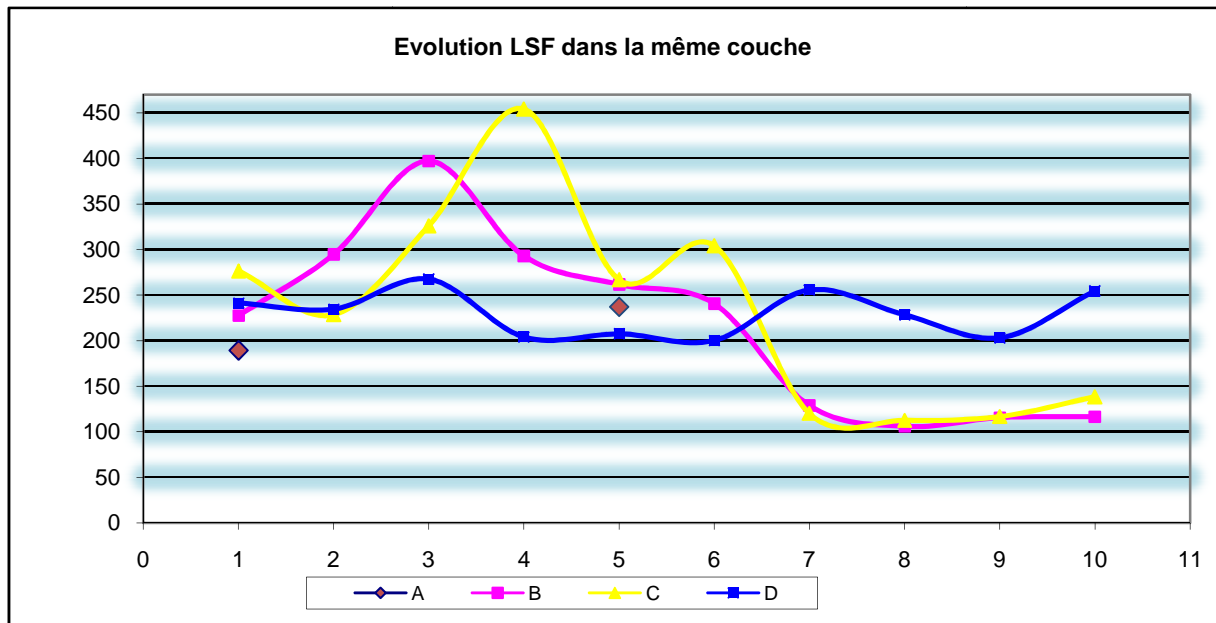


Figure 28 : Présentation graphique de variation du LSF dans la même couche

La variation de la LSF au niveau de chaque couche montre l'hétérogénéité du pourcentage des éléments majeurs present au niveau de la zone étudiée.cette valeur varie de 454 comme un seuil au niveau de la couche C et de 116 comme minimum.

Cette couche de nature calcaire siliceux et de hauteur variante entre 1 et 3,5 m presente un intervalle d'hétérogénéité tres important.

Les couches B et D sont de valeurs variante montrant l'hétérogénéité.

On conclu que la différence entre l'échantillon moyen des cuttings et l'échantillon de la tour d'échantillonnage est causée par l'hétérogénéité des trous ainsi que l'hétérogénéité des couches constituants les trous.

VI. Méthode d'échantillonnage :

Actuellement pour caractériser un panneau, LAFARGE de Meknès procède à des prélèvements moyens des Cuttings avec une probabilité de 1/3 des trous.

Pour vérifier l'efficacité de ce mode d'échantillonnagele résultat obtenu avec cette probabilité (moyenne des trous 1;4;7 et 10) sera comparé avec celui obtenu par la tour d'échantillonnage (ce dernier qui est considéré comme référentiel).

1. Résultats des analyses par la méthode de prélèvement :

| | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | A/F () | MS () | LSF () |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Moyenne 1/3 des trous | 7,71 | 1,94 | 0,83 | 48,79 | 0,80 | 0,07 | 0,05 | 2,34 | 2,81 | 202,45 |
| Echantillon Tour Echantillonnage | 5,86 | 1,56 | 0,84 | 49,63 | 0,75 | 0,03 | 0,07 | 1,86 | 2,44 | 264,06 |

- A partir de ces résultats on constate un écart très important entre les 2 échantillons.
- Ces résultats peuvent être expliqués par l'hétérogénéité de la carrière qu'on a déjà confirmée.

Ceci explique les dérives des tas réalisés par rapport aux simulations qui sont faites en se basant sur les analyses des Cuttings.

2. Méthode d'échantillonnage :

Afin de réduire l'écart entre les Cuttings et la tour d'échantillonnage, on va procéder à la reconstitution de l'échantillon moyen du Cuttings avec des probabilités différentes et évaluer les écarts.

a. Résultats des analyses de LSF moyen Cuttings& LSF de la tour d'échantillonnage avec différente probabilité

| | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | A/F | MS | LSF |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|
| 1/5 par couches | 6,03 | 1,58 | 0,73 | 43,30 | 0,66 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 2,15 | 2,61 | 225,13 |
| 1/4 par couches | 7,06 | 1,70 | 0,76 | 44,80 | 0,71 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 2,22 | 2,87 | 201,24 |
| 1/3 par couches | 6,28 | 1,50 | 0,66 | 39,76 | 0,62 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 2,27 | 2,91 | 201,04 |
| 1/2 par couches | 6,32 | 1,55 | 0,69 | 41,70 | 0,66 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 2,26 | 2,82 | 208,82 |
| 10/10 par couches | 6,05 | 1,48 | 0,65 | 39,20 | 0,63 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 2,27 | 2,83 | 205,09 |
| 1/5 | 6,08 | 1,65 | 0,76 | 50,11 | 0,76 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 2,17 | 2,52 | 257,27 |
| 1/4 | 7,02 | 1,74 | 0,76 | 49,45 | 0,77 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 2,29 | 2,81 | 222,83 |
| 1/3 | 7,71 | 1,94 | 0,83 | 48,79 | 0,80 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 2,33 | 2,78 | 199,71 |
| 1/2 | 7,01 | 1,86 | 0,82 | 49,31 | 0,80 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 2,26 | 2,61 | 220,60 |
| 10/10 | 7,20 | 1,83 | 0,80 | 49,21 | 0,79 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 2,30 | 2,74 | 215,39 |
| Echt TE | 5,86 | 1,56 | 0,84 | 49,63 | 0,75 | 0,06 | 0,07 | 0,03 | 1,86 | 2,44 | 264,06 |

3. Variation du LSF moyen des Cuttings & LSF de la tour d'échantillonnage avec différentes probabilités

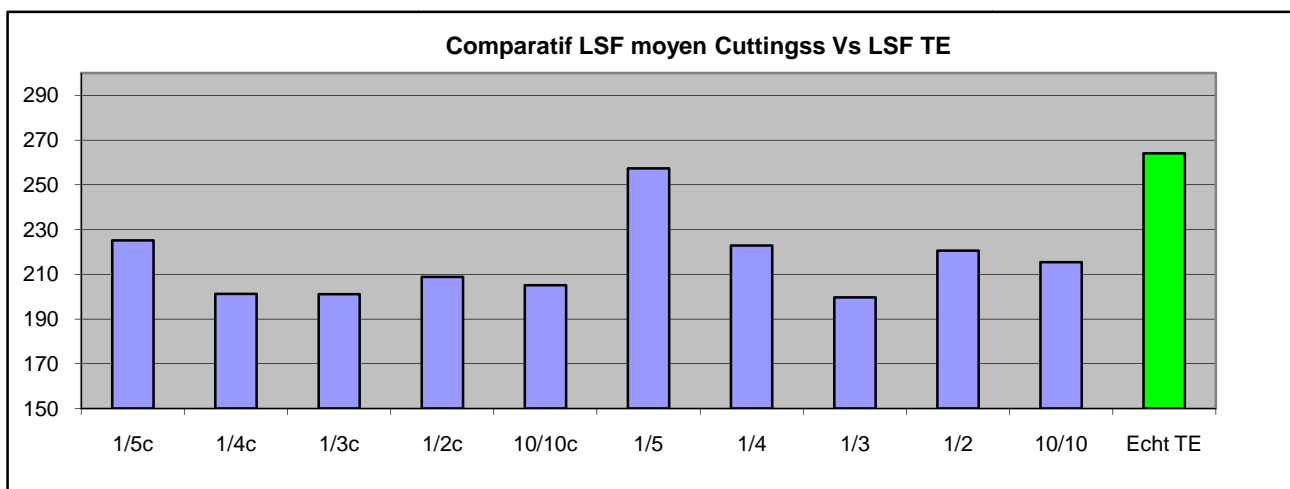


Figure 29 : Présentation graphique de variation du LSF moyen Cuttings & LSF de la tour d'échantillonnage

L'analyse du graphe de la LSF moyen et celle de la tour d'échantillonnage (TE) montre la valeur rapprochée de cette dernière avec la méthode des prélèvements avec la probabilité 1/5.

4. L'écart entre LSF moyen des Cuttings & LSF de la tour d'échantillonnage avec différentes probabilités.

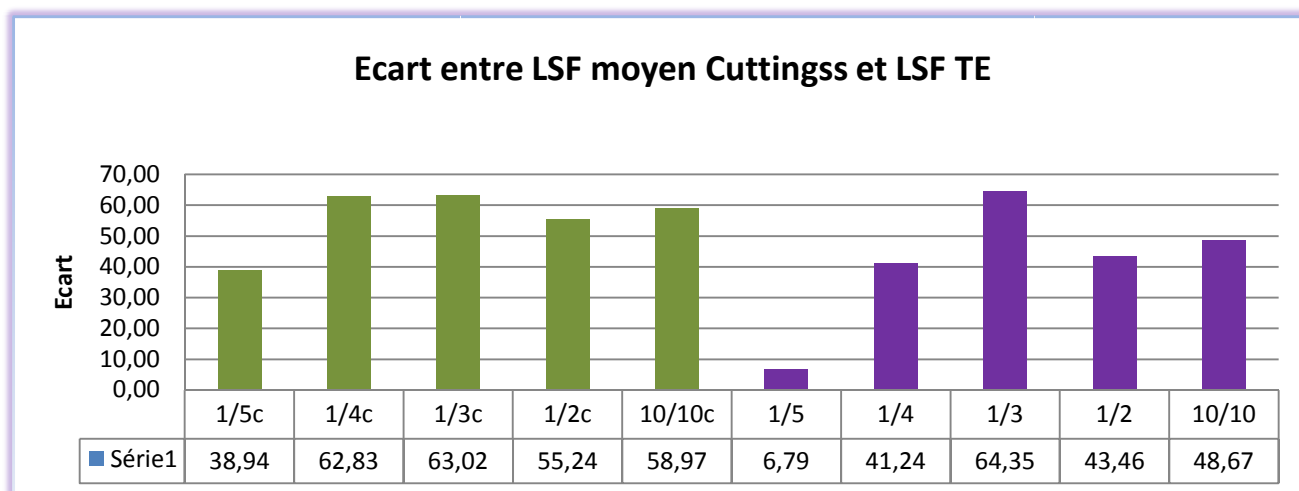


Figure 30 : Présentation graphique d'écart entre LSF moyen des Cuttings & LSF de la tour d'échantillonnage

D'après la représentation graphique on constate qu'il y'a un faible écart entre les deux échantillons avec la probabilité de 1/5.

5. Conclusion :

On déduit que l'échantillon moyen constitué avec une probabilité de 1/5 des trous a donné un résultat très satisfaisant.

D'où, on recommande de procéder à une étude de validation de cette méthode pour confirmer ces résultats.

VII. Validation de la méthode :

Pour valider la méthode de probabilité de 1/5 des trous, nous avons travaillé sur six panneaux différents de la même zone.

On prend trois échantillons du même panneau par la méthode des prélèvements avec la probabilité 1/5 dans lequel on va effectuer la répétition pour chaque échantillon à différents panneaux et on va analyser et évaluer l'écart entre ces échantillons des Cuttings et l'échantillon de la tour d'échantillonnage.

1. Résultats des analyses :

| | | | LSF | | |
|-------------------------------------|------------|------------|-------------|---------|---------|
| | Zone D EST | N° de Trou | Echantillon | Moyenne | Ech. TE |
| La méthode de foration 1/5 par trou | P5 | Trou1 | 250,00 | 256,33 | 263,00 |
| | | Trou6 | 255,00 | | |
| | | Trou11 | 264,00 | | |
| | P6 | Trou1 | 205,40 | 210,07 | 215,09 |
| | | Trou6 | 210,40 | | |
| | | Trou11 | 214,40 | | |
| | P7 | Trou1 | 220,00 | 220,23 | 228,33 |
| | | Trou6 | 219,67 | | |
| | | Trou11 | 221,03 | | |
| | P8 | Trou1 | 198,87 | 207,65 | 212,65 |
| | | Trou6 | 201,00 | | |
| | | Trou11 | 223,09 | | |
| | P9 | Trou1 | 227,50 | 248,37 | 254,16 |
| | | Trou6 | 276,30 | | |
| | | Trou11 | 241,30 | | |
| P10 | Trou1 | 294,40 | 252,43 | 258,43 | |
| | Trou6 | 228,40 | | | |
| | Trou11 | 234,50 | | | |

2. Analyse des résultats :

Etude de la corrélation entre les échantillons aléatoires des Cuttings de 1/5 trous et l'échantillon de la tour d'échantillonnage.

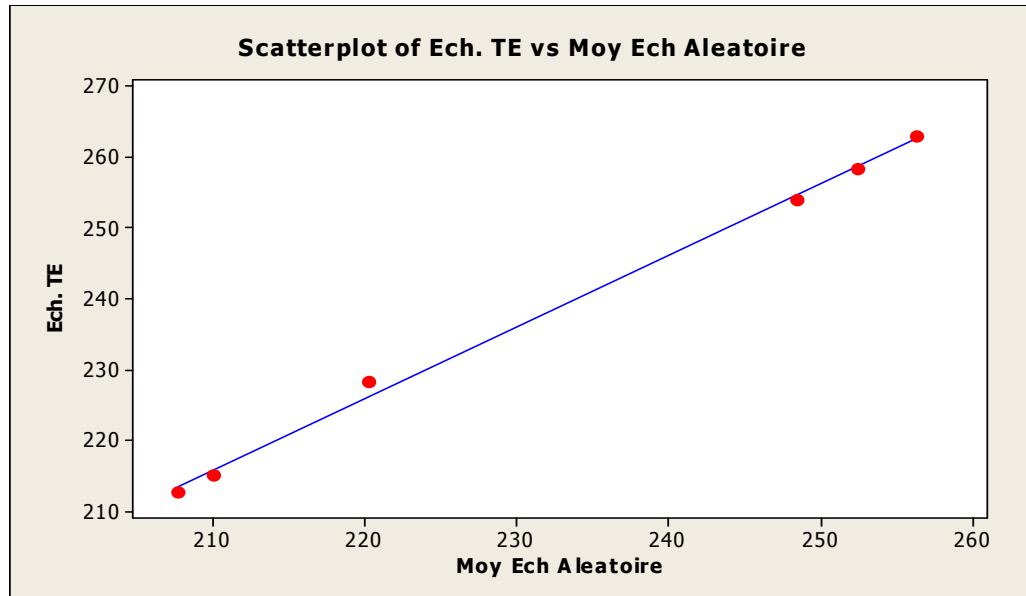


Figure 31 : Représentation graphique de la corrélation du module LSF

N.B : Données additives

| <i>Statistiques de la régression</i> | |
|---|------|
| Coefficient de détermination multiple | 0,99 |
| Coefficient de détermination R ² | 0,99 |
| Coefficient de détermination R ² | 0,99 |
| Erreur-type | 1,26 |
| Observations | 6 |

3. Analyse des résultats :

D'après les résultats qu'on a obtenu, on constate que le graphe représente une fonction linéaire sous forme $Y = 1,0135 X + 2,9476$ avec un coefficient de corrélation très grand : $r^2 = 0,99$.

Donc on peut constater que l'écart entre les résultats des Cuttings et de la tour d'échantillonnage est négligeable, ceci prouve que la méthode des prélèvements avec la probabilité de 1/5 est **bien validée**.

Conclusion générale

L'étude géologique par la méthode de la Fluorescence X est une technique robuste et efficace pour la caractérisation des Cuttings.

Grâce à cette étude, on peut connaître les effets d'une méthode et les effets de la variation des trois modules, ainsi que les facteurs influençant l'écart entre les échantillons des Cuttings et l'échantillon de la tour d'échantillonnage (c'est le cas de notre projet).

D'après les études statistiques qu'on a réalisées, on arrive à montrer que les facteurs qui peuvent influencer sur la différence entre les deux échantillons sont :

- l'hétérogénéité entre les trous.
- l'hétérogénéité des couches constituant les trous.

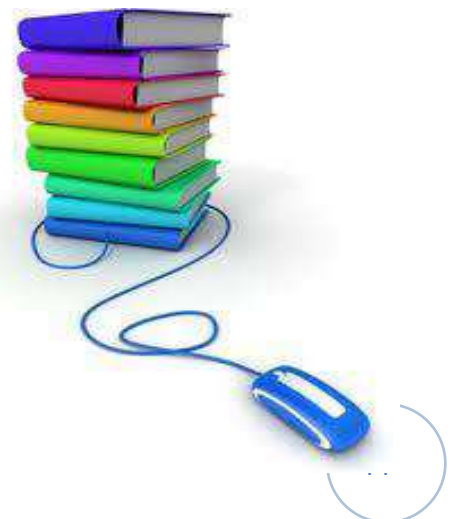
Les trois modules (LSF, MS, A/F) sont considérés comme une base principale pour choisir une méthode des prélèvements plus fiable (la méthode qui permet le moindre écart entre les Cuttings et la tour d'échantillonnage) pour avoir un échantillonnage représentatif des Cuttings.

Références

- (3) : **Ciment utilisé dans la fabrication de béton classique. Contrairement au Ciment blanc est plutôt dévolu aux ouvrages décoratifs. Page 11**
- (4) : **Norme marocaine. Page 11**
- (5) : **Nom donnée à ce type de Ciment car sa couleur ressemble à celle de la pierre extraite des carrières de l'île de Portland en Angleterre. Page 11**

Bibliographie

- (i) **Documentation de LAFARGE Meknès**
- (ii) **Manuel du Norme Marocaine 2008**
- (iii) **Modélisation des processus de l'usine de Meknès**
- (iiii) **Dossier Technique Version Juin 2012**



Annexe

Les Résultats d'analyses :

Trou1 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| A1 | 2 | 1,30 | 2,6 | 0,25 |
| B1 | 2 | 1,37 | 2,74 | 0,26 |
| C1 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,11 |
| D1 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,38 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) | A/F () | MS () | LSF () |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|--------|---------|
| A1 | 8,251 | 1,771 | 0,846 | 48,664 | 0,681 | 0,1 | 0,092 | 0,03 | 86,90 | 2,09 | 3,15 | 189,04 |
| B1 | 6,896 | 1,618 | 0,919 | 49,639 | 0,638 | 0,072 | 0,086 | 0,026 | 88,64 | 1,76 | 2,72 | 227,54 |
| C1 | 5,735 | 1,443 | 0,745 | 50,422 | 0,726 | 0,088 | 0,063 | 0,023 | 90,04 | 1,94 | 2,62 | 276,36 |
| D1 | 6,397 | 1,873 | 0,801 | 49,8 | 0,823 | 0,053 | 0,038 | 0,024 | 88,93 | 2,34 | 2,39 | 241,25 |
| N1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 0,76 | 0,074 | 0,057 | 0,025 | 89,19 | 2,14 | 2,52 | 248,63 |
| N reconstitué 1 | 6,92 | 1,73 | 0,84 | 49,54 | 0,73 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 88,46 | 2,07 | 2,69 | 225,41 |
| Ecart-Type | | | | | | | | | | 0,25 | 0,32 | 36,10 |

Trou 2 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B2 | 4 | 1,37 | 5,48 | 0,521408183 |
| C2 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,104662226 |
| D2 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,373929591 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 (%) | A/F | MS | LSF |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|------|------|--------|
| B2 | 5,441 | 1,353 | 0,703 | 50,905 | 0,696 | 0,071 | 0,057 | 0,023 | 90,9 | 1,92 | 2,65 | 294,45 |
| C2 | 6,627 | 1,943 | 1,13 | 49,291 | 0,745 | 0,07 | 0,089 | 0,028 | 88,02 | 1,72 | 2,16 | 228,38 |
| D2 | 6,516 | 1,948 | 0,88 | 49,518 | 0,821 | 0,048 | 0,041 | 0,025 | 88,42 | 2,21 | 2,30 | 234,51 |
| N2 | 6,013 | 1,731 | 0,862 | 49,982 | 0,771 | 0,055 | 0,052 | 0,023 | 89,25 | 2,01 | 2,32 | 257,12 |
| N reconstitué 1 | 5,97 | 1,64 | 0,81 | 50,22 | 0,75 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 89,67 | 2,01 | 2,43 | 261,97 |
| Ecart-Type | | | | | | | | | | 0,25 | 0,25 | 36,50 |

Trou 3 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | Coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B3 | 4 | 1,37 | 5,48 | 0,52140818 |
| C3 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,10466223 |
| D3 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,37392959 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | % CaCO3 | A/F | MS | LSF | |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|------------|------|--------|-------|
| B3 | 4,054 | 1,142 | 0,578 | 51,935 | 0,727 | 0,042 | 0,04 | 0,02 | 92,74 | 1,98 | 2,36 | 397,22 | |
| C3 | 4,899 | 1,376 | 0,615 | 51,288 | 0,776 | 0,04 | 0,034 | 0,021 | 91,59 | 2,24 | 2,46 | 325,83 | |
| D3 | 5,828 | 1,647 | 0,783 | 50,192 | 0,786 | 0,075 | 0,043 | 0,024 | 89,63 | 2,10 | 2,40 | 267,39 | |
| N3 | 5,99 | 1,717 | 0,788 | 50,107 | 0,808 | 0,086 | 0,042 | 0,028 | 89,48 | 2,18 | 2,39 | 259,48 | |
| N reconstitué 1 | 4,81 | 1,36 | 0,66 | 51,22 | 0,75 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 91,46 | 2,06 | 2,39 | 330,77 | |
| | | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,13 | 0,05 | 65,02 |

Trou 4 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B4 | 4 | 1,37 | 5,48 | 0,52140818 |
| C4 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,10466223 |
| D4 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,37392959 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F () | MS () | LSF () | |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|------------|--------|---------|--------|
| B4 | 5,455 | 1,35 | 0,759 | 50,812 | 0,693 | 0,048 | 0,051 | 0,021 | 90,73 | 1,78 | 2,59 | 292,69 | |
| C4 | 3,572 | 1,017 | 0,553 | 52,48 | 0,695 | 0,068 | 0,041 | 0,023 | 93,71 | 1,84 | 2,28 | 453,94 | |
| D4 | 7,423 | 2,169 | 0,932 | 48,836 | 0,865 | 0,046 | 0,039 | 0,029 | 87,21 | 2,33 | 2,39 | 203,91 | |
| N4 | 8,242 | 1,895 | 0,768 | 48,518 | 0,803 | 0,056 | 0,046 | 0,022 | 86,64 | 2,47 | 3,10 | 187,96 | |
| N reconstitué 1 | 5,99 | 1,62 | 0,80 | 50,25 | 0,76 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 89,73 | 2,02 | 2,47 | 261,47 | |
| | | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,30 | 0,16 | 126,75 |

Trou 5 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| A5 | 2 | 1,30 | 2,6 | 0,25 |
| B5 | 2 | 1,37 | 2,74 | 0,26 |
| C5 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,11 |
| D5 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,38 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| A5 | 6,717 | 1,493 | 0,73 | 49,863 | 0,73 | 0,049 | 0,053 | 0,023 | 89,04 | 2,05 | 3,02 | 236,95 |
| B5 | 6,042 | 1,544 | 0,816 | 50,375 | 0,755 | 0,071 | 0,057 | 0,023 | 89,96 | 1,89 | 2,56 | 261,42 |
| C5 | 5,883 | 1,61 | 0,742 | 50,28 | 0,776 | 0,058 | 0,048 | 0,024 | 89,79 | 2,17 | 2,50 | 266,67 |
| D5 | 7,296 | 2,127 | 0,922 | 48,803 | 0,851 | 0,069 | 0,046 | 0,026 | 87,15 | 2,31 | 2,39 | 207,34 |
| N5 | 5,479 | 1,421 | 0,686 | 50,743 | 0,724 | 0,065 | 0,048 | 0,022 | 90,61 | 2,07 | 2,60 | 290,56 |
| N reconstitué 1 | 6,67 | 1,76 | 0,83 | 49,64 | 0,79 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 88,64 | 2,13 | 2,58 | 233,19 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,18 | 0,28 | 27,13 |

Trou 6 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B6 | 4 | 1,37 | 5,48 | 0,52140818 |
| C6 | 1 | 1,10 | 1,1 | 0,10466223 |
| D6 | 3 | 1,31 | 3,93 | 0,37392959 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| B6 | 6,622 | 1,486 | 0,782 | 50,018 | 0,733 | 0,06 | 0,049 | 0,022 | 89,32 | 1,90 | 2,92 | 240,43 |
| C6 | 5,272 | 1,341 | 0,655 | 50,99 | 0,713 | 0,037 | 0,048 | 0,019 | 91,05 | 2,05 | 2,64 | 304,06 |
| D6 | 7,475 | 2,346 | 0,937 | 48,63 | 0,835 | 0,072 | 0,043 | 0,024 | 86,84 | 2,50 | 2,28 | 200,06 |
| N6 | 5,893 | 1,607 | 0,726 | 50,28 | 0,756 | 0,072 | 0,046 | 0,025 | 89,79 | 2,21 | 2,53 | 266,48 |
| N reconstitué 1 | 6,80 | 1,79 | 0,83 | 49,60 | 0,77 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 88,57 | 2,17 | 2,60 | 228,66 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,31 | 0,32 | 52,43 |

Trou 7 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B7 | 1,3 | 1,37 | 1,781 | 0,20767257 |
| C7 | 3,2 | 1,10 | 3,52 | 0,41044776 |
| D7 | 2,5 | 1,31 | 3,275 | 0,38187966 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| B7 | 11,311 | 2,717 | 1,051 | 45,769 | 0,834 | 0,067 | 0,064 | 0,028 | 81,73 | 2,59 | 3,00 | 128,71 |
| C7 | 11,976 | 2,673 | 1,093 | 44,938 | 0,967 | 0,088 | 0,053 | 0,025 | 80,25 | 2,45 | 3,18 | 120,16 |
| D7 | 6,224 | 1,547 | 0,624 | 50,238 | 0,75 | 0,041 | 0,037 | 0,022 | 89,71 | 2,48 | 2,87 | 255,56 |
| N7 | 8 | 2,359 | 1,05 | 48,073 | 0,87 | 0,067 | 0,041 | 0,027 | 85,85 | 2,25 | 2,35 | 185,85 |
| N reconstitué 1 | 9,64 | 2,25 | 0,91 | 47,13 | 0,86 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 84,17 | 2,49 | 3,05 | 155,86 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,07 | 0,16 | 75,82 |

Trou 8 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B8 | 1,3 | 1,37 | 1,781 | 0,20767257 |
| C8 | 3,2 | 1,10 | 3,52 | 0,41044776 |
| D8 | 2,5 | 1,31 | 3,275 | 0,38187966 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| B8 | 13,608 | 2,732 | 1,099 | 44,471 | 0,891 | 0,06 | 0,064 | 0,042 | 79,41 | 2,49 | 3,55 | 105,78 |
| C8 | 12,855 | 2,809 | 1,078 | 44,983 | 0,933 | 0,051 | 0,047 | 0,028 | 80,33 | 2,61 | 3,31 | 112,43 |
| D8 | 6,9 | 1,721 | 0,682 | 49,764 | 0,767 | 0,067 | 0,041 | 0,026 | 88,86 | 2,52 | 2,87 | 228,34 |
| N8 | 8,503 | 1,977 | 0,78 | 48,181 | 0,803 | 0,114 | 0,047 | 0,029 | 86,04 | 2,53 | 3,08 | 180,80 |
| N ¹ reconstitué | 10,74 | 2,38 | 0,93 | 46,70 | 0,86 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 83,40 | 2,55 | 3,25 | 139,51 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,06 | 0,34 | 68,92 |

Trou 9 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B9 | 1,3 | 1,37 | 1,781 | 0,20767257 |
| C9 | 3,2 | 1,10 | 3,52 | 0,41044776 |
| D9 | 2,5 | 1,31 | 3,275 | 0,38187966 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| B9 | 12,587 | 2,47 | 0,982 | 44,785 | 0,872 | 0,11 | 0,068 | 0,028 | 79,97 | 2,52 | 3,65 | 115,44 |
| C9 | 12,495 | 2,666 | 0,998 | 45,231 | 0,921 | 0,042 | 0,042 | 0,027 | 80,77 | 2,67 | 3,41 | 116,63 |
| D9 | 7,729 | 1,759 | 0,698 | 49,064 | 0,795 | 0,096 | 0,041 | 0,033 | 87,62 | 2,52 | 3,15 | 202,99 |
| N9 | 9,294 | 2,102 | 0,798 | 47,657 | 0,838 | 0,063 | 0,041 | 0,026 | 85,1 | 2,63 | 3,20 | 164,21 |
| N ¹ reconstitué | 10,69 | 2,28 | 0,88 | 46,60 | 0,86 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 83,22 | 2,59 | 3,39 | 140,35 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,09 | 0,25 | 50,21 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|--------------|----------|-----------|-----------|----------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| N1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 0,76 | 0,074 | 0,057 | 0,025 | 89,19 |
| N4 | 8,242 | 1,895 | 0,768 | 48,518 | 0,803 | 0,056 | 0,046 | 0,022 | 86,64 |
| N7 | 8 | 2,359 | 1,05 | 48,073 | 0,87 | 0,067 | 0,041 | 0,027 | 85,85 |
| N10 | 8,332 | 1,824 | 0,724 | 48,619 | 0,751 | 0,081 | 0,044 | 0,023 | 86,82 |
| Moyenne(1/3) | 7,7125 | 1,94325 | 0,83375 | 48,78875 | 0,796 | 0,0695 | 0,047 | 0,02425 | 87,124375 |

Trou10 :

| Sample | Profondeur | Densité | densité*hauteur | coefficient |
|--------|------------|---------|-----------------|-------------|
| B10 | 1,3 | 1,37 | 1,781 | 0,20767257 |
| C10 | 3,2 | 1,10 | 3,52 | 0,41044776 |
| D10 | 2,5 | 1,31 | 3,275 | 0,38187966 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 | A/F | MS | LSF |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|------|------|--------|
| B10 | 12,92 | 2,023 | 0,848 | 45,579 | 0,727 | 0,076 | 0,067 | 0,028 | 81,39 | 2,39 | 4,50 | 116,53 |
| C10 | 10,967 | 2,16 | 0,863 | 46,734 | 0,773 | 0,077 | 0,055 | 0,028 | 83,45 | 2,50 | 3,63 | 138,20 |
| D10 | 6,25 | 1,624 | 0,631 | 50,438 | 0,755 | 0,138 | 0,037 | 0,031 | 90,07 | 2,57 | 2,77 | 254,40 |
| N10 | 8,332 | 1,824 | 0,724 | 48,619 | 0,751 | 0,081 | 0,044 | 0,023 | 86,82 | 2,52 | 3,27 | 187,34 |
| N ¹ reconstitué | 9,57 | 1,93 | 0,77 | 47,91 | 0,76 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 85,55 | 2,50 | 3,55 | 161,99 |
| | | | | | | | | | Ecart-Type | 0,09 | 0,86 | 74,14 |

Trou par suite :
(1 /3)

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| N1 | 6,9 | 1,73 | 0,83 | 49,55 | 0,73 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 88,49 |
| N4 | 5,96 | 1,62 | 0,8 | 50,28 | 0,76 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 89,78 |
| N7 | 9,8 | 2,28 | 0,92 | 46,99 | 0,86 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 83,9 |
| N10 | 9,65 | 1,94 | 0,78 | 47,84 | 0,76 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 85,43 |
| Moyenne rec 1/3 | 8,0775 | 1,8925 | 0,8325 | 48,665 | 0,7775 | 0,0725 | 0,055 | 0,025 | 86,9 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | % CaCO3 () |
|-----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|
| N1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 0,76 | 0,074 | 0,057 | 0,025 | 89,19 |
| N5 | 5,479 | 1,421 | 0,686 | 50,743 | 0,724 | 0,065 | 0,048 | 0,022 | 90,61 |
| N9 | 9,294 | 2,102 | 0,798 | 47,657 | 0,838 | 0,063 | 0,041 | 0,026 | 85,1 |
| moy (1/4) | 7,016 | 1,74 | 0,76 | 49,45 | 0,77 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 88,30 |

(1/2)

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|---------------|----------|-----------|-----------|----------|---------|---------|---------|----------|------------|
| N1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 0,76 | 0,074 | 0,057 | 0,025 | 89,19 |
| N3 | 5,99 | 1,717 | 0,788 | 50,107 | 0,808 | 0,086 | 0,042 | 0,028 | 89,48 |
| N5 | 5,479 | 1,421 | 0,686 | 50,743 | 0,724 | 0,065 | 0,048 | 0,022 | 90,61 |
| N7 | 8 | 2,359 | 1,05 | 48,073 | 0,87 | 0,067 | 0,041 | 0,027 | 85,85 |
| N9 | 9,294 | 2,102 | 0,798 | 47,657 | 0,838 | 0,063 | 0,041 | 0,026 | 85,1 |
| Moyenne (1/2) | 7,0078 | 2,3235 | 1,02875 | 61,63125 | 1 | 0,08875 | 0,05725 | 0,032 | 110,056875 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|---------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| N1 | 6,9 | 1,73 | 0,83 | 49,55 | 0,73 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 88,49 |
| N3 | 4,82 | 1,36 | 0,66 | 51,2 | 0,76 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 91,43 |
| N5 | 6,66 | 1,76 | 0,83 | 49,65 | 0,79 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 88,65 |
| N7 | 9,8 | 2,28 | 0,92 | 46,99 | 0,86 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 83,9 |
| N9 | 10,81 | 2,31 | 0,89 | 46,52 | 0,87 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 83,07 |
| Moyenne (1/2) | 7,798 | 1,888 | 0,826 | 48,782 | 0,802 | 0,064 | 0,052 | 0,024 | 87,108 |

(1/4)

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|-------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| N1 | 6,9 | 1,73 | 0,83 | 49,55 | 0,73 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 88,49 |
| N5 | 6,66 | 1,76 | 0,83 | 49,65 | 0,79 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 88,65 |
| N9 | 10,81 | 2,31 | 0,89 | 46,52 | 0,87 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 83,07 |
| moyrec(1/4) | 8,12 | 1,93 | 0,85 | 48,57 | 0,80 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 86,74 |

(1/5)

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|-----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| N1 | 6,276 | 1,695 | 0,793 | 49,945 | 0,76 | 0,074 | 0,057 | 0,025 | 89,19 |
| N6 | 5,893 | 1,607 | 0,726 | 50,28 | 0,756 | 0,072 | 0,046 | 0,025 | 89,79 |
| moy (1/5) | 6,08 | 1,65 | 0,76 | 50,11 | 0,76 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 89,49 |

| Sample | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3(%) |
|--------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| N1 | 6,9 | 1,73 | 0,83 | 49,55 | 0,73 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 88,49 |
| N6 | 6,77 | 1,79 | 0,82 | 49,62 | 0,77 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 88,61 |
| moyrec (1/5) | 6,84 | 1,76 | 0,83 | 49,59 | 0,75 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 88,55 |

Couche A :

| Sample | Profondeur | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 (%) |
|--------|------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| A1 | 2m | 8,251 | 1,771 | 0,846 | 48,664 | 0,681 | 0,1 | 0,092 | 0,03 | 86,9 |
| A5 | 2m | 6,717 | 1,493 | 0,73 | 49,863 | 0,73 | 0,049 | 0,053 | 0,023 | 89,04 |

Couche B

| Sample | Profondeur | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | CaCO3 |
|--------|------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| B1 | 2m | 6,896 | 1,618 | 0,919 | 49,639 | 0,638 | 0,072 | 0,086 | 0,026 | 88,64 |
| B 2 | 4m | 5,441 | 1,353 | 0,703 | 50,905 | 0,696 | 0,071 | 0,057 | 0,023 | 90,9 |
| B3 | 4m | 4,054 | 1,142 | 0,578 | 51,935 | 0,727 | 0,042 | 0,04 | 0,02 | 92,74 |
| B 4 | 4m | 5,455 | 1,35 | 0,759 | 50,812 | 0,693 | 0,048 | 0,051 | 0,021 | 90,73 |
| B 5 | 2m | 6,042 | 1,544 | 0,816 | 50,375 | 0,755 | 0,071 | 0,057 | 0,023 | 89,96 |
| B6 | 4m | 6,622 | 1,486 | 0,782 | 50,018 | 0,733 | 0,06 | 0,049 | 0,022 | 89,32 |
| B 7 | 1,3m | 11,311 | 2,717 | 1,051 | 45,769 | 0,834 | 0,067 | 0,064 | 0,028 | 81,73 |
| B 8 | 1m | 13,608 | 2,732 | 1,099 | 44,471 | 0,891 | 0,06 | 0,064 | 0,042 | 79,41 |
| B 9 | 1m | 12,587 | 2,47 | 0,982 | 44,785 | 0,872 | 0,11 | 0,068 | 0,028 | 79,97 |
| B 10 | 1m | 12,92 | 2,023 | 0,848 | 45,579 | 0,727 | 0,076 | 0,067 | 0,028 | 81,39 |

| Sample | Profoneur | A/F () | MS () | LSF () |
|--------|-----------|---------|--------|---------|
| B1 | 2m | 1,76 | 2,718 | 227,5 |
| B 2 | 4m | 1,923 | 2,647 | 294,4 |
| B3 | 4m | 1,976 | 2,357 | 397,2 |
| B 4 | 4m | 1,779 | 2,586 | 292,7 |
| B 5 | 2m | 1,893 | 2,56 | 261,4 |
| B6 | 4m | 1,901 | 2,92 | 240,4 |
| B 7 | 1,3m | 2,585 | 3,002 | 128,7 |
| B 8 | 1m | 2,487 | 3,552 | 105,8 |
| B 9 | 1m | 2,516 | 3,647 | 115,4 |
| B 10 | 1m | 2,385 | 4,499 | 116,5 |

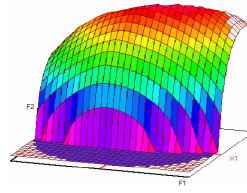
Couche C :

| Sample | Profondeur | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | % CaCO3 () |
|--------|------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-------------|
| C1 | 1m | 5,735 | 1,443 | 0,745 | 50,422 | 0,726 | 0,088 | 0,063 | 0,023 | 90,04 |
| C2 | 1m | 6,627 | 1,943 | 1,13 | 49,291 | 0,745 | 0,07 | 0,089 | 0,028 | 88,02 |
| C 3 | 1m | 4,899 | 1,376 | 0,615 | 51,288 | 0,776 | 0,04 | 0,034 | 0,021 | 91,59 |
| C4 | 1m | 3,572 | 1,017 | 0,553 | 52,48 | 0,695 | 0,068 | 0,041 | 0,023 | 93,71 |
| C5 | 1m | 5,883 | 1,61 | 0,742 | 50,28 | 0,776 | 0,058 | 0,048 | 0,024 | 89,79 |
| C6 | 1m | 5,272 | 1,341 | 0,655 | 50,99 | 0,713 | 0,037 | 0,048 | 0,019 | 91,05 |
| C7 | 3,2m | 11,976 | 2,673 | 1,093 | 44,938 | 0,967 | 0,088 | 0,053 | 0,025 | 80,25 |
| C8 | 3,5m | 12,855 | 2,809 | 1,078 | 44,983 | 0,933 | 0,051 | 0,047 | 0,028 | 80,33 |
| C9 | 3,5m | 12,495 | 2,666 | 0,998 | 45,231 | 0,921 | 0,042 | 0,042 | 0,027 | 80,77 |
| C10 | 3,5m | 10,967 | 2,16 | 0,863 | 46,734 | 0,773 | 0,077 | 0,055 | 0,028 | 83,45 |

| Sample | Profoneur | A/F () | MS () | LSF () |
|--------|-----------|---------|--------|---------|
| C1 | 1m | 1,938 | 2,621 | 276,3 |
| C2 | 1m | 1,72 | 2,157 | 228,4 |
| C3 | 1m | 2,24 | 2,461 | 325,8 |
| C4 | 1m | 1,84 | 2,275 | 454 |
| C5 | 1m | 2,171 | 2,502 | 266,7 |
| C6 | 1m | 2,047 | 2,642 | 304,1 |
| C7 | 3,2m | 2,444 | 3,18 | 120,2 |
| C8 | 3,5m | 2,605 | 3,307 | 112,4 |
| C9 | 3,5m | 2,671 | 3,41 | 116,6 |

Couche D :

| Sample | Profondeur | SiO2 (%) | Al2O3 (%) | Fe2O3 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | K2O (%) | Na2O (%) | % CaCO3 () |
|--------|------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|-------------|
| D1 | 3m | 6,397 | 1,873 | 0,801 | 49,8 | 0,823 | 0,053 | 0,038 | 0,024 | 88,93 |
| D2 | 3m | 6,516 | 1,948 | 0,88 | 49,518 | 0,821 | 0,048 | 0,041 | 0,025 | 88,42 |
| D3 | 3m | 5,828 | 1,647 | 0,783 | 50,192 | 0,786 | 0,075 | 0,043 | 0,024 | 89,63 |
| D4 | 3m | 7,423 | 2,169 | 0,932 | 48,836 | 0,865 | 0,046 | 0,039 | 0,029 | 87,21 |
| D5 | 3m | 7,296 | 2,127 | 0,922 | 48,803 | 0,851 | 0,069 | 0,046 | 0,026 | 87,15 |
| D6 | 3m | 7,475 | 2,346 | 0,937 | 48,63 | 0,835 | 0,072 | 0,043 | 0,024 | 86,84 |
| D7 | 2,5m | 6,224 | 1,547 | 0,624 | 50,238 | 0,75 | 0,041 | 0,037 | 0,022 | 89,71 |
| D8 | 2,5m | 6,9 | 1,721 | 0,682 | 49,764 | 0,767 | 0,067 | 0,041 | 0,026 | 88,86 |
| D9 | 2,5m | 7,729 | 1,759 | 0,698 | 49,064 | 0,795 | 0,096 | 0,041 | 0,033 | 87,62 |
| D10 | 7m | 8,332 | 1,824 | 0,724 | 48,619 | 0,751 | 0,081 | 0,044 | 0,023 | 90,07 |



Master ST CAC Agiq

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

Nom et prénom: ZERRI Nassima

Année Universitaire : 2014/2015

Titre: Optimisation d'un échantillonnage représentatif des Cuttings.

Résumé

Pour produire le Ciment qui est un produit de base élaborée, l'industrie Cimentière adû optimiser sa matière première au niveau de la préhomogénéisation.

Dans ce contexte, une problématique se pose : l'échantillon obtenu par Cuttings de la carrière est différent de celui obtenu par la tour d'échantillonnage (qui représente les tas de pré-homogénéisation).

D'après les études statistiques qu'on a réalisées, on arrive à montrer que les facteurs qui peuvent influencer la différence entre les deux échantillons sont :

- l'hétérogénéité entre les trous.
- l'hétérogénéité des couches constituant les trous.

La méthode qui permet d'optimiser un échantillonnage représentatif des cuttings est la méthode des prélèvements avec la probabilité de 1/5.

Mots clés : Clinker, Cuttings, Tour d'échantillonnage.